République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Yahia FARES de Médéa
Faculté De Technologie
Département de Génie Civil



Projet de fin d'études

Pour l'obtention du diplome de Master en Génie Civil

Option : Structures

Thème

Etude Pathologique et Réparation d'un Vieux Bâti
Cas d'étude : Salle El Atlas Alger

Etudiés par :

Mr: SAFFIDINE Mourad

Mr: FEKIR Boudjemaa

Encadré par :

Pr: DEBIEB Farid

Promotion Septembre 2018

REMERCIEMENTS

AVANT TOUT, NOUS TENONS À REMERCIER NOTRE DIEU TOUT PUISSANT QUI NOUS A DONNÉ FORCE, COURAGE ET PATIENCE AFIN D'ÉLABORER, PRÉPARER ET PRÉSENTER CE MODESTE TRAVAIL.

NOUS TENONS ÉGALEMENT À EXPRIMER NOS PLUS SINCÈRES REMERCIEMENTS À NOTRE PROMOTEUR, Pr DEBIEB FARID, POUR TOUS SES CONSEILS ET ORIENTATIONS DURANT TOUT NOTRE TRAVAIL.

NOUS TENONS AUSSI À EXPRIMER NOTRE BIENVEILLANCE AU CHEF DÉPARTEMENT DE GÉNIE CIVIL, NOS ENSEIGNANTS,
ET AUX MEMBRES DE JURY.

DÉDICACES

Je dédie ce modeste travail ;

A ma mère & à mon père, qui m ont toujours soutenu & encouragé tout te long de mes études, aussi à mes frères et mes sœurs.

Je le dédie également à ma femme, mes enfants (Garçons et ma petite fille)
je remercie dieu de les avoir auprès de moi.

A ceux qui m'ont soutenu tout te long de ***ce parcours***, de prés ou de loin.

SAFIDDINE Mourad

DÉDICACES

Je tiens à dédier ce modeste travail à ;

Mes très chers parents qui veillent sans cesse sur moi avec leurs prières et leurs recommandations Que dieu les protègent.

Egalement je le dédié à ma femme, mon frère, mes sœurs, et mes enfants qui m'ont toujours soutenu & encouragé tout te long de mes études.

Aussi à tous ceux qui m'ont soutenu le long de ce parcours, de prés ou de loin.

FEKIR Boudjemaa

ملخص

تخضع الهياكل الخرسانة المسلحة خلال حياتها لتشوهات تسمي دراسة أمراض البنايات, والتي تؤثر على مواد البناء وبالتالي استقرارها الذي يسبب خطرًا دائمًا على المستعملين . في هذا العمل نهتم بالتشوهات التي حلت بالمباني القديمة التي بنيت بالخرسانة المسلحة, أُخذت قاعة ATLAS في الجزائر العاصمة كدراسة حالة ، وتؤكد النتائج التي تم التوصل إليها أن الإطار الخراساني المقوى القديم معرض للاضطرابات بسبب الرطوبة والأخرى المتعلقة بالبنية. الخرسانة المسلحة ليس فقط مهددة بالحمولات التي يتم تطبيقها عليها، ولكن أيضا بالبيئة.

Résumé

Les ouvrages en béton armé sont soumis durant leur vie à des désordres appelées pathologie, celle-ci affectent les matériaux de construction et par conséquent leur stabilité, ce qui provoque un danger permanant pour les occupants. Ce travail étudie la pathologie des vieux bâtis construit en béton armé. La salle ATLAS d'Alger a été prise comme cas d'étude, les résultats trouvés confirment que le vieux bâti en béton armé est soumis a des désordres dues a l'humidité et d'autre liés à la structure. Le béton armé n'est pas seulement menacés par les charges qui lui sont appliquées, mais aussi par l'environnement.

Summary

Reinforced concrete structures are subjected during their life to disorders called pathology; these affect the building materials and consequently their stability which causes a permanent danger for the occupants. This work studies the pathology of old buildings built in reinforced concrete. The ATLAS room in Algiers was taken as a case study, the results found confirm that the old reinforced concrete frame is subjected to disorders due to moisture and other related to the structure. Reinforced concrete is not only threatened by the loads that are applied to it, but also by the environment.

TABLE DES MATIERES

Introduction générale…….. 1
Problématique…….. 2
Objectifs…… 3
Structure de la mémoire…… 3

Chapitre 1 : Pathologie des bâtiments et des structures En béton arme

❖ ***Pathologie des Bâtiments***…… 4
I. Différente type de pathologies…… 5
II. Les pathologies humides dans les bâtiments…… 5
III. Les sources d'humidité dans les bâtiments…… 6
III 1 Infiltrations de l'eau de pluie …… 6
III.2 Humidité d'origine accidentelle…… 7

❖ ***Pathologie des structures en béton armé***…… 7
A- Description Des Pathologies Du Béton Armé…… 8
1) *Dégradations mécaniques*…… 8
2) *Dégradations Chimiques*…… 9
3) *Réactions Alcalis-Granulats (R.A.G)*…… 9
4) *Attaques Sulfatiques*…… 9
5) *Attaques Acides*…… 10
6) *Lixiviation*…… 10
7) *Dégradations Physiques*…… 10

B- Les Pathologies à risque élevé…… 12
1) *La carbonatation* …… 12
1.1) *Les mécanismes de la carbonatation*…… 13
1.2) *Conséquences de la carbonatation*…… 13
1.3) *Les Causes De La Carbonatation*…… 15
2) *La corrosion*…… 16
2.1 Aspect physico-chimique de la corrosion…… 16
2.2 Phases de la corrosion…… 16
2.3 Formes de la corrosion…… 16
2.4 Facteurs influençant la corrosion des armatures…… 17
2.5 Enrobage…… 17
2.6 Température…… 17
2.7 Teneur en chlorure…… 17
2.8 Oxygène…… 18
2.9 Agents agressifs autres que les chlorures…… 19
2.10 Réactions de corrosion des aciers dans le béton…… 19
2.11 Les Causes de La Corrosion…… 20
2.12 Les Conséquences De La Corrosion…… 20

3) *Les fissures …… 21*
4) *Le lézardes…… 22*
5) *Le Retrait…… 22*
a. Le retrait plastic…… 23
b. Le retrait de dessiccation…… 23
c. Le retrait thermique…… 23
d. Le retrait d'auto-dessiccation…… 23
C- Les Pathologies à risque moyen…… 24
1) *Faïençage …… 24*
2) *Epaufrure…… 24*
3) *Lichen…… 24*
4) *Ressuage…… 24*
Conclusion…… 26

Chapitre 2 : Diagnostic Structural

Introduction…… 27
❖ *Réalisation d'un diagnostic…… 27*
1 Choix des investigations…… 27
2 Types d'investigation…… 29
2.1) investigations non destructives…… 29
a) relève visuel…… 30
b) scléromètre…… 31
c) l'auscultation sonique…… 35
d) l'analyse du ferraillage…… 35
2.2) investigations destructives…… 35
a) carottage d'éléments en béton arme…… 36
b) prélèvements d'aciers…… 37
c) test à la carbonatation…… 38
d) Potentiel De Corrosion …… 38
Conclusion sur le diagnostic…… 38

Chapitre 3 : Etude pathologique de la salle el atlas d'Alger cas d'étude

Introduction…… 39
I. Caractéristiques des villes littorales…… 39
II. Présentation du cas de l'étude…… 39
III. Description du projet…… 40
IV. Système constructif…… 43
V. Pathologies relevées sur l'ouvrage -salle Ex-MAGESTIC. …… 44
VI. Pathologies dues à l'humidité…… 44
I. Sur les murs…… 44
II. .Pathologies structurelles :…… 45
Conclusion…… 47

Chapitre 4 : vérification du cas d'étude Calcul de la stabilité vis-à-vis le séisme

Introduction…… 48

I. Collecte préalable des informations sur le projet…… 48

1- Géométrie…… 48

2- Pièces écrites et graphiques récoltées…… 49

3- Sol et fondations…… 49

4- Caractéristique du béton de la structure in situ (avant et après dégradations) …… 50

5- Caractéristique du béton de confortement in situ …… 50

6- Caractéristique du ciment résistant aux sulfates CRS CEMI 42,5)…… 51

7- Caractéristique de l'Acier utilisé …… 51

8- investigations réalisés sur place…… 53

9- essais effectues…… 54

10- Reportage photographique…… 54

II. Hypothèses de calcul. Dimensions des éléments structuraux…… 56

1- Règlements techniques de référence…… 56

2- Evaluation des charges selon le (D.T.R)…… 56

3- Combinaison des charges…… 56

III. . Méthode de renforcement proposée dans le cadre de ce projet …… 56

*1- **Hypothèse De confortement. a l'aide des vérins, & conclusion** …… 57*

*2- **Hypothèse De confortement des éléments dégradés tels qu'ils sont chargés**… 64*

2.1 Définition de renforcement par chemisage, & conclusion …… 64

2.2 Effort tranchant à la base par la méthode statique équivalente…… 64

2.3 Méthode dynamique linaire à l'aide du «logiciel ROBO BAT »…… 69

2.4 Résultats et Interprétation …… 73

IV. Processus de l'intervention (démarches effectuées)…… 81

***A-** La première partie relative au confortement par chemisages…… 81*

***B.** La Deuxième partie relative aux éléments moyennent à faiblement touchés…… 86*

Conclusion générale…… 89

Bibliographie…… 90

LISTE DES FIGURES

CHAPITRE 01

Figure 01:Origines de l'humidité : Repérage schématique sur des murs …….……..…. 06
Figure 02 : dégradations du béton armé……..……. 08
Figure 03 : Cas de figure de phénomène de la carbonatation du béton… ……...…… 13
Figure 04 : La phase de la carbonatation.…… ……. ……. .. 15
Figure 05 : Progression du front de carbonatation……..…..……..……...…… …… 16
Figure 06 : Carbonatation du béton suivi de la corrosion des aciers……. …….…… 18
Figure 07 : Evolution de la dégradation d'une structure en béton armé …… 24

CHAPITRE 02

Figure 08 : Schéma du choix d'investigation …….……..... 28
Figure 09 : Schéma des investigations non destructives ……..…… ….…... 29
Figure 10 : Scléromètre utilisé pour tester le béton (essai non destructif)…… ….…... . 30
Figure 11 : Appareillage d'essai à l'ultra son « utilisé pour essai non destructif »… ….….. 31
Figure 12: Le Radar pour localisation d'armature, détecter des câbles précontraints, des Défauts de béton (vides, fissures, délaminages) ……..……. 33
Figure 13 : Schéma des investigations destructives……...……... 35
Figure 14 : carotte de béton prélevé …….....…. 35
Figure 15 : Pied coulisse pour mesurer le diamètre d'acier prélevé …….…..…… 37
Figure 16 : Graphique enrobage-carbonatation ……..…… 38

CHAPITRE 03

Figure 17 : Plan de situation de la salle Atlas (Source : Google Earth 2018)……..……... 40
Figure 18 : Coupe schématique des blocs (partie 2 est la grande salle)…….…. 40
Figure 19 : plan de situation de la salle …….……..…..… 41
Figure 20 : vue en plan 1er étage (tribune)…… …… …….……..… 41
Figure 22 : Coupe A-A ……..….. 42
Figure 23 : vue sur la façade principale …… ……..….. 42
Figure 24 : Vue 3D Sur Les Fermes (Poutre –Treillis) En béton armé sans tribune et sans Dalle de la terrasse…….…….……..… 43
Figure 25 : Vue Sur Les éléments de la structure dégradés au niveau du plancher terrasse... 43
Figure 26 : : Montant, diagonale, membrure supérieure et poutre de roulement affectés..… 44
Figure 27 : Face supérieure et latérale de la **poutre** de Roulement affectées…..... . 46

CHAPITRE 04

Figure 28 : Vue en plan R.D.C ……..…….…...…. 48
Figure 29 : Coupe A-A …….…….……..…..… 49
Figure 30 : Dosage d'un (1) M3 de béton …… ……..……..…..… 51
Figure 31 : Illustration Des zones de dégradations du béton ..…… ……..…..… 53
Figure 32 : vue sur les éléments dégradés avant intervention….…….……..…... 55
Figure 33 : vue sur les éléments dégradés durant l'intervention « chemisage »…….……..… 55
Figure 34 : vue sur les éléments dégradés après intervention « chemisage »…….…..…. 55
Figure 35: Dispostif de verrins selon hypothése de déchargement appliqué …….…… …… 58
Figure 36: Numérotation des éléments…….…….…….…….. 58
Figure 37: Distribution des efforts normaux à ELS avant chargement (à l'aide des verrins) . 59
Figure 38: Distribution des efforts trancahnts T à ELS avant chargement ….……..… 59
Figure 39:Distribution des momts fléchissant M à ELS avant chargement…….……..…. 59
Figure 40: Distribution des efforts normaux s/combinaisons avant et après Chargement . 60
Figure 41: Distribution des efforts tranchant **T** s/combinaisons avant et après Chargement.. 61
Figure 42: Distribution des Mts fléchissant **M** s/combinaisons avant et après Chargement. 62
Figure 43 : vue sur les éléments renforcés pendant et après chemisage……. 64
Figure 44: Efforts tranchant à la base selon méthode statique équivalente……. 67
Figure 45 : Distribution De L'effort Sismique- sens longitudinale…… ……...…….…. 68
Figure 46: Distribution De L'effort Sismique- sens transversal…… …….…. 68
Figure 47: vues sur la structure poteaux poutres +fermes. ……. …….…….…. 70
Figure 48 : Différentes Position Du Toit Ouvrant …… ……..…..…. 71
Figure 49 : vue tri Dimensionnelle de la structure…… ……..……. 72
Figure 50 : Efforts normaux MAX sous ELU (résultats de ROBO BAT): ……...……. 78
Figure 51 : Efforts tranchants max sous ELU (résultats de ROBO BAT): ….……. 78
Figure 52 : Moments fléchissant Mx MAX sous ELU (résultats de ROBO BAT): ……. 79
Figure 53 : Moments fléchissant My MAX sous ELU (résultats de ROBO BAT): ……. 79
Figure 54 : Efforts normaux +tranchants max sous sollicitations accidentelles…..…..…… . 79
Figure 55 : Moments fléchissant Mx &My sous G+Q+EX, EY : ……..….. . 80
Figure 56 : illustration des zones affectées……..….. . 81
Figure 57 : Détails de Confortement du diagonal : ……....…. .. 84
Figure 58 : Détails de Confortement de la membrure supérieure et montant……..…. . 84
Figure 59 : Détails de Confortement du diagonal 30X40……...…. . 85
Figure 60: vue sur les diagonales ; membrure supérieure avant et après Intervention.…… . 85
Figure 61 : détail de renforcement 1°CAS : Barres d'acier fortement corrodées…… … …. . 87
Figure 62 : détail de renforcement 2°CAS : Barres d'acier légèrement corrodées … ….... . 88

LISTE DES TABLEAUX

CHAPITRE 01

Tableau 01 : Pathologie humides et pathologie structurelle …….……..… 05
Tableau 02 : Type de Pathologie D'une structure en béton armé…… …….. 25

CHAPITRE 04

Tableau 03 : Résultat de l'auscultation dynamique sclérométrique des éléments Non touchés 50
Tableau 04 : Résultat de l'auscultation dynamique sclérométrique des éléments touchés … 50
Tableau 05 : résumé des caractéristiques du béton avant et après dégradation……..…. .. 50
Tableau 06 : Dosage d'un (1) M3 de béton armé utilisé pour le confortement ……. . 51
Tableau 07 : Résultat de l'auscultation dynamique sclérométrique des éléments confortés (après chemisage) …….……..…… . 52
Tableau 08 : Caractéristique du Béton après confortement …… ……...… 52
Tableau 09 : Dimensions et état de dégradation des éléments de la structure (Relève de l'état des lieux)……..… ……... ……... 54
Tableau 10: Chargement appliqué à l'aide des vérins (efforts de traction) ..…… … 57
Tableau 11 : efforts de chargement extérieur appliqué sur les éléments et sollicitations Intérieurs …… . …... 63
Tableau 12 : Poids, efforts tranchant et forces sismiques par étage……..……..…... 69
Tableau 13 : Poids de la structure Centre des masses et Centre de torsion de chaque étage … 73
Tableau 14 : Excentricité théorique et accidentelle …….…….. 74
Tableau 15 : Périodes et participations massiques ……..……... 74
Tableau 16 : Effort tranchant à la base selon méthode dynamique …….…….. 74
Tableau 17 : Déplacements du aux efforts sismiques …… ……..…… ……..... 75
Tableau 18 : Déplacement inter étage ……..……...…... 76
Tableau 19 : Effets Du 2° Ordre (Ou Effet P-Δ)……..…... 76
Tableau 20 : Résultats de la vérification de l'équilibre d'ensemble.……..…….…... 77
Tableau 21 : Ferraillage des éléments confortés« Diagonaux, montants et Membrures» ...….. 80

Liste des symboles

CHAPITRE INTRODUCTIF

XIX : (19e siècle) 30

XX : (20e siècle) 30

CHAPITRE 01

R.A.G : Réaction alcalis-granulats …..... 09

CO2 : Dioxyde de carbone 12

CaCO3 :carbonate de calcium 14

REACH: réglementation européenne l'enregistrement, l'évaluation et l'autorisation des substances chimiques..... 14

Xc4 : Corrosion induite par carbonatation (alternance humidité échasse 15

BHP : Béton **à haute performance**..... …..... ..... 23&48

CHAPITRE 02

CND : Méthode **de contrôle non destructif**..... 27

CHAPITRE 04

CRS CEM I 42.5 : Ciment résistant aux sulfates 51

DTR : Document technique réglementaire..... 56

D.T.R-C-2-47 ; Règlement Neige Et Vent « RNV 99 », 1999.

D.T.R-BC-2-48 ; Règles parasismiques algériennes « RPA 99/ VERSION 2003 ».

DTR B.C 2.331 (Règle de calcul des fondations superficielles).

D.T.R-BC-2-41 ; Règles de conception et de calcul des structures en béton arme « CBA 93 ».

D.T.R-BC-2.2 ; Charge Permanente Et Charge D'exploitation « Bael91 », 1991.

TFC : Tissu de fibre de carbone…..... 83

INTRODUCTION GENERALE

Introduction générale

L'Algérie a connu plusieurs colonisations qui ont contribué aux transformations des villes et laissant ainsi des traces de leur passage, Durant le I9^{eme} et 20ème siècle. En particulier celles du littoral et des hauts plateaux, tels que, les villes d'Alger, de Constantine, de Sétif, ainsi Oran.

Certains patrimoine colonial représentatif d'une valeur culturelle, est devenu au fil du temps vulnérable face à des mutations irréversibles. En effet, les héritages coloniaux en Algérie se trouvent de plus en plus menacés par des problèmes d'ordre Économique et social, par des étalements urbains et d'immenses opérations de destruction. [1]

On constate aujourd'hui que cette richesse patrimoniale est souvent méconnue. En effet, ce patrimoine colonial, construit entre 19ème et 20ème siècle, est dans un état alarment ce qui nécessite une intervention d'urgence.

De nombreux travaux ont été réalisés sur différents cas de pathologies rencontrées Notamment après le séisme du Boumerdes du 19 mai 2003, entre autre, D'autres travaux de Réhabilitation ont été lancé qui visés la mise en valeur et la protection du patrimoine vaste concernant le vieux bâti à Alger.

Dans cet ouvrage, l'accent est mis sur les différentes pathologies structurelles et humides rencontrées dans le bâti traditionnel de littorale mais aussi sur les différentes techniques de réhabilitation.

On notera que ce thème, traitant des pathologies humides et structurelles, vise à comprendre les origines de l'humidité, à diagnostiquer les désordres et pour enfin donner des solutions en conséquence à fait l'objet de certaines publications d'auteur à savoir celui d'yves Baret [2].

Jean Coignet et Laurent Coignet [3], architecte et urbaniste, ont également apporté leur pierre à l'édifice dans leur livre intitulé ***La maison ancienne*** *: construction, diagnostic interventions*. Ils mettent en avant, les différentes techniques de construction dans la maison ancienne, altérations et remèdes, traitement de l'humidité, mais aussi ils présentent une approche très pragmatique du diagnostic des Pathologies liées à l'humidité dans les maisons anciennes.

La dégradation des ouvrages, concerne les intervenants dans le domaine les techniciens à tous les niveaux, à savoir, des experts et des laboratoires en charge des investigations sur les ouvrages existants, qui sont capable de cerner les désordres les plus couramment rencontrés dans les ouvrages et notamment les pathologies qui en résultent. Connaître la cause des dégradations des structures et des altérations des matériaux, ainsi reconnaître et apprécier la gravité des désordres.

L'objectif de toutes études de cas pathologique est de connaître les mécanismes de dégradation, d'évaluer l'état d'un ouvrage, établir et justifier des suites à donner et mener des

actions correctives tout en gérant la sécurité d'utilisation, puis en tirer des leçons d'une part pour

Définir une politique de gestion et de maintenance, d'autre part pour améliorer la conception et l'exécution des ouvrages futurs.

Nous constatons que la plus part des biens culturels, témoins du passé, sont dans un état de dégradation physique avancée. Ce constat est également enregistré dans la ville d'Alger notamment au niveau des édifices a caractère culturel, cas de notre projet de fin d'études « salle el atlas ex : MAGESTIC » dont la structure est en béton armé.

Problématique

Les constructions en général sont souvent affaiblies par les pathologies qui les affectent durant leur vie, ceci est dû à la mauvaise prise en considération de l'environnement et la vétusté des ouvrages.

Afin d'éviter d'arriver au stade des structure fortement endommagées dont l'affectation est irréversible, il ya lieu d'intervenir et mettre en place une processus d'entretien et de réparation au moment opportun pour freiner sa progression ou la neutraliser le plus vite possible en prenant les mesures nécessaires adéquates.

Dans ce mémoire nous parlerons de pathologies des ouvrages à savoir ; les désordres constatées, les scenarios des dégradations. Les diagnostics et les démarches effectuées, et donner les recommandations adéquates pour que la pathologie si elle existait sera soignée et empêchée de se répondre dans l'élément, et la structure restera résistante et saine.

Le diagnostic prend plusieurs formes et passe par des étapes essentielles et bien connues, C'est dans cette optique que s'inscrit le diagnostic d'un ouvrage. À partir du moment où une pathologie est apparue, même si cela ne remet pas en cause la stabilité de l'ouvrage, il est important de diagnostiquer d'une part d'où vient le problème, mais à quel degré il affecte l'édifice. Dans un second temps, il est nécessaire de supprimer le problème à la source et de réparer l'ouvrage.

Le diagnostic est un moment clé lorsqu'il y a présence de pathologies. En effet, si la source du problème est mal diagnostiquée, les réparations préconisées ne correspondront pas réellement à ce qui est nécessaire et l'ouvrage sera toujours soumis aux mêmes attaques.

Pour effectuer un diagnostic, différents moyens d'investigation sont disponibles. On a d'une part les Méthodes destructives, pour les structures pouvant être localement dégradées et les méthodes non destructives pour les ouvrages nécessitant d'être préservés tels que les bâtiments classés monuments historiques.

Une fois les causes détectées ainsi que les pathologies diagnostiquées, il est nécessaire de prévoir des travaux de réhabilitation afin de redonner à la structure ses caractéristiques physiques et mécaniques initiales.

L'état de vétusté du patrimoine bâti est dû à plusieurs paramètres qu'ils soient extérieurs ou intérieurs. Nous pouvons citer les conditions climatiques, les mouvements du sol, mais aussi ces derniers temps d'importantes secousses ont été enregistrées dans les zones limitrophes de la wilaya d'Alger, celles-ci ont probablement contribué à la dégradation de ce bâti.

A cela peut s'ajouter, l'intervention de l'homme, qui modifie la structure du bâti et engendre d'une manière intentionnelle sa dégradation.

Nous pouvons également parler du manque ou de l'absence total d'entretien qui entraine une dégradation continue engendrant parfois une perte de la stabilité structurelle voire de l'effondrement partiel ou total du bâti.

Objectifs

Afin d'apporter certains éléments de réponses à notre problématique et d'essayer de vérifier nos hypothèses préalablement posées, nous nous sommes fixés certains objectifs de préservation du vieux bâtis notamment la structure objet de notre projet de fin d'étude « LA SALLE EL-ATLAS » qui inscrit dans le bâti colonial ancien du XX siècle de la ville d'Alger, parmi ces objectifs qui pourront nous faciliter et nous orienter dans ce travail de sauvegarder le patrimoine à l'aide d'intervention étudies argumentée par des hypothèses de calcul .

Structure de mémoire

Notre mémoire comprend une introduction générale et deux parties :

La première partie se rapporte au recueil théorique. Il a pour objectif :

1/ D'aborder les différentes pathologies qui affectent le patrimoine colonial du XX siècle.

2/D'établir un listing des différentes pathologies qui affectent le bâtiment et les structure à caractère culturel en général et spécifiquement les pathologies du béton armé.

Cette partie permet de comprendre l'origine de ces désordres pour une meilleure intervention.

La deuxième partie est consacrée à :

1/ La présentation du cas d'étude de la **Salle ATLAS de Bâb El Oued** (ex MAGESTIC) basée sur les investigations réalisés sur place, pour donner les remèdes et les solutions adéquats relatifs au cas d'études.

CHAPITRE 1 :

PATHOLOGIES DES BATIMENTS ET DES STRUCTURES EN BETON ARME

❖ Pathologie des bâtiments:

Les constructions sont soumises durant leur vie à des désordres appelées pathologies, celles-ci affectent les matériaux de construction et provoquent parfois des dommages dangereux pour l'occupant. Dans ce chapitre nous allons essayer d'identifier les différentes pathologies qui affectent le bâtiment.

D'abord, nous allons tenter de définir le terme pathologie, puis de détailler les deux secteurs de pathologies notamment les pathologies humides qui concernent l'action de l'humidité et de l'eau sur le bâti et les pathologies structurelles qui se rapportent à la résistance de la construction face aux efforts structurels qu'elle subit. Cette étape nous permettra d'analyser les causes et les conséquences de ces désordres sur la construction.

Pour parvenir à vérifier nos hypothèses, il est primordial de choisir les méthodes les plus adéquates. Dans notre travail nous allons nous appuyer sur la méthode d'observation et d'enquête, et d'opter pour un processus adéquat de réhabilitation et renforcement de la salle, pour ce faire, nous avons scindé l'étude de notre projet de fin d'étude dans les deux parties suivante :

1° PARTIE « La recherche théorique » : il s'agit de consulter les ouvrages historiques et techniques ainsi que les travaux universitaires réalisés dans ce domaine pour bien comprendre ce phénomène de dégradation du vieux bâti d'où il s'agit de :

- De diagnostiquer et de décrire les différentes pathologies qui affectent les structures et les matériaux utilisés dans le vieux bâti colonial.
- D'identifier les sources de dégradation de ce vieux bâti pour une meilleure intervention
- Illustrer les dégradations souvent enregistrées dans des ouvrages à caractère culturel, qui sont caractérisés par leur grade portées structurelle.
- Les remèdes proposés pour ce type de structure (Illustré quelque mode de renforcement pour ce type de structure).

2° PARTIE : « La recherche pratique cas d'étude de la salle atlas» : Concernant cette partie du travail, une sortie sur site est effectuée pour entreprendre une enquête basée sur l'observation. Elle nous permettra ainsi de faire une collecte d'informations des différentes pathologies manifestant l'ouvrage en tenant compte de :

- Système structurel de la salle atlas
- Géométrie, Diagnostique, pathologie et dégradations enregistrées
- Résultats des essais effectués sur le béton et les caractéristiques des matériaux utilisés des éléments saints (non dégradés).
- Modéliser la structure après intervention à laide du ROBO BAT
- Prononcer sur le mode de renforcement adopté.

I. Différente type de pathologies

D'un point de vue étymologiquement, le terme pathologie est décortiqué en deux parties **" pathos"** qui signifie **« maladie »** et **"logos"** qui veut dire **« étude »**. Ce terme est définit comme une : ***« science qui étudie les problèmes constructifs qui apparaissent aux bâtiments après leur exécution* ».** Ce terme désigne donc l'ensemble des lésions d'un bâtiment. Selon leurs origines, les pathologies peuvent être divisées en deux secteurs ; **Pathologies humides et pathologies structurelles (Tableau 01)**.

Pour identifier ces différentes pathologies, il est indispensable d'effectuer un bon diagnostic Pour cela, il s'agira dans un premier temps pour le diagnostiqueur, d'avoir une connaissance parfaite du bâtiment d'un point de vue architectural, structurel, historique et esthétique. Dans un second temps, il y à lieu d'inspecter le bâtiment lui-même afin d'étudier les différentes altérations et leur typologie et voir ainsi leur évolution à travers le temps.

(Tableau 01.).Pathologies humides et pathologies structurelles

Famille	Lésions	Types
Humides (Physiquo + Chimique)	humidité	Capillaire, condensation, accidentelle, de travaux...
	saleté	Par dépôt, par nettoyage différentiel
	Erosion	Météorologique
	Efflorescence	Formation de sel avec cristallisation
	oxydation	Oxydation superficielle
	corrosion	Oxydation préalable/Immersion/Aération différentielle/Paire
	organismes	Présence et attaques d'animaux/Présence de végétaux
	érosion	Pollution
Structurelles (Mécanique)	Déformation	Tassement/Effondrement/Flambement/ Gauchissement/Flèche.
	Fissure	Par charges, par dilatation-contraction
	Fissure	Par support, par finition
	érosion	Coups et frottements
	Détachement	Finitions continue/Finition par éléments

II. les pathologies humides dans les bâtiments

L'humidité dans ses aspects les plus divers est responsable de l'apparition de la majorité des pathologies dans le bâtiment dont la cause est générée essentiellement par la circulation de l'eau dans la construction ou à l'extérieur de celle-ci. En effet, l'eau est un agent catalyseur qui peut produire des altérations chimiques autant que physiques et ce, grâce à son aspect fluide qui lui permet de se dissoudre, se déplacer et de véhiculer des sels minéraux [03].

La stagnation et l'empressement de l'eau dans le corps de l'ouvrage à une incidence sur la qualité des ambiances intérieures et le confort thermique des occupants et pour résoudre ce problème il faut bien connaitre les causes de l'humidité, donc, remonté à la source du problème.

III. Les sources d'humidité dans les bâtiments :

On peut répartir les sources de l'humidité en trois grandes familles et **la figure 01**. [04] ci-dessous indique les types d'humidité les plus courants qui peuvent affecter un bâtiment.

Figure 01:**Origines de l'humidité : Repérage schématique sur des murs.**

III.1 Infiltrations de l'eau de pluie :

Avec l'absence d'entretien et de maintenance, l'eau de pluie peut s'infiltrer directement dans un mur ou dans un toit. Ces infiltrations prennent de l'ampleur lorsque l'eau de pluie est associée au vent, car cette dernière frappe contre les parois des murs et exerce une pression qui génère la pénétration de l'eau dans le corps de l'ouvrage.

Il y a lieu de signaler que **les zones maritimes sont les plus vulnérables** du fait que la pluie, chargée d'embruns, dépose le sel sur les murs de la construction en formant ainsi une tâche pulvérulente blanchâtre (poudre) .

Par ailleurs, l'eau de pluie peut pénétrer dans la construction par des infiltrations latérales indirectes, engendrées par des précipitations atmosphériques en provoquant les actions suivantes:

- Rejaillissement d'eau affecte les façades du bâtiment les plus exposées aux eaux de pluie battante ; il se trouve que cette action est accentuée sur un sol non poreux car l'eau rejaillie plus fort et plus haut [05].
- Infiltration latérale, elle se produit lorsque les sols sont absorbants et produit ainsi une infiltration au niveau des parties des murs enterrés. [06].

Eaux de ruissellement peuvent être brutales en cas de fortes pluies et pourraient ainsi créer des crevasses au niveau du soubassement16 point de rosée dans l'épaisseur du mur elle se condense sous formes d'eau liquide, qui pénètre dans le mur et alimente une circulation capillaire [03] [07].

III.2 Humidité d'origine accidentelle

Il s'agit de fuites d'eau qui ont pour origine les défauts constructifs ou un manque d'entretien de la construction relatifs à la toiture (chêneaux, gouttières ou descentes), ou à des Canalisations (colonnes montantes, réseau de distribution encastré, chutes d'eaux usées, etc.) [08].
Ces désordres se manifestent donc à proximité du point d'infiltration.

❖ Pathologie des structures en béton armé :

Les structures en béton armé sont souvent affaiblies par les pathologies qui les affectent durant leur vie, ceci est dû à l'environnement qui n'a pas été pris en considération. La pathologie qui affecte le béton, et surtout, ceux qui sont classées dangereuses seront la cause de son effondrement si elles sont ignorées.

Pour ne pas arriver à ce stade on doit freiner sa progression ou la neutraliser le plus vite possible en prenant les mesures nécessaires qui s'imposent.

Le diagnostic est l'étape essentielle dans le processus d'entretien de la structure en béton armé, c'est pour cela on a donné une grande importance à cette phase. Parce que un bon diagnostic nous amène à la décision adéquate pour que la pathologie si elle existait sera soignée et empêchée de se répondre dans l'élément et structure restera résistante et saine.

Le diagnostic prend plusieurs formes et passe par des étapes essentielles et bien connues. Nous avons montré que parmi les diagnostics les utilisés est le diagnostic dit contrôle non destructif (CND) sur le béton que nous recommandons pour les avantages qu'il apporte, simple et ne porte aucun préjudice à l'élément ou la structure. [09].

La vétusté des ouvrages, les actions extérieures telles que le séisme. Ainsi que l'environnement sont les causes principales des cas pathologique constatés sur Les structures en béton armé.

C'est dans cette optique que s'inscrit le diagnostic d'un ouvrage. À partir du moment où une pathologie est apparue, même si cela ne remet pas en cause la stabilité de l'ouvragé, il est important de diagnostiquer d'une part d'où vient le problème, mais à quel degré il affecte l'édifice. Dans un second temps, il est nécessaire de supprimer le problème à la source et de réparer l'ouvrage.

Le diagnostic est un moment clé lorsqu'il y a présence de pathologies. En effet, si la source du problème est mal diagnostiquée, les réparations préconisées ne correspondront pas

réellement à ce qui est nécessaire et l'ouvrage sera toujours soumis aux mêmes attaques.
Pour effectuer un diagnostic, différents moyens d'investigation sont disponibles.

On a d'une part les Méthodes destructives, pour les structures pouvant être localement dégradées et les méthodes non destructives pour les ouvrages nécessitant d'être préservés tels que les bâtiments classés monuments historiques.

Une fois les causes ainsi que les pathologies diagnostiquées, il est nécessaire de prévoir des travaux de réhabilitation afin de redonner à la structure ses caractéristiques physiques et mécaniques initiales. Afin de retarder ou de limiter de nouvelles pathologies similaires, il est possible de protéger la structure. Il existe un grand nombre de protections, elles sont à choisir selon les différentes pathologies, mais aussi sur la durée de pérennisation espérée, elles vont du simple revêtement s'appliqué sur le parement, aux traitements électrochimiques.

Il est aussi possible de ne pas prévoir des travaux, mais seulement s'intéresser à l'évolution des pathologies. C'est le cas par exemple pour des fissures, il peut être utile de vérifier si son ouverture est continuelle dans le temps, dans ce cas il sera nécessaire de prévoir des travaux de confortement .Ou bien si l'ouverture de la fissure dépend de l'évolution de la température, auquel cas il est possible de laisser l'ouvrage en l'état sans craindre une dégradation de l'ouvrage. [10].

A. ***Description Des Pathologies Du Béton Armé :***

Dans cette partie, nous nous intéresserons aux principales pathologies apparaissant dans le béton armé durci, ces pathologies ont des causes et conséquences variables. Elles sont décrites dans ce qui suit : dégradations mécaniques, chimiques, est physiques. **figure 2**

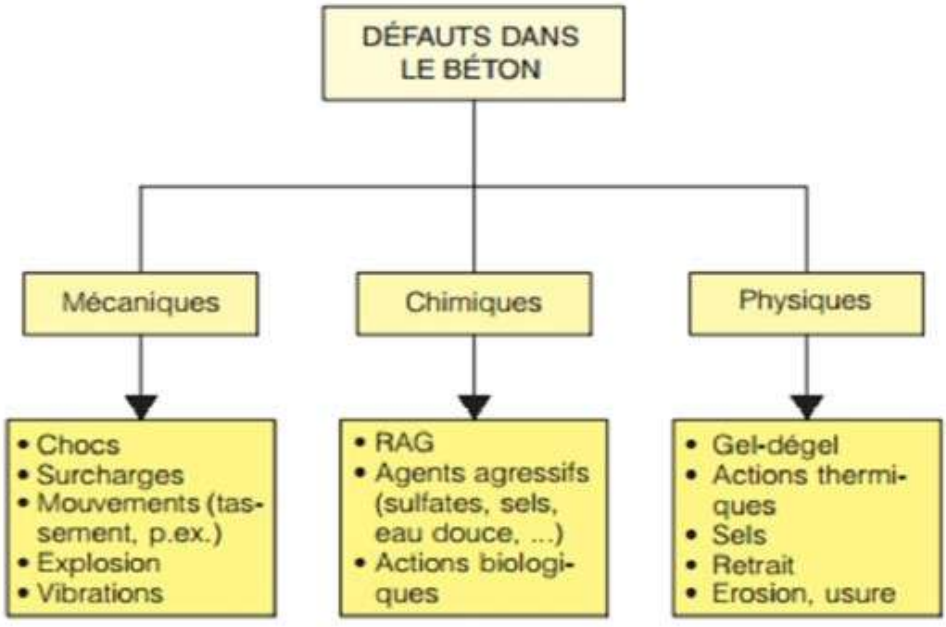


Figure 2 : **dégradations du béton armé**

1) Dégradations mécaniques :

Ces désordres se manifestent fréquemment par l'apparition de fissures, éventuellement aggravées par une déformation inacceptable de la structure. Lorsque des contraintes brusques, comme un impact ou une explosion, provoquent une dislocation plus ou moins importante du béton. Le lien entre les dégâts et leur cause est généralement évident, avant de procéder à des réparations, on s'assurera toutefois que d'autres mécanismes de dégradation actifs ne doivent pas être traités au cours des travaux.

Des désordres résultant d'une faible surcharge permanente ou d'un tassement des appuis sont en effet plus lents à se manifester, notamment en raison du fluage du béton. Outre une inspection in situ, une étude de stabilité sera nécessaire afin d'évaluer l'action d'une surcharge éventuelle. [9].

2) Dégradations Chimiques :

2.1) Réactions Alcalis-Granulats (R.A.G)

La réaction alcalis-granulats (R.A.G) résulte d'une interaction entre les alcalis du béton (provenant du ciment, des additions, des adjuvants, ...), et des granulats potentiellement réactifs (c'est-à-dire sensibles aux alcalis) qui contiennent de la silice réactive (acide silicique) se présentant sous forme d'opale, de calcédoine, de cristobalite, de tridymite et de quartz cryptocristallin. C'est la raison pour laquelle on parle également de réaction alcalis-silice.

La réaction se produit seulement si la teneur en réactifs se situe à l'intérieur d'un domaine critique (pessimum) dont les limites dépendent de la composition minéralogique des constituants.

La R.A.G entraîne la formation de produits expansifs et notamment d'un gel d'alcalis-silice capable d'attirer l'eau et donc de gonfler. Il en résulte des contraintes de traction internes au béton qui conduisent à une fissuration de ce dernier et, parfois, à la rupture des armatures. Pour qu'une réaction alcalis-granulats se produise, les conditions suivantes doivent être réunies :

- **présence de granulats potentiellement réactifs.**

La réaction se produit seulement si la teneur en réactifs se situe à l'intérieur d'un domaine critique (pessimisme) dont les limites dépendent de la composition minéralogique des constituants.

- **humidification permanente ou régulière de la structure teneur élevée du béton en alcalis.**

Dans un béton non armé, la **R.A.G** se manifeste par un faciès de fissuration plutôt aléatoire, dans un béton armé ou précontraint, les armatures empêchent la libre dilatation du béton dans le sens des barres d'acier, de sorte que le tracé des fissures épouse celui des armatures sous-jacentes.

En l'absence d'examen complémentaire, le risque est grand d'attribuer la dégradation, à tort, à un phénomène de corrosion. Dans certains cas, le béton prend une teinte ocre et l'on constate la disparition de lichens et de mousses présents au préalable le long des fissures. [11]

2.2) **Attaques Sulfatiques :**

Les sulfates en provenance de l'environnement (terres, milieu aqueux) peuvent réagir avec le béton pour former de l'ettringite (sel de Candlot), cette cristallisation s'accompagne d'une expansion très importante et peut se produire aussi bien durant la phase plastique du durcissement (ettringite primaire) qu'après le durcissement (ettringite secondaire), seule l'ettringite secondaire est préjudiciable au béton, les contraintes internes causées par l'expansion entraînant la fissuration et la ruine de la structure. Toutefois, même en l'absence de source extérieure de sulfates, un échauffement excessif du béton en cours de durcissement peut également donner lieu à la formation d'ettringite, notamment lors d'un traitement thermique (destiné à accélérer le développement de la résistance du béton) ou lors du dégagement de la chaleur. D'hydratation dans le béton de masse. C'est la raison pour laquelle la température maximale est généralement limitée à quelque 65 °C durant la phase de durcissement.

En décalcifiant les composés primaires de la prise présents dans le ciment durci (C-S-H), les sulfates peuvent aussi altérer la résistance mécanique du béton et donc affecter la stabilité de l'ouvrage. [09]

2.3) **Attaques Acides :**

Le béton présente un caractère basique élevé induit par les composés hydratés de la pâte de ciment (la phase interstitielle contenue dans le béton a un pH très élevé).

Il peut donc présenter une certaine réactivité vis-à-vis des solutions acides telles que les pluies acides, les eaux naturelles chargées en dioxyde de carbone, les eaux résiduaires, les eaux des industries agroalimentaires ou industrielles contenant des acides organiques, les eaux chargées en acides minéraux, mais aussi les eaux pures. [12]

2.4) **Lixiviation :**

Dans une structure en béton exposée à l'air ambiant, l'eau ne s'évapore que sur une épaisseur limitée à quelques centimètres, les pores sont saturés lorsque le béton est en contact de manière prolongée avec l'eau. Des ions en provenance du milieu extérieur peuvent alors transiter, dans la phase liquide interstitielle du béton. En fonction de la nature des éléments chimiques qui pénètrent dans le matériau, il peut en résulter des réactions chimiques de dissolution/précipitation et donc une lixiviation progressive des hydrates. Les eaux pures ou très peu chargées ont un grand pouvoir de dissolution, elles peuvent dissoudre les constituants calciques du béton.

Malgré la complexité des réactions chimiques générées par les eaux agressives,

l'application de quelques principes de prévention élémentaires respectés au niveau de la formulation du béton (formulation adaptée, dosage en ciment adéquat, faible E/C, béton compact et peu perméable), de la conception de l'ouvrage et lors de sa réalisation (vibration, cure) permettent d'obtenir des bétons résistants durablement dans les milieux agressifs.

3) Dégradations Physiques :

Les mécanismes de dégradation du béton est le mécanisme développés par le gel et les sels de déverglacée) sont liés à l'alternance de cycles répétés de phases de gel et de dégel. Le risque de désordres est d'autant plus élevé que le degré de saturation en eau du béton est important. C'est le cas notamment des parties d'ouvrages non protégées des intempéries et en contact direct avec des eaux saturées en sel. Une formulation mal adaptée et une mise en œuvre incorrecte du béton peuvent amplifier les dégradations.

Ce phénomène est aggravé, en surface, par l'application des sels de déverglacée (ou fondants routiers), qui engendrent un accroissement des gradients de concentrations en sels, générant ainsi des pressions osmotiques plus élevées.

Les dégradations occasionnées par le gel peuvent être de deux types :

- Une microfissuration répartie dans la masse du béton (feuilletage parallèle aux parois), provoquée par un mécanisme de gel interne ;
- Un délitage de la zone superficielle (dégradation superficielle), appelé écaillage, sous l'effet conjugué des cycles de gel-dégel et des sels de déverglaçage.
- Un gradient thermique important au voisinage de la surface, générée par l'application des sels à titre curatif sur un film de glace, amplifie la dégradation de surface.

Ces deux formes de dégradation peuvent se produire simultanément ou de manière indépendante, elles peuvent affecter la durabilité de la structure et en particulier la pérennité architecturale des ouvrages. [6]

3.1) Cycles dé gel-dégel

En l'absence de mesures appropriées, le bétonnage en période hivernale peut donner lieu à des dégâts de gel. La formation de glace conduit en effet à la dilatation de l'eau présente dans le béton frais.

Dans un béton encore plastique, ce gonflement s'opère librement; une fois durci, le béton ne présentera aucun dégât apparent, mais sera de mauvaise qualité. Dans un béton jeune déjà durci, le gonflement est entravé et des tensions internes apparaissent. Si le matériau n'a pas développé de résistance suffisante, les dégâts se manifesteront par un écaillage de la surface (le plus souvent en plusieurs couches). On considère généralement que le béton est apte à résister à ces tensions internes dès que sa résistance en compression dépasse 5 N/mm2. Cette résistance devrait être atteinte si l'on maintient une température ambiante supérieure à 5 °C pendant les 72

premières heures qui suivent la mise en œuvre.

Un béton durci peut, lui aussi, être endommagé par le gel : en se dilatant sous l'action du gel, l'eau présente dans les pores et les fissures crée des tensions susceptibles de provoquer ou d'aggraver des fissures. La sensibilité au gel du béton durci dépend dans une large mesure de sa structure poreuse et des dimensions des fissures. Le risque de dégâts de gel est plus important sur des dalles ou des plans horizontaux que sur des surfaces verticales, les pores étant davantage saturés en eau. [7].

3.2) **Sels de déverglaçage**

Les sels de déverglaçage employés pour faire fondre la glace induisent une réaction endothermique, c.-à-d. une réaction au cours de laquelle le milieu environnant cède une partie de sa chaleur. En l'occurrence, la chaleur est prélevée dans la couche superficielle du béton qui, en raison de la chute brutale de température, subit un choc thermique et s'expose ainsi à un risque d'écaillage. Le risque de dégradation par le gel est encore accru lorsque des précipitations neigeuses prolongées alternent avec des épandages de sels répétés et que la couche superficielle du béton peut se trouver saturée en eau. La nature des sels de déneigement peut également avoir une incidence sur le processus de dégradation observé.

Par ailleurs, les ions chlore des sels de déverglaçage peuvent engendrer un risque de corrosion pour les armatures. [09]

Les ingénieurs ont, au cours du XXe siècle, appris à maîtriser certaines conséquences ; problématiques du phénomène de carbonatation. À la fin de vie de l'ouvrage, la carbonatation peut, cette fois, être exploitée pour fixer du CO2 dans la pâte de ciment durcie d'un béton de démolition.

B. <u>Les pathologies à risque élevé</u>

Dans ce qui suit nous allons voir les différents types de pathologies à risque élevé qui sont.

1) **La carbonatation.**

La carbonatation est un phénomène indissociable du béton, pendant sa durée de vie, le dioxyde de carbone CO2 présent dans l'atmosphère pénètre dans le béton à partir de la surface du matériau, c'est le résultat de la réaction chimique entre le gaz carbonique (CO2) de l'air et la chaux contenue dans le ciment du béton, elle provoque l'abaissement du pH du béton et donc son aptitude naturelle à protéger les armatures en présence d'eau ;Le dioxyde de carbone peut alors réagir avec les produits résultant de l'hydratation du ciment.

La carbonatation modifie la composition chimique et la microstructure interne du béton durant la vie de l'ouvrage, le béton piège ainsi du dioxyde de carbone à hauteur de 10 à 15 % du CO2 émis lors de la décarbonatation du calcaire nécessaire à la fabrication du ciment.

Des résultats récents montrent qu'il est alors possible de reprendre jusqu'à 50 à 60 % de

CO2 supplémentaire. Par ailleurs, cette carbonatation est particulièrement favorable à une amélioration de la qualité du granulat recyclé issu du béton de démolition, facilitant ainsi sa réutilisation. [10]. (**Figure 03)**



Figure 03 : Cas de figure de phénomène de la carbonatation du béton

1.1) **Les mécanismes de la carbonatation**

L'atmosphère de notre planète contient en moyenne 0,03 à 0,04 % de CO 2, cette concentration en dioxyde de carbone varie localement avec la température, la pression, atmosphérique et la proximité éventuelle d'une agglomération. Le béton perd dans le temps 50% de l'eau de gâchage; cette perte d'eau provoque la formation d'un réseau capillaire à l'intérieur du béton qui favorise la pénétration d'eau et d'air. Dès que la carbonatation, atteint les armatures, ces derniers sont dépassivées, l'oxyde protecteur disparu qui est remplacé par de nouveaux sels appelés (la rouille) dont le volume est six fois supérieur à celui de l'acier, e qui produit le gonflement des armatures et éclatement du béton de l'enrobage .

Dans les zones fortement industrialisées, dans les parkings et aux abords des grands axes routiers, la quantité de CO 2 atmosphérique peut être multipliée par un facteur trois ou quatre pour atteindre 0,1 %. $CO2 + Ca(OH)2 \longrightarrow CaCO3 + \mathbf{H2O}$

1.2) **Conséquences de la carbonatation**

Notons que les ciments contiennent également des oxydes d'alcalins (Na2O et K2O) qui se retrouvent sous forme de bases alcalines dans la solution interstitielle (NaOH et KOH), ces espèces alcalines permettent de maintenir une basicité au-delà de la valeur imposée par la portlandite (c'est-à-dire au-delà de 12,4 à 20 °C). Néanmoins, leur carbonatation est très rapide puisque les alcalins sont quasiment uniquement présents sous forme aqueuse et sont donc facilement lixiviés (on dit aussi lessivés) en présence de pluie.

Au cours du processus de carbonatation, l'élément principal de transformation est le carbonate de calcium ($CaCO_3$) dont il existe plusieurs variétés polymorphiques : calcite, vatérite et aragonite. La calcite est la variété la plus stable et correspond à la forme du calcaire qui a servi à obtenir le clinker après cuisson du cru dans le four de la cimenterie.

Du point de vue des structures en béton armé ou précontraint, la carbonatation est un phénomène délétère qui progresse de l'extérieur (parement) vers l'intérieur, à travers la zone d'enrobage des armatures, selon un processus physico-chimique qui associe la diffusion du CO_2 à travers la porosité et les réactions chimiques de fixation du CO_2 dans les hydrates. La neutralisation de l'alcalinité du milieu qui en découle devient problématique lorsqu'elle atteint le premier lit des armatures, en effet, si le pH diminue trop, la couche de passivation des aciers constituée d'oxydes et d'hydroxydes ferreux devient instable. Il s'ensuit une corrosion rapide, dite généralisée, sur toute la surface de l'armature. Les produits de corrosion, qui sont expansifs, endommagent le parement (fissuration, épaufrures, etc.), forment des coulées de rouilles inesthétiques et conduisent à la réduction de la section d'acier des armatures. La valeur de pH seuil en dessous de laquelle la carbonatation peut conduire à une corrosion marquée des armatures fait encore débat dans la littérature. Situé entre 9 et 11, ce seuil dépend de la nature du ciment et surtout de l'état hydrique du béton ; il faut notamment suffisamment d'eau liquide pour faciliter les échanges ioniques au niveau des micro piles qui apparaissent sur la surface de l'acier, sans pour autant bloquer la diffusion de l'oxygène corrosif en phase gazeuse.

Il est possible de réaliser un diagnostic de l'état de carbonatation du béton en prélevant depuis un parement une carotte qui est fendue en deux et sur laquelle un indicateur colorimétrique de pH (phénolphtaléine) est pulvérisé. La partie carbonatée apparaît incolore et le noyau non carbonaté, c'est-à-dire très basique, se colore en rose (la zone de virage est voisine de pH = 9).Toutefois il est stipulé dans la réglementation européenne REACH que la phénolphtaléine a un caractère cancérigène. Son utilisation doit être limitée ou sévèrement contrôlée. C'est pourquoi la communauté scientifique se penche sur l'utilisation d'un nouvel indicateur coloré de pH. [10]

La méthode colorimétrique ne renseigne pas sur la forme véritable du front de carbonatation comme cela est illustré où les armatures apparaissent protégées, car étant situées à l'aval du front détecté par projection de phénol -phtaléine, alors qu'en réalité le niveau de carbonatation y serait suffisant pour initier la corrosion. Pour gagner en précision, il existe des méthodes plus coûteuses telles l'analyse thermogravimétrique (réalisée sur une succession de fines tranches de matériau prélevées par sciage depuis la surface) et la gamma-densimétrie (méthode non destructive).

L'utilisation de plusieurs indicateurs colorés présentant des zones de virage de pH

différentes pourrait également être une solution à condition que les contrastes de coloration entre les zones saine et carbonatée soient suffisamment marqués.

L'humidité de l'air est un facteur très important puisque la carbonatation est lente, voire absente, dans une atmosphère saturée d'eau (la diffusion du CO2 en phase gazeuse est alors quasiment impossible si la porosité du béton est saturée) et dans une atmosphère trop sèche (la dissolution du CO2 en phase aqueuse n'a pas lieu car elle est cinétiquement très limitée).

Ce comportement conduit à une carbonatation optimale pour une humidité relative comprise entre 50 et 70 %.En revanche, notons que la corrosion sera quant à elle optimale pour une humidité relative avoisinant 90 %-95 %.

Du point de vue normatif, le risque de carbonatation est pris en compte pour formuler un béton (E/C, dosage en ciment et teneur en additions minérales) au travers de la norme NF EN 206-1.

Il est intéressant de noter que la classe d'exposition la plus préjudiciable vis-à-vis de la carbonatation (XC4) correspond à un climat avec alternance de phases sèches et humides. Cette situation n'est certes pas la plus favorable du seul point de vue de la carbonatation ; en revanche, eu égard au risque de corrosion, elle maximise la cinétique, notons également l'existence de Normes (Euro code 2) permettant le dimensionnement de l'épaisseur d'enrobage en fonction de la classe de résistance du béton et de l'agressivité de l'environnement vis-à-vis de l'attaque du CO2.

1.3) **Les Causes de la Carbonatation**

Lors de la prise du béton, il se produit une réaction chimique traduite par la formation d'hydroxyde de la chaux Ca(OH2), qui est présent dans toute la masse de béton ; également le CO2 présent dans l'atmosphère peut être à l'origine d'une carbonatation des matrices cimentaires. Il se diffuse alors sous forme gazeuse dans la porosité du béton ou du mortier et se dissout en formant des acides au contact de la solution interstitielle contenue dans la pâte de ciment (avec une prédominance de H2CO3, HCO3- ou CO3 suivant la gamme de pH. **(Figure04)**

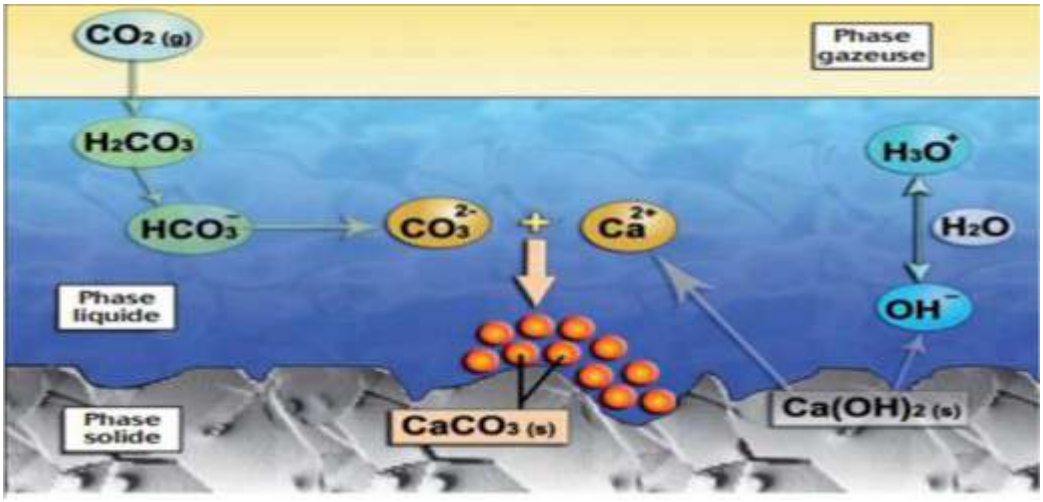


Figure 04 : La phase de la carbonatation.

Ce phénomène a pour conséquence d'abaisser le pH du milieu et de conduire à la

dissolution des hydrates du ciment. L'hydroxyde de calcium (Ca(OH)2) est notamment affecté. Plus communément appelé portlandite, cet hydrate joue un rôle fondamental dans le maintien d'un pH élevé protégeant les armatures du béton armé ou prévenant la formation de micro-organismes.

La carbonatation des C-S-H, qui contribue de manière non négligeable à la fixation du CO2 dans la matrice cimentaire, est à l'origine d'importantes évolutions de la microstructure. Les C-S-H se carbonatent suivant un mécanisme progressif de décalcification, les ions calcium venant se précipiter dans la porosité avec les ions carbonates sous forme de carbonate de calcium. La décalcification conduit à la formation d'un gel de silice très amorphe (fortement polymérisé) et plus ou moins hydraté. La carbonatation de la portlandite et des C-S-H est inéluctable, même pour des concentrations très faibles en CO2 (0,03 %). La concentration en CO2 venant simplement contrôler la vitesse à laquelle ce phénomène va avoir lieu et la vitesse avec laquelle il pénétrera dans le matériau (on parle alors de cinétique de pénétration). **(Figure05)**

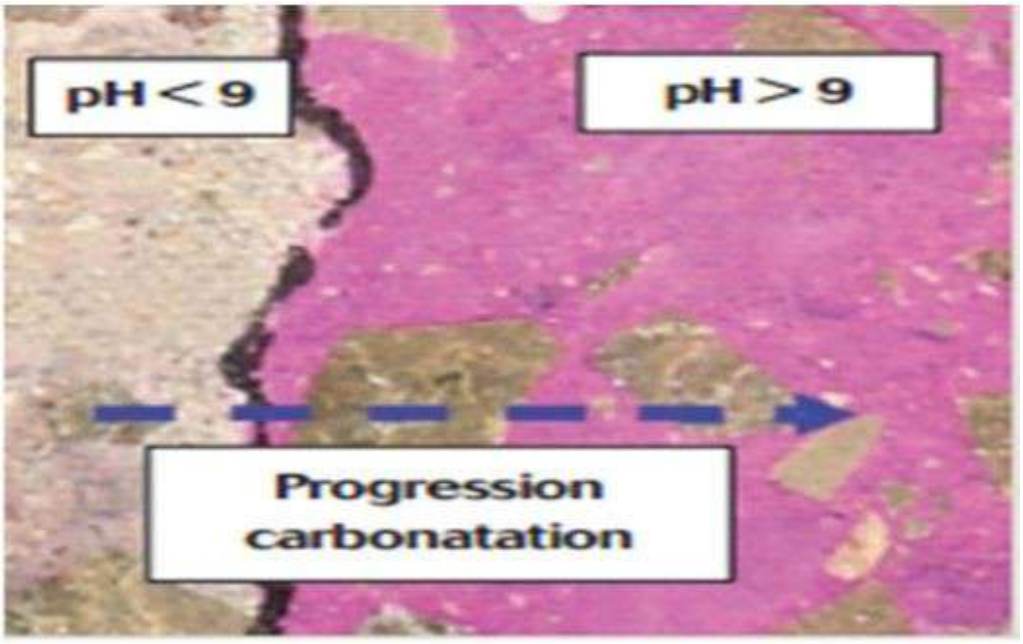


Figure 05 : Progression du front de carbonatation

2) La corrosion :

2.1 Aspect physico-chimique de la corrosion

Avant d'être placée dans le coffrage, une armature en acier est rouillée, parce qu'elle a d'abord été exposée à l'atmosphère. Lorsque le béton frais est mis en place autour de cet acier, l'eau de gâchage pénètre à travers les pores de la rouille, où elle forme progressivement de la ferrite de calcium hydraté ($4CaO\ Fe_2O_3 13H_2O$). Mais surtout, cette eau réagit avec l'acier et forme sur celui-ci une fine couche d'hydroxydes de fer $Fe(OH)_2$ et de calcium $Ca(OH)_2$.

Tous ces produits au voisinage de l'acier donnent à la solution interstitielle du béton un ph élevé, de l'ordre de 13 qui permet d'assurer la protection de l'acier par passivation. Une telle

protection disparaît si la teneur en chlorure dépasse un certain seuil ou si la profondeur de carbonatation dépasse l'enrobage.

2.2 Phases d la corrosion

La durée de vie d'un ouvrage en béton armé vis-à-vis de la corrosion des aciers est souvent décrite à travers les étapes suivantes:

- **Phase d'initiation (ou d'incubation)** : c'est le stade durant lequel les agents agressifs, tels que le dioxyde de carbone (CO2) ou les chlorures (Cl-), présents dans le milieu environnant, pénètrent dans le béton**.**
- **Phase de propagation** : cette phase commence lorsque ces agents agressifs se trouvent à des concentrations fortes au niveau des armatures. Cette phase correspond à la croissance de la rouille, qui peut ensuite faire éclater le béton d'enrobage.

Ainsi, pour décrire la corrosion des aciers dans les bétons, il convient de préciser, d'une part, la pénétration des agents agressifs dans le béton et, d'autre part, les conditions de dépassivation de ces armatures, puis la vitesse de dissolution du métal et la croissance de la rouille. L'observation de la dégradation d'un ouvrage en béton armé intervient souvent au cours de la phase de propagation, lorsque les destructions deviennent visibles, c'est-à-dire bien souvent tardivement. Il devient alors très lourd de réparer l'ouvrage et il convient donc de prévoir les effets à long terme de ces agressions. Cette prévision est fondée sur la définition des investigations à effectuer.

Elle doit permettre en particulier d'ajuster une formulation adéquate du béton et de définir les paramètres d'exécution de l'ouvrage en fonction de son environnement.

2 .3 Formes de la corrosion :

La dissolution (anodique) d'un métal se produit en des zones très variables et la localisation de celles-ci détermine l'aspect de la corrosion. Il en résulte que l'aspect d'un métal corrodé est de différents types :

- Corrosion généralisée : la corrosion a un aspect à peu près uniforme ;

Ce type a lieu si la zone de réaction cathodique est loin de celle de dissolution, ou si les zones Cathodiques et anodiques sont très petites et à peu près régulièrement alternées ;

- corrosion localisée : ce type de corrosion a lieu si les zones anodiques sont petites et se trouvent à des endroits fixes ; il apparaît alors de petites cuvettes ou piqûres de corrosion. Dans le cas où le matériau métallique a des constituants très différents, il peut apparaître une dissolution sélective mais ceci ne concerne pas les aciers placés dans le béton ;
- corrosion sous contrainte : celle-ci est induite par l'action simultanée de la corrosion et d'une sollicitation mécanique .Si cette sollicitation est maintenue dans le temps, il s'agit de corrosion sous contrainte. Dans ce cas, une fissure peut se former, se développer au cours du temps et éventuellement

provoquer la rupture du métal tendu. Si la sollicitation oscille, alors il s'agit de corrosion par fatigue. Dans ce cas aussi, des fissures peuvent apparaître et se développer jusqu'à provoquer la rupture de l'élément sollicité mécaniquement. (**Figure** 06).



Figure 06: Carbonatation du béton suivi de la corrosion des aciers.

2.4 Facteurs influençant de la corrosion des armatures

La corrosion dépend de plusieurs facteurs dont certains sont liés au milieu environnant et d'autres aux caractéristiques du béton. Une description des différents facteurs contribuant à la corrosion est présentée par [Raharinaivo et al.,1998]. On présente ci-dessous les facteurs Prépondérants.

2.5 Enrobage

L'enrobage de béton autour des armatures a pour rôle principal d'assurer une transmission des forces par adhérence entre le béton et l'acier. En outre l'enrobage de béton protège les aciers de deux façons : par une protection physique, le béton constituant une barrière vis - à - vis des agents agressifs et par une protection chimique, grâce au pH élevé de la solution interstitielle du béton, lequel maintient stable la couche protectrice formée sur les aciers.

2.6 Température :

Les réactions chimiques sont accélérées avec l'augmentation de la température. Par ailleurs, une élévation de température augmente la solubilité des gaz (oxygène, etc.) et des sels dans l'eau.

2.7 Teneur en chlorure

Les chlorures présents dans le béton peuvent soit être introduits lors du gâchage, soit provenir du milieu environnant. Lorsque la teneur en chlorure atteint ou dépasse une valeur critique ou valeur seuil

[Glass et al., 1997 ; Brime, 2001 ; Petterson, 1993], on dit qu'il y a dépassivation de la couche protectrice de l'acier, l'enrobage ne peut plus protéger les armatures et la corrosion s'amorce si les quantités d'eau et d'oxygène sont suffisantes.

2.8 Oxygène

L'oxygène dissous dans un liquide ou dans une phase aqueuse joue un rôle primordial dans la réaction, dite cathodique, de corrosion des aciers ((O2+2H2O+e- → 4OH-).Ainsi, plus la teneur en oxygène est élevée, plus grande est la vitesse de réaction de dissolution du métal. Parallèlement, plus la teneur en oxygène n'est élevée, plus le potentiel mixte du métal se rapproche de la valeur correspondant à la réduction de l'oxygène. En d'autres termes, ce potentiel mixte se déplace vers les valeurs positives.

2.9 Agents agressifs autres que les chlorures

L'eau qui entoure le béton ou qui pénètre par intermittence dans celui-ci (pluie, etc.), peut contenir divers sels. Ceux-ci contribuent à la formation des produits de corrosion de l'acier enrobé. C'est ainsi, par exemple, que les sulfates réagissent comme les chlorures, au niveau qualitatif, Une rouille verte peut se former en l'absence d'oxygène. Celle-ci peut ensuite se transformer en produits classiques en relâchant des sulfates solubles. Mais, au niveau quantitatif, l'effet des sulfates reste négligeable. En pratique, sauf en cas de pollution d'origine industrielle, seuls les chlorures et le dioxyde de carbone sont les facteurs de dépassivation des aciers dans le béton.

2.10 Réactions de la corrosion des aciers dans le béton

L'exposition des armatures à l'air permet la formation d'une couche naturelle de rouille.

Et Vue la porosité élevée de cette rouille, l'eau de gâchage du béton frais pénètre par capillarité à travers ses pores et des cristaux de ferrite de calcium hydraté peuvent se former (4 CaO FeO3 13H2O).

L'hydratation du ciment produit également l'hydroxyde de calcium (Ca(OH)2) qui assure un pH élevé à la solution interstitielle. D'une façon générale, les constituants à base d'alcalins du ciment, notamment de calcium et, dans une échelle moins importante de potassium et de sodium, contribuent à la réserve alcaline du béton [Almusallam, 2001].

Dans la zone de contact du béton et de la couche de rouille formée pendant le stockage, l'hydratation du béton est perturbée. Ainsi, entre le béton sain et l'acier, des couches superposées peuvent être identifiées. La première est une couche non influencée par les aciers ; la deuxième, qui est une zone intermédiaire entre le béton sain et la couche la plus proche du métal, assure une transition entre les propriétés mécaniques et la microstructure.

Enfin, la troisième, fortement adhérente à l'acier et étanche, est responsable de la protection de l'acier ou, en d'autres termes, de sa passivation. Tant que le microfilm protecteur dû au ciment sain existe, l'acier dans le béton reste intact.

Les ions chlorures en contact avec le béton pénètrent dans l'ouvrage par l'intermédiaire de

l'enrobage. La nature du produit formé à la surface de l'acier est modifiée par les chlorures.

Il apparaît une réaction de dissolution (appelée anodique ou d'oxydation) dans laquelle les ions ferreux dissous sont formés (anode). Les électrons libres réagissent à la surface de la barre d'acier dans la zone dite cathodique. Ces électrons réduisent l'oxygène gazeux dissous dans l'eau, de façon à générer les ions hydroxyles. Les deux réactions

Élémentaires d'oxydation et de réduction sont simultanées :$\mathbf{Fe \rightarrow Fe^{2+} + 2e^-}$

Dans les cas les plus courants, les ions ferreux dissous se combinent avec les ions

Hydroxyles de façon à former les hydroxydes :$\mathbf{Fe^{2+} + 2OH^- 2Fe(OH)_2}$

Cet hydroxyde ($Fe(OH)_2$) peut continuer à s'oxyder et former de la rouille anhydre **(Fe_2O_3)** ou de la rouille hydratée ($Fe(OH)_3$) et du FeOOH, sachant que [Raharinaivo et al., 1998] : **2(FeOOH) Fe2O3 + 3 H2O ;** En l'absence de chlorure, les produits formés à la surface de l'acier protègent celui-ci : c'est la Passivation. Une représentation schématique du mécanisme de corrosion induite par les chlorures.

On note aussi que, dans les réactions liées à la corrosion, les ions chlorures ne sont pas présents dans la rouille, même si on les trouve dans les étapes intermédiaires de la réaction. On remarque encore que la porosité de la pâte de ciment est un facteur de grande influence dans la corrosion, puisque le pont entre l'anode et la cathode se fait à partir de la solution interstitielle d'une part et de l'armature, d'autre part. Les principaux paramètres qui ont une influence sur la résistivité électrique du béton sont l'humidité, le système poreux de la pâte de béton durci et la composition ionique de la solution interstitielle. [11].

2.11 Les Causes de la Corrosion

On distingue principalement deux facteurs favorisant l'apparition de la corrosion dans le béton armé. Tout d'abord, il y a la carbonatation du béton, lorsque le pH du béton descend en dessous de 9 les armatures ne sont plus passivées.

Ce phénomène est occasionné par la réaction entre les hydrates de la pâte de ciment et le CO2 atmosphérique. L'autre facteur étant les chlorures, la dépassivation s'opère lorsque la teneur en chlorures au niveau des armatures dépasse un certain seuil. Il est admis que ce seuil correspond à une teneur de 0,4% par rapport à la masse du ciment. Le schéma suivant décrit. [11]

2.12 Les Conséquences De La Corrosion

La formation de la corrosion s'effectue aux dépens de métal d'origine. Ce phénomène entraine à la fois une augmentation importante de volume ainsi qu'une perte de la section efficace de l'armature.

Cela a pour conséquences d'une part l'apparition de différentes pathologies au niveau du parement suite à l'augmentation de volume, mais aussi une perte de capacité portante due à la

diminution de la section efficace. Ces pathologies peuvent être des fissures, des épaufrures, des décollements. [11]

3) **Les fissures**

Fente visible affectant la surface d'une maçonnerie, d'un dallage, d'un appareil sanitaire, etc. Par convention, la fissure a entre 0.2 et 2mm de largeur; au-dessous il s'agit d'un faïençage ou d'un simple fil; au-dessus, la fissure est une lézarde, dans leur majorité, les fissures n'ont qu'un inconvénient esthétique: fissure de retrait, ou de mouvement différentiel à la jonction de deux matériaux.

Les fissures sont graves si elles portent atteinte à l'imperméabilité des parois (fissures Pénétrantes laissant passer l'eau de pluie à travers un mur exposé); plus graves encore sont les fissures traduisant un affaissement des fondations, ou des mouvements du sol. est important avant tout de souligner qu'il est impossible aujourd'hui d'éviter la fissuration du béton armé, que ce soit lors de la mise en œuvre, due par exemple au retrait de dessiccation ou sur le béton durci, dû au vieillissement du matériau.

Les causes de la fissuration sont multiples, mais peuvent être répertoriées en quatre catégories :

- ✓ Les causes dues aux propriétés des matériaux, avec par exemple le retrait suite à l'évaporation de l'eau de gâchage, le gonflement engendré par la réaction exothermique du liant ou encore à la résistance mécanique de la cohésion du liant.
- ✓ Les causes directes externes, avec notamment les déformations excessives sous l'action des charges ou encore des déformations sous l'action des variations de température ou sous l'action de l'humidité.
- ✓ Les causes externes indirectes, à savoir les répercussions sur certaines structures d'actions provenant d'autres éléments tels que les tassements différentiels des fondations.
- ✓Les causes dues à un phénomène de corrosion des armatures, les armatures corrodées ayant un volume plus important que les aciers en bon état, l'état de contrainte du béton au droit d'une armature corrodée est plus important et la fissuration s'enclenche.

Parmi les différents types de fissures, on distingue principalement trois catégories :

A- **Le faïençage**, c'est un réseau caractéristique de microfissures qui affecte principalement la couche superficielle du béton.

B - Les microfissures, ce sont des fissures très fines dont la largeur est inférieure à 0,2 mm.

C- Les fissures, ce sont des ouvertures linéaires au tracé plus ou moins régulier dont la largeur est d'au moins 0,2 mm.

Il est important lors du processus de réhabilitation d'un ouvrage, de s'intéresser à l'évolution.de la largeur d'une fissure. Il est possible de classer les fissures en trois catégories selon leur évolution :

- Les fissures passives ou mortes, pour les fissures dont les ouvertures ne varient plus dans le temps, quelles que soient les conditions de température, d'hygrométrie ou de sollicitation de l'ouvrage. Cependant, elles sont rares, car les matériaux alentour à la fissure varient selon la température, c'est le phénomène de dilatation thermique.
- Les fissures stabilisées, lorsque leur ouverture varie dans le temps en fonction de la température.

4) **lézardes**

Les lézardes dans les briques et dans les joints de mortier sont causées par le tassement du sol sous une construction. Le sol peut être un “terrain rempli” où les vides ont été obturés sans qu’on laisse le remblayage se fouler convenablement. La glaise sous la fondation a pu sécher et rétrécir ou, peut-être, s’est déplacée sous l’effet d’une inondation.

Le drainage ou l’imperméabilisation font peut-être défaut, ou la fondation a été érigée au-dessus de la ligne de gel. Le sol sous les maisons construites sur une colline se déplace quelquefois vers le bas de la pente. Le pourrissement et le séchage du bois peuvent occasionner des déplacements de terrain et les racines de gros arbres déplacer ou éventrer une fondation. Peu importe la cause, les lézardes causées par affaissement et qui ne sont pas réparées à temps se détériorent rapidement.

Des lézardes continues sur les murs extérieurs indiquent des problèmes d’affaissement : elles sont plus apparentes là où une rallonge a été construite. Elles se forment également dans le haut des portes, aux seuils et aux cadres des fenêtres. Déterminez d’abord si le déplacement et la progression des lézardes sont terminés. Le déplacement dans une maison neuve peut ne jamais plus se reproduire, une fois la maison placée. Vérifiez la lézarde d’un mur extérieur pour savoir si le déplacement est terminé en suivant les deux méthodes que voici : faites un pont sur la lézarde avec un morceau de verre. Collez le verre à l’époxy de chaque côté de la lézarde. Le moindre changement dans le mur ou la fondation brisera le verre. [12]

5) **Retrait**

Contraction d'un matériau provoquée par l'élimination de l'eau de gâchage excédentaire (bétons, enduits).Les tensions internes provoquées par les retraits ont pour effet soit de réduire les dimensions extérieures des matériaux, soit de les déformer, soit de provoquer leur rupture ; Faïençage des enduits, microfissuration du béton. Le retrait des bétons et mortiers de ciment commence par un retrait plastique (légère contraction par évaporation, dès la mise en place); puis intervient le retrait hydraulique, élimination d'eau de gâchage excédentaire, qui se poursuit de façon décroissante pendant longtemps.

De façon générale, un béton ou un mortier a d'autant plus de retrait que sa concentration en ciment est importante. La mesure du retrait s'effectue sur des éprouvettes (4x4x16cm), d'une

part sur la pâte pure, d'autre part sur le mélange constitué.

Le retrait correspond à des variations dimensionnelles mettant en jeu des phénomènes physiques avant, pendant ou après la prise des bétons. Lorsqu'elles ne sont pas maitrisées par le ferraillage ou la présence de joints, ces variations dimensionnelles donnent lieu à l'apparition de fissurations précoces, d'ouverture conséquente. Les fissurations liées au retrait doivent être différencies des phénomènes de fissuration fonctionnelle des ouvrages, ces derniers étant généralement maitrisés par les règles de calcul, et restent compatibles avec la bonne tenue des ouvrages dans le temps, notamment en raison des faibles ouvertures des fissures.

Quatre types de retrait peuvent être à l'origine de l'apparition de fissures sur la surface des parements : retrait plastique, retrait de dessiccation, le retrait thermique et le retrait d'auto-dessiccation.

a. **Le retrait plastique** : en relation avec des déformations par tassement général du béton frais, déformations qui peuvent être gênées et créer une fissuration de surface au droit d'obstacles tels que des armatures. Ce retrait est limité à la période précédant la prise du béton, lorsque ce dernier reste suffisamment déformable pour subir des tassements.

b. **Le retrait de dessiccation** : est lié au séchage qui se manifeste avant, pendant et après la prise du béton. Dans des conditions courantes, il est de l'ordre de 1 mm/m. La fissuration qui en résulte est due "a la dépression capillaire qui se produit lorsque des ménisques d'eau se forment dans les pores capillaires du béton frais. Ce retrait, qui est donc consécutif "a l'évaporation de l'eau, peut se manifester quelques minutes après la mise en Ouvre du béton, et se poursuivre Quelques semaines après. Il est piloté par la cinétique de dessiccation.

c. **Le retrait thermiques** : est lie au retour à température ambiante des pièces en béton ayant au préalable subi une élévation de température due aux réactions exothermiques déshydratation du ciment. Ce retour à la température ambiante est accompagné par une contraction qui génère des déformations empêchées susceptibles de conduire à l'apparition de phénomènes de fissuration.

d. **Le retrait d'auto-dessiccation** : est lie à la contraction du béton en cours d'hydratation et protégé de tout échange d'eau avec le milieu environnant. Il provient en Fait d'un phénomène d'auto-dessiccation de la pâte de ciment consécutif à la contraction. Le Chatelier (le volume des hydrates formes est plus petit que le volume de l'eau et du ciment anhydre initial).

Le phénomène conduisant à la contraction est dû à des forces de traction capillaires internes, similaires à celles responsables du retrait plastique. Ce dernier type de retrait concerne plus particulièrement les bétons à hautes performances (**BHP**) ou à très hautes performances (BTHP). Il devient négligeable pour les bétons ordinaires. **Figure 07** [13] [14].

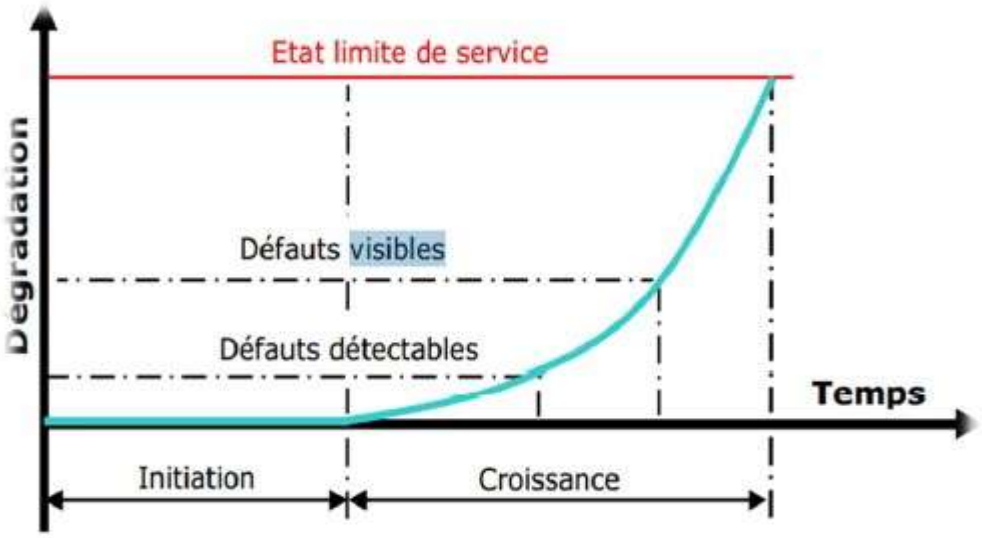


Figure 07 : Evolution de la dégradation d'une structure en béton armé

C. Les pathologies à risque moyen :

1) Faïençage :

Le phénomène de faïençage se manifeste à la surface du béton et affecte son apparence. Il est reconnaissable à la formation sur la dalle de fissures très minces, dont la dimension moyenne varie de 10 mm à 40 mm Ces fissures se présentent en réseaux plus ou moins hexagonaux. Elles se développent rapidement, pouvant atteindre une profondeur de 3 mm, et apparaissent dans les jours suivant la finition du béton. Souvent, le faïençage est seulement visible lorsque la surface est mouillée et commence à sécher. Problème d'ordre esthétique, le faïençage affecte rarement la durabilité de la surface ou la résistance de la dalle de béton.

2) Epaufrure

Défaut de surface dû à un choc ou à des intempéries sur le parement ou l'arête d'un élément
De béton durci ou d'un bloc de pierre, dans une construction.

3) Lichen

Lichen est un champignon qui grandit avec les algues et se propage sur la roche, des arbres,
Béton et autres surfaces solides pour créer une substance de la croûte comme. Lichen est plus Fréquent dans les climats humides et à proximité des plans d'eau, comme les lacs, les rivières, les ruisseaux ou des étangs. Nettoyage lichen hors du béton peut être un défi, mais il est possible de supprimer certains articles de la quincaillerie jumelé avec un nettoyage agressif.

4) Le ressuage

Le ressuage est un type spécial de ségrégation où les particules solides ont un mouvement général inverse à celui du liquide. En fait, pendant la période dormante du béton, Les particules solides qui sont plus denses que l'eau sédimentent, l'eau est ainsi chassée vers le haut dans le cas de coffrages imperméables.

Le ressuage est, avec la ségrégation, l'une des deux manifestations de la dégradation de l'homogénéité d'un béton frais. Dans le cas de la ségrégation, les grains présentent au cours du temps un mouvement relatif entre eux. Certains (les plus denses ou les plus volumineux) tombent alors que les autres (les fins ou ceux ayant une masse volumique réduite) remontent vers la surface, que le ressuage se présente sous sa forme normale ou localisée, une pellicule d'eau claire apparaît à la surface du matériau. Cette pellicule d'eau a, bien entendu, des conséquences sur la qualité du béton, qui peuvent être positives ou négatives selon la caractéristique considérée, dans une optique d'amélioration constante de la qualité des bétons, la connaissance des causes du ressuage ainsi que de ces effets est primordiale. **(Tableau 02)**

Tableau 02 : type des pathologies d'une structure en béton armé.

Pathologies	les causes des Pathologies	Analyses		Décision
		Destructives	Non -Destructives	
1) La carbonatation	Le dioxyde de carbone avec les composants du ciment, de l'interaction de l'humidité et de la température	Test à la carbonatation (phénolphtaléine)	Radar,	En voyant ces pathologies devrait immédiatement intervenir et réparer
2) La corrosion	Carbonatation dans le béton, et les chlorures		Radar,	
3) La Fissure	Les causes dues aux propriétés des matériaux, Les causes directes externes, Les causes dues à un phénomène de corrosion des armatures.		Radar, Scléromètre, l'auscultation sonique, Relevé visuel.	
4) Les Lézardes	Les causes directes externes (chocs, tassement,...)		Relevé visuel	
5) Le Retrait	évaporation	Carottage d'élément	Relevé visuel	
6) faïençage	humidité		Relevé visuel	Vous pouvez éviter la réparation de ces pathologies à l'heure actuelle, mais vous devez suivre avec le temps et ne pas être négligée
7**) Epaufrure**	Migration à grains en raison de la mauvaise confusion		Relevé visuel	
8) Lichen	humidité		Relevé visuel	
9) Le ressuage	L'excès d'eau lors de la préparation du béton		Relevé visuel	

CONCLUSION

Après une étude effectuée sur les pathologies qui se développes dans les bâtiments anciens, on a constaté que ces désordres sont d'origine humide ou structurelle et tous les deux sont liés à des facteurs tels que l'environnement immédiat ou l'âge de bâtiment qui provoque des détériorations qui s'gravent au fil du temps.

Compte tenu de ce qui précède nous pouvons conclure que la pathologie du béton est dans la majorité des cas, la cause essentielle dans l'effondrement des structures. Comme on a vu les causes et les types (dangereuses et la moins dangereuses) de ces pathologies. Evidemment la dangereuse est prise en considération pour la neutraliser, par conséquent, la moins dangereuse, devient dangereuse, si elle n'est pas prise en compte pour des éventuelles réparations plus tard.

CHAPITRE 2 :

DIAGNOSTIC PATHOLOGIQUE

INTRODUCTION

De nos jours, le béton est un des matériaux de construction les plus usuels. Ce matériau, outre ses nombreux avantages, évolue et réagit avec son environnement. En effet, au cours du temps, les ouvrages en béton armé développent de nombreuses pathologies (corrosion des aciers, gel-dégel, fluage, réactions chimiques, etc.). Sous l'action de ces agressions physico- chimiques, ce dernier se dégrade et présente alors des désordres allant de la simple fissure à la détérioration structurale grave. La majorité des infrastructures existantes ont été construites avec ce matériau et cela depuis plus d'une cinquantaine d'années. Ce patrimoine national est donc vieillissant ce qui nécessite un entretien et un suivi régulier. Cependant, la maintenance des ouvrages de ce patrimoine bâti est très onéreuse. Une démarche scientifique rigoureuse est donc nécessaire pour réduire ce budget par la mise en place d'outils visant à optimiser et fiabiliser le diagnostic structural des ouvrages.

Les méthodes de contrôle non destructif (CND) constituent l'une des voies adaptées pour une évaluation à grand rendement. En effet, le CND permet de donner des informations quantitatives sur la totalité de la surface auscultée et de limiter ainsi le nombre de prélèvements. [15]

- **RÉALISATION D'UN DIAGNOSTIC :**

Le diagnostic d'un ouvrage est une étape importante dans le processus de sa réhabilitation. Il permet avant tout de se prononcer son l'état de santé de l'ouvrage, et de voir quelles sont les éventuelles pathologies ainsi que leur ampleur. Généralement lorsque l'on effectue un diagnostic, c'est quand un client découvre quelque chose qui n'allait pas dans le fonctionnement de l'ouvrage ou bien l'apparition de désordres.

Le diagnostic peut avoir principalement deux finalités. Dans un premier temps, il peut être demandé de suivre l'évolution des différentes pathologies dans le temps, que ce soit à court, moyen ou long terme. Cela permet d'évaluer le comportement de l'ouvrage sous l'effet de ces troubles, de voir s'il y a une stagnation du phénomène ou s'il y a une dégénérescence, auquel cas il est important de prévoir des réparations. L'autre finalité d'un diagnostic c'est de répertorier tous les désordres, mais aussi la constitution de chaque élément, en vue d'un traitement immédiat

1. Choix des investigations :

Le choix des investigations dans un diagnostic d'ouvrage dépend de plusieurs paramètres. Il est primordial de les évaluer. Ces différents paramètres sont résumés dans la figure suivante (**Figure 08**) :

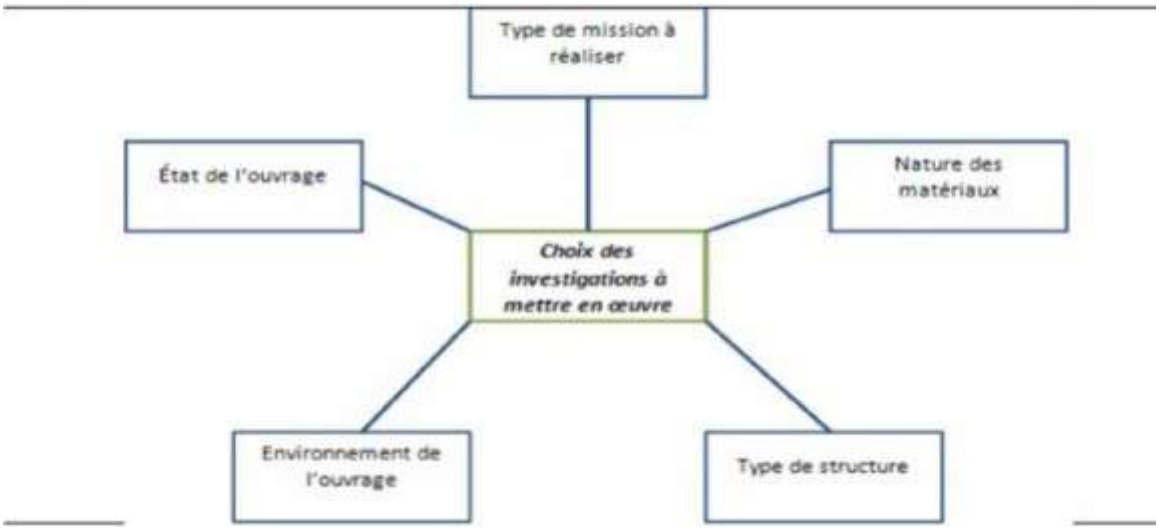


Figure 08 : Schéma du choix d'investigation

En effet, le choix des investigations dans un diagnostic d'ouvrage dépend :

- Du type de mission à réaliser ; selon ce que souhaite le client, il est possible de réaliser différents types de missions à savoir
  - Une inspection de l'ouvrage.
  - Un diagnostic approfondi.
  - Un suivi d'ouvrage.

Chacune de ces missions met en œuvre différentes méthodes de diagnostic, de plus ou moins grande ampleur, mais aussi une interprétation des résultats plus ou moins poussée.

- De la nature des matériaux ; Le diagnostic d'un ouvrage en béton armé ne fera pas appel aux mêmes techniques d'investigation que pour un ouvrage en bois, en acier ou en pierre. De plus, chacun de ces matériaux a ses propres pathologies types.
- Du type de structure ; Les moyens à mettre en œuvre seront différents selon qu'il s'agisse d'un ouvrage d'art ou bien d'un bâtiment industriel ou un bâtiment d'habitations. La géométrie et la taille de l'ouvrage rentrent aussi en compte dans le choix des investigations.
- De l'environnement de l'ouvrage ; Il est important de prendre en considération l'environnement dans lequel se trouve l'ouvrage, car il peut être à l'origine de ces pathologies. C'est le cas notamment pour les structures en milieu chimique ou pour les structures en milieu chimique ou pour le bâtiment « La Saline » pour lequel sa structure se trouve dans un milieu, avec beaucoup d'éléments de chlorures, directement lié à l'activité se déroulant dans le bâtiment.
- De l'état de l'ouvrage ; Les investigations dépendent d'une part des désordres qui affectent l'ouvrage, le matériel et le type d'investigation à mettre en œuvre seront différents pour des armatures corrodées ou pour des fissures .Mais cela dépend aussi de la fragilité de l'ouvrage.[14]

2. Types d'investigation

Il est possible de classer les différentes investigations en deux catégories soit les méthodes non destructives, soit les méthodes destructives. Les principales méthodes rencontrées lors de diagnostics sont décrites dans la suite.

Le principe de ces méthodes de diagnostic réside dans le fait que l'on analyse l'ouvrage ou une partie de l'ouvrage sans porter atteinte à son intégrité. Ceci est à privilégier dans différents cas, par exemple les bâtiments classés monuments historiques, pour lesquels il est difficile de faire accepter aux architectes des bâtiments de France qu'il soit utile d'effectuer des prélèvements de la structure pour pouvoir la caractériser. Ces méthodes sont à favoriser aussi dans le cas d'ouvrage dont la structure est très atteinte et affaiblie. Effectuer des prélèvements sur ce type de structure risque de la fragiliser encore plus.

Il existe différentes méthodes non destructives et destructives, dont les principales sont présentées dans ce qui suit :

2.1) Investigations Non Destructives :

Le principe de ces méthodes de diagnostic réside dans le fait que l'on analyse l'ouvrage ou une partie de l'ouvrage sans porter atteinte à son intégrité. Ceci est à privilégier dans différents cas exemple les bâtiments classés monuments historiques, Ces méthodes sont à favoriser aussi dans le cas d'ouvrage dont la structure est très atteinte et affaiblie. Effectuer des prélèvements sur ce type de structure risque de la fragiliser encore plus.

Pour les ouvrages en béton armé, il existe différentes méthodes non destructives (**Figure 09) :**

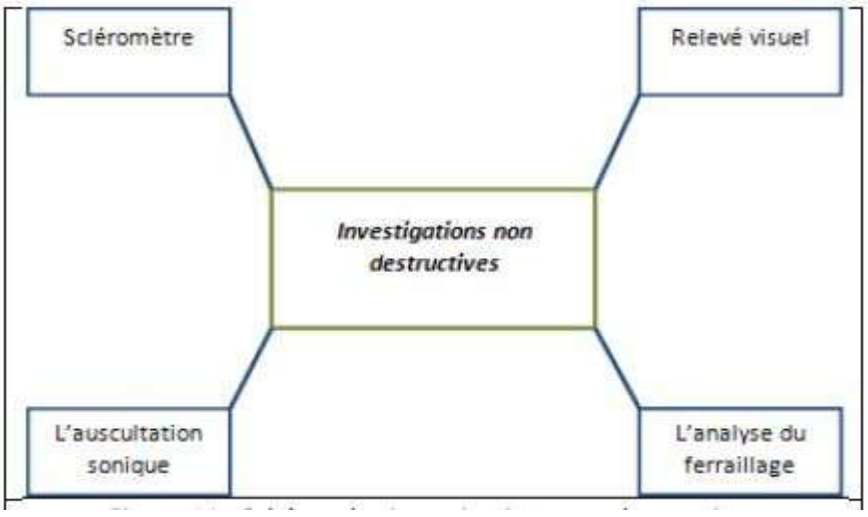


Figure 09 : Schéma des investigations non destructives

a) *Relevé Visuel :*

Le diagnostic visuel consiste à aller sur site et d'analyser chaque élément de la structure en détail.

Ainsi, cela permet dans un premier temps de connaitre les caractéristiques géométriques

de chaque élément et aussi les matériaux constitutifs. Cela permet d'évaluer le comportement global de l'ouvrage, de connaitre les éléments porteurs ainsi que l'acheminement des charges dans la structure. Dans un second temps, il est nécessaire de répertorier les différentes pathologies présentent sur la structure. Les principaux désordres rencontrés pour les structures en béton armé sont les suivants :

- Les fissures, avec leur ouverture et leur longueur.
- Les fractures, avec leur ouverture, décalage ou rejet.
- La présence de coulures de calcite.
- Les zones d'altération superficielles et profondes.
- Les zones humides.
- Les zones de mousses ou de végétation.
- Les zones de faïençage.
- Les éclats de béton en formation ou profonds.
- Les aciers apparents.
- Les zones de ségrégation. [15]

Il est important de savoir que différents paramètres peuvent influer sur les résultats, tels que l'inclinaison du scléromètre ou encore l'homogénéité du béton. Il peut être intéressant.

b) Scléromètre

Le principe de l'essai scléromètrique repose sur la corrélation entre la dureté d'un matériau et sa résistance à la compression. Pour une sonde en contact avec l'ouvrage à inspecter. Lors de son rebond, la bille entraine un index coulissant sur une règle de mesure. Plus le rebond sera important, plus le matériau sera dur. [15] **Figure 10.**



Figure 10 : Scléromètre utilisé pour tester le béton (essai non destructif)

- **Avantage de l'essai scléromètrique:**
  - Méthode non destructive
  - Réalisation rapide de l'essai et sur terrain sans faire appel au laboratoire.
  - Mise en ouvre très facile.
  - L'essai peut être effectué sur des ouvrages neufs ou anciens.
  - Possibilité de suivre la performance du béton et son apparence au fil du temps

sans que la structure soit modifiée.

- **Inconvénient de l'essai :**
  - certains personnes sont moins enclines à faire confiance et à ce fier aux résultats de ces nouvelles technologies.
  - Plusieurs factures influençant sur la crédibilité des résultats à savoir ; la teneur en eau d'un béton, la température de l'air et matériaux, l'état de la surface testé.

c) L'auscultation Sonique

i. L'ultrason :

- **Introduction**

Connu sous le nom d'essai aux ultrasons, cet essai permet de déterminer la vitesse de propagation d'ondes longitudinales (de compression) à travers un élément en béton. Le principe de la méthode consiste à mesurer le temps mis par une onde à parcourir une distance donnée. **Figure 11**



Figure 11 : Appareillage d'essai à l'ultra son « utilisé pour essai non destructif »

- **Le principe de la méthode**

Le principe de la méthode consiste à mesurer le temps mis par une onde, d'où le nom de la méthode (essai de vitesse de propagation d'ondes sonores) à parcourir une distance connue.

La fréquence de générateur d'ondes est comprise **entre 10 et 150 HZ,** le temps de propagation des ondes dans le béton est mesuré par des circuits de mesure électroniques.

La relation entre la vitesse de propagation des ondes ultrasonique et la résistance à la compression est affectée par un nombre de variable tel que l'âge du béton, les conditions d'humidité, le rapport entre les granulats et le ciment, le type des granulats et la localisation des aciers et les fissures. La technique ne peut pas être employée pour la détermination de la résistance de béton fabriqué par différents matériaux dont on ne connaît pas les proportions.

Ces facteurs représentent un inconvénient majeur des essais non destructifs dans lequel la propriété du béton que l'on mesure est affectée par divers facteurs dont l'influence est différente de ce qu'elle est dans la résistance du béton. Cette technique pour l'estimation de la résistance du

béton in situ n'est pas encore considéré e, dans la pratique, comme un outil de remplacement au cylindre standard et aux cubes, mais peut être utilisée comme une technique additionnelle, quand elle sera exécutée avec des essais de carottage.

Les essais consistant à mesurer la vitesse de propagation des impulsions peuvent être effectués sur des éprouvettes de laboratoire comme sur des ouvrages en béton terminés. Les ondes sonores se déplacent plus vite à travers un vide rempli d'eau qu'à travers un vide rempli d'air. Par conséquent les conditions d'humidité du béton influencent la vitesse des ondes sonores selon STURRUP, VECCHIO et CARATIN (1984).

Manières de mesure : La détermination de la vitesse de propagation des ultrasons se fait de trois manières, suivant le type de l'élément à tester :

a. Mesure en transparence (directe)

Les mesures en transparence sont utilisées dans le cas des éprouvettes, des poteaux ou de certaines poutres. Les transducteurs sont appliqués sur les deux faces de l'élément à tester**.**

b. Mesures en surface (indirecte)

Elles sont utilisées sur tous les éléments de structure et sur les éprouvettes, mais plus particulièrement sur les dalles et éléments en longueur.

L'émetteur est maintenu en un point fixe, le récepteur est déplacé successivement à des distances marquées à l'avance. Après avoir relevé le temps correspondant à un point considéré, on passe au point suivant.

c. Mesures semi directe

Elles sont utilisées sur tous les éléments de structure et sur les éprouvettes, mais plus particulièrement sur les éléments de structure, ou on ne peut pas utiliser les deux autres manières. [16]

- **Avantage de l'essai l'auscultation par ultrasons:**
  - Méthode non destructive
  - Permettre d'obtenir les caractéristiques physiques des matériaux.
  - Profils de dégradation en profondeur de l'élément ausculté.
  - Possibilité d'établir une cartographique qualitative et quantitative du milieu ausculté
  - Méthode de surface permettant de détecter les fissures débouchantes
- **Inconvénient de l'essai :**
  - Nécessite un manipulateur qualifie pour la mise en ouvre de l'essai ; L'analyse et le traitement du signale et l'interprétation des résultats
  - Méthode fonctionne très mal dans les bétons fortement ferraillé et ne permettant pas de mesurer des profondeurs de fissures.
  - La surface sur laquelle l'essai est effectué doit épouser parfaitement la forme de l'appareil qui lui est appliqué ; il est recommandé d'employer un matériau intermédiaire entre le béton et les transducteurs. (Les matériaux d'interposition sont la vaseline de commerce, un savon liquide ou une pâte constituée de Kaolin et de Glycérol).

- Lorsque la surface de béton est très rugueuse, il est nécessaire de poncer et d'égaliser la partie de la surface ou le transducteur sera fixé.
- Etalonnage de l'appareil : L'ultrason doit toujours être contrôlé par des essais d'étalonnage avant chaque utilisation.

ii. Le Radar

Le radar a une large gamme d'applications potentielles dans plusieurs domaines, des activités militaires et aériennes en premier temps au CND du béton. La description en détail des techniques radars a été réalisée par Daniels (Daniels 2004).

Le principe de cette technique en génie civil est basé sur la réflexion et l'atténuation d'ondes électromagnétiques dans le milieu du matériau. La propagation d'ondes électromagnétiques dépend de la permittivité diélectrique, de la conductivité et de la perméabilité du matériau ausculté. **Figure 12**



Figure 12 : Radar pour localisation d'armature, détecter des câbles précontraints, des défauts de béton (vides, fissures, délaminages)

Elle peut être caractérisée par les quatre équations de Maxwell. Le système radar permet d'émettre une impulsion électromagnétique haute fréquente **entre 100 et 3000 MHz** à la surface du matériau qui se propage, se réfléchit en partie à chaque interface entre deux milieux électromagnétiques différents. Les échos successifs sont enregistrés dans un signal temporel. La juxtaposition des signaux temporels enregistrés lors du déplacement de l'antenne radar permet d'obtenir une coupe-temps.

Dans une structure en béton armé, il existe différentes interfaces de types air/béton, béton/acier, béton/sol pour l'élément posé sur le sol, et béton/air pour l'élément en élévation.

Ces interfaces sont susceptibles de présenter des contrastes de propriétés électromagnétiques suffisamment forts pour être détectés par le radar. C'est pourquoi, le technique radar permet de localiser rapidement des cavités dans les chaussés (Steinway 1982), détecter des armatures, des câbles précontraints, des défauts (vides, fissures, délaminages) dans le béton. Elle permet d'estimer l'épaisseur du béton d'enrobage, la dimension d'éléments (plancher, voile, mur, etc.). Cependant, le positionnement en profondeur dépend forcément de la connaissance de la vitesse d'ondes électromagnétiques dans le matériau étudié. Les études

académiques récentes se sont développées afin d'évaluer des propriétés physiques et chimiques du matériau telles que les teneurs en eau et en chlorure, notamment pour le béton d'enrobage (Laurens 2001, Klysz 2004, Sbartaï 2005, Ihamouten 2011).

Les caractéristiques des ondes électromagnétiques sont souvent exploitées, soit en vitesse, soit en amplitude de l'onde directe ainsi que les différents échos. Il est important de noter que la vitesse et l'amplitude dépendent de la permittivité diélectrique du matériau qui est dépendant des teneurs en eau et en chlorures des bétons.

Les valeurs relatives de la partie réelle de la permittivité diélectrique sont définies par rapport à celle de l'air conformément à la norme ASTM D4748. Cette valeur est souvent appelée « constante diélectrique »...

Le technique radar est souvent utilisé sur des ouvrages réels, plus particulièrement pour inspecter le revêtement des tunnels, ou détecter le délaminage sur des ponts en béton armé à l'aide de système mobile et moderne, par exemple le système HERMES (High Speed électromagnétique Roadway Mapping and Evaluation System) (IAEA 2002).

Ces applications sont présentées dans les normes ASTM D4748, ASTM D6087, ASTM D6429-99, ASTM D6432-99. Les nouvelles applications concernent l'évaluation de la variabilité spatiale des bétons in situ pour détecter des zones de probabilité de dégradation (SENSO 2009, EvaDéOS2012). Cette technique peut être également utilisée comme une technique complémentaire en combinaison avec d'autres mesures CND plus locales (résistivité électrique, ultrason) pour améliorer l'évaluation des propriétés des bétons (ex.saturation, porosité, résistance mécanique). [17]

Plusieurs synthèses ont été effectuées pour préciser les avantages ainsi que les limitations du technique radar (Bungey 2004, Clemena 2004, Hugenschmidt 2012) et résumés :.

- **Avantage de l'essai :**
  - Méthode non destructive et Rapide
  - Dépendant de la permittivité du milieu en profondeur.
  - L'équipement portable permet une utilisation facile et une présentation immédiatement des résultats sous forme d'image radar (coupe-temps).
  - Permettre d'obtenir les caractéristiques physiques des matériaux.
  - Profils de dégradation en profondeur de l'élément ausculté.
  - Possibilité d'établir une cartographique qualitative et quantitative du milieu ausculté
  - Méthode de surface permettant de détecter les fissures débouchantes
- **Inconvénient de l'essai :**
  - Nécessite un manipulateur qualifie pour la mise en ouvre de l'essai.
  - Le traitement des données nécessite une personne qualifiée.
  - Nécessite une calibration (estimation de la vitesse des ondes radar) pour remonter aux profondeurs. Mesures perturbées par les défauts des matériaux (bullage, nids de cailloux, ségrégations, défauts géométriques, etc.).

d) L'analyse du ferraillage

Le relevé du ferraillage peut se faire à l'aide d'un phacomètre de type Ferroscan. Cet appareil est un système de détection portable pour un examen d'armatures non destructif. Il permet de déterminer le positon exact des barres d'armatures, de mesurer l'enrobage et de donner une indication du diamètre de l'armature.

2.2) Investigations Destructives :

Les investigations destructives dans les structures en béton armé peuvent prendre plusieurs formes. Soit on y a recours pour effectuer un prélèvement de matériau pour connaitre ses caractéristiques géométriques, mécaniques et chimiques, soit c'est pour avoir accès à des éléments interne ou sous-jacent à la structure. Cela permet aussi de connaitre leur état

Parmi les investigations destructives, on recense principalement les techniques suivantes **(Figure 13)** :

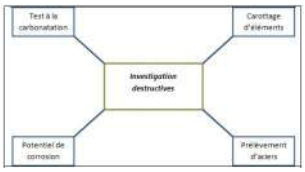


Figure 13 : Schéma des investigations destructives

a) Carottage D'éléments En Béton Armé

Le recours au carottage du béton armé peut avoir plusieurs objectifs. D'altération en profondeur ainsi que l'ampleur des pathologies. [18]. **Figure 14.**



Figure 14 : Carotte de béton prélève

- La structure dans le cadre d'une rénovation ou d'une restructuration de l'ouvrage.
- Afin de pouvoir déterminer les caractéristiques chimiques et mécaniques d'un élément en béton de la structure, en effectuant des essais de compressions sur les carottes prélevées, mais aussi des analyses chimiques et microscopiques afin de déterminer les différents constituants et leur quantité. Cela permet de déterminer quel type de ciment a été utilisé ainsi que le rapport E/C.
- Déterminer les caractéristiques des couches constituantes de l'élément (épaisseur du revêtement, de la chape, du béton,...).

La norme NF EN 13791 de septembre 2007 indique deux méthodes pour «l'évaluation de la résistance à la compression sur site des structures et des éléments préfabriqués en béton». La méthode à utiliser varie selon le nombre d'éléments carottés dans la structure concernée, mais dans tous les cas, elle permet d'estimer la classe de résistance du béton.

Cette méthode nécessite le recours à une carotteuse et il peut être nécessaire de déterminer préalablement le ferraillage de l'élément afin d'éviter d'avoir des aciers dans la carotte. Ceci pour deux raisons : d'une part, cela fragilise plus la structure si les aciers prélevés ont un rôle important, d'autre part les résistances à la compression obtenue, sur une carotte dans laquelle il y a présence d'acier, sont faussées. Pour les mêmes raisons, il faut éviter de carotter un élément sur une fissure. [18].

b) Prélèvements D'aciers

Le prélèvement d'acier peut s'avérer utile notamment lors qu'un recalcule d'une structure est demandé. Dans ce cas, il est important de connaitre les aciers présents dans un ouvrage. Ainsi, en prélevant des aciers, cela permet de déterminer leur type, que ce soit des aciers Haute Adhérence, lisse, TOR, etc. mais aussi leurs caractéristiques mécaniques telle que la limite d'élasticité de l'armature. Tous ces éléments sont nécessaires afin de pouvoir déterminer quelles sont les charges pouvant s'appliquer sur l'élément et s'il est nécessaire de prévoir de renforcer la structure soit avec des tissus de fibre de carbone ou par ajout d'armatures afin de pouvoir répondre aux besoins du client ou des utilisateurs.

Il peut parfois s'avérer utile de prélever localement des armatures dans des zones touchées par des pathologies, telle que la corrosion des armatures afin de pouvoir déterminer son avancement ainsi que la section restante d'acier pouvant être exploité afin de déterminer les Le prélèvement d'aciers peut se faire par tronçonnage de l'armature, après l'avoir préalablement dégagé du béton adjacent. Il est préférable de le faire dans des zones saines pour ne pas risquer de fragiliser encore plus la structure à cet endroit quantités d'armatures nécessaires à rajouter pour redonner à l'élément au minimum sa section d'acier initiale. [19] **(Figure 1 5):**



Figure 15 : Pied coulisse pour mesurer le diamètre d'acier prélevé.

c) Test a La Carbonatation

Le principe du test à la carbonatation repose sur le fait que le pH du béton carbonaté est plus faible que celui du béton sain. Pour déterminer la zone carbonatée, il est généralement utilisé un indicateur coloré tel que la phénolphtaléine.

La phénolphtaléine est un composé organique de formule C20H14O4. L'utilité de ce composé est qu'il change de couleur selon le pH de l'élément avec lequel il entre en contact. Il fait partie des indicateurs de pH ou indicateur coloré. Ce changement de couleur est dû à une modification de la structure chimique de la molécule lors du passage de la forme proton (milieu acide) à la forme déprotonnée (milieu basique).

La couleur que prend la phénolphtaléine dépend du pH. Elle sera rose pour un pH compris entre 8,2et 12 et incolore au-delà et au-deçà de cette zone de virage.

Cet essai se réalise généralement sur une coupe fraiche de béton. Il faut y pulvériser la solution de phénolphtaléine, si la phénolphtaléine ne réagit pas, il faut approfondir la coupe dans le béton par paliers d'un centimètre et répéter les étapes précédentes jusqu'à ce que la phénolphtaléine vire au rose. Puis il est nécessaire de mesurer l'épaisseur entre le parement extérieur et la zone à laquelle commence la coloration du béton. Cela nous donne la profondeur de carbonatation du béton de cette zone. Il peut être utile de réaliser cette mesure en différents points d'un élément afin de pouvoir cartographier les profondeurs de carbonatation associées.

Il peut s'avérer intéressant de coupler les mesures de profondeur de carbonatation avec les mesures d'enrobages données par exemple avec un pachomètre de type Ferro scan.

En effectuant un certain nombre de mesures, il est possible d'obtenir une courbe du type :

L'intersection de la courbe d'enrobage (courbe bleu foncé) avec celle de carbonatation (courbe rose) donne le pourcentage des armatures qui ne sont plus protégées **[19]**. **(Figure 16)**

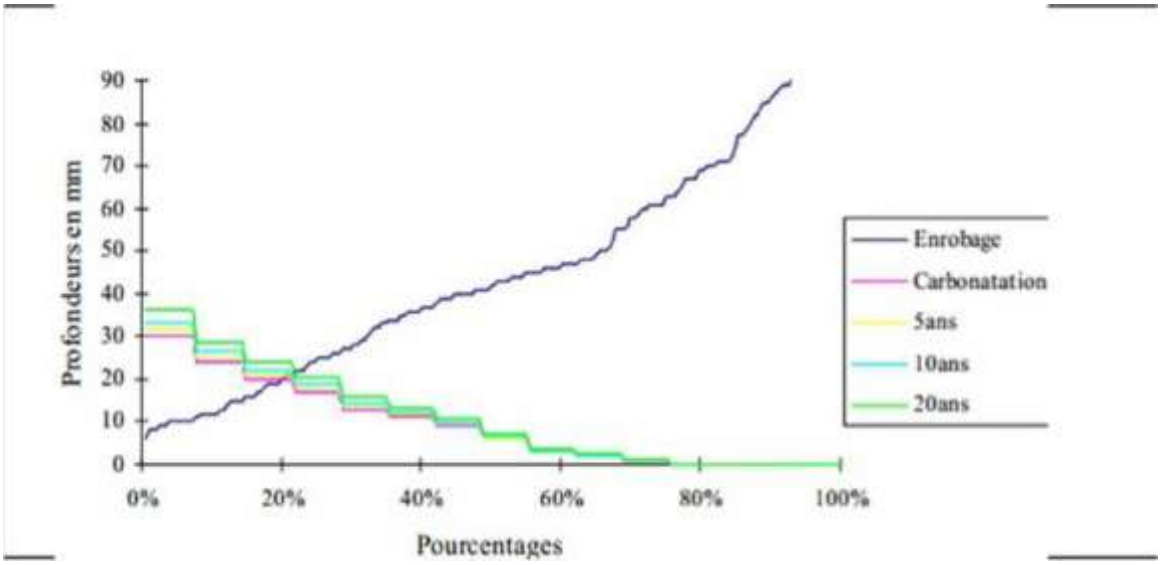


Figure 16: Graphique enrobage-carbonatation

d) Potentiel De Corrosion :

La mesure du potentiel de corrosion ne peut se faire que sur des ouvrages ayant un ferraillage continu et n'ayant pas de revêtement de surface pouvant agir comme isolant. Le principe de l'essai est de mettre à nu une armature puis la connecter à une borne d'un millivoltmètre à haute impédance. Une électrode de référence est placée sur le parement étant elle même reliée à une autre borne du millivoltmètre. Elle est dite de référence car elle a un potentiel constant du à un équilibre électrochimique. Les résultats obtenus permettent de déterminer la probabilité de corrosion des armatures.

CONCLUSION SUR LE DIAGNOSTIC

Dans cette partie nous avons vu l'importance du diagnostic dans l'opération de réhabilitation d'un ouvrage ainsi que des différents moyens disponibles pour le réaliser. C'est l'étape clé qui permet de déterminer les types de pathologies dont souffre l'ouvrage ainsi que leur ampleur. Cela permet aussi de faire des prévisions quant à l'évolution de ces troubles. Mais c'est avant toute chose, l'étape qui va permettre de mettre en œuvre la méthode de réparation la plus adaptée. Cela permet aussi d'évaluer la cause de ces problèmes. Cette cause peut être tout simplement le vieillissement naturel de la structure, mais cela peut aussi être à cause de l'environnement alentours. Afin de rendre les réparations pérennes, il est nécessaire de mettre en œuvre des travaux de réparation et de protection adaptées, mais aussi de travailler sur l'origine du problème afin d'éviter l'apparition rapide de nouvelles pathologies semblables.

CHAPITRE 3

ETUDE PATHOLOGIQUE DE LA SALLE EL ATLAS D'ALGER CAS D'ETUDE

Introduction

L'Algérie a connu le passage de plusieurs civilisations qui ont laissé sur son territoire un immense patrimoine architectural et historique constitué de monuments et de sites historiques. Parmi ces villes, la capitale Alger.

Alger est une ville distingué par son paysage naturelle (la mer, la plaine, les montagnes), ainsi que par la superposition de différents tissus qui témoignent de nombreuses civilisations.

Le contenu de ce présent chapitre se rapporte dans un premier temps à la présentation du champ d'investigation à savoir ; sa situation, ses différentes données climatiques et géographiques. Cette description sera suivie d'une lecture diachronique, très succincte, sur l'évolution de la ville. La période coloniale fera l'objet d'un peu plus d'intérêt, car notre aire d'étude rentre dans ce tissu colonial. Et dans un second temps, nous allons nous focaliser sur le cas d'étude à savoir un bâtiment à usage culturel – Salle El Atlas (Ex-MAGESTIC)

I. Caractéristiques des villes littorales :

a) **Le climat :** le climat de la région est de type méditerranéen, caractérisé par un hiver doux et un été chaud. Concernant, la région montagneuse, elle est caractérisée par un hiver rude, les vents dominants sont les vents nord-ouest.

b) **La morphologie du site :** le relief de la commune D'ALGER ce caractérise par trois types de reliefs : les montagnes qui représentent 60%, les plaines qui sont les anciennes terres agricoles 30%, les piémonts et les collines qui représentent 10%.

II. Présentation du cas de l'étude :

Le tissu colonial est connu par ses richesse urbanistique et par sa planification urbaine de type haussmannien: hiérarchisation des voies (boulevard, rue, ruelle, escalier), places à l'échelle du quartier voire à l'échelle de la ville, une façade maritime riche, un port international qui date de plusieurs siècles. Cette harmonie entre paysage urbain et paysage naturel rend la ville telle un amphithéâtre, considérant la ville comme des gradins et la mer comme la scène.

Certains composants de ce patrimoine architectural respectant exactement cette harmonie tels que les théâtres et salles de spectacles, qui ont été construits pendant la période de l'administration française (époque colonial) , qui rentrent maintenant dans la problématique globale de la préservation, et mise en valeur du patrimoine architectural , Parmi ces salles de spectacle il s'agit de la « Salle El Atlas » ex MAGESTIC , situé à Bâb El Oued de la vile D'ALGER ;(**Figure 17**).



Figure 17 : Plan de situation de la salle Atlas (Source : Google Earth 2018)

III. Description du projet :

- L'édifice, de forme rectangulaire, il est conçu sur trois 03 niveaux en double hauteur et deux 02 sous-sols. D'une hauteur de 24 m, constitué de quatre (04) Blocs séparés des joint de dilatation ;(**Figures.18 et 19**) .

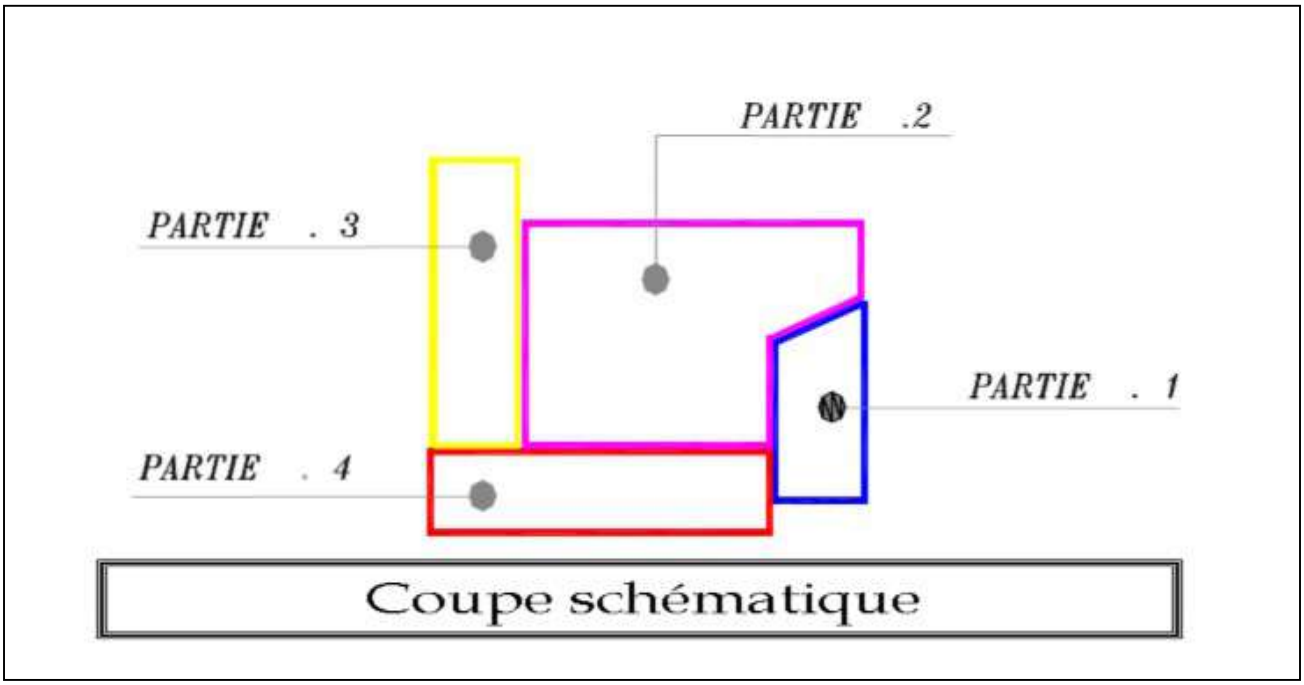


Figure.18 : Coupe schématique des blocs constituants l'ouvrage (partie 2 : la grande salle)

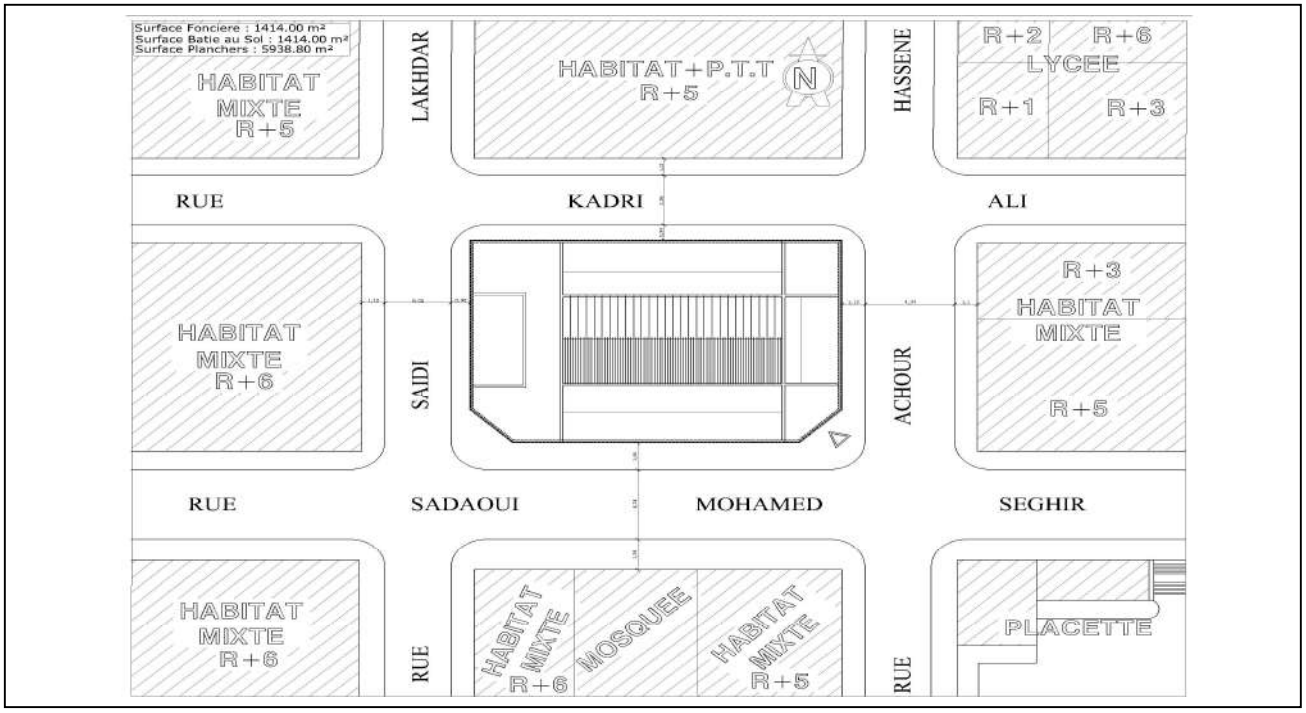
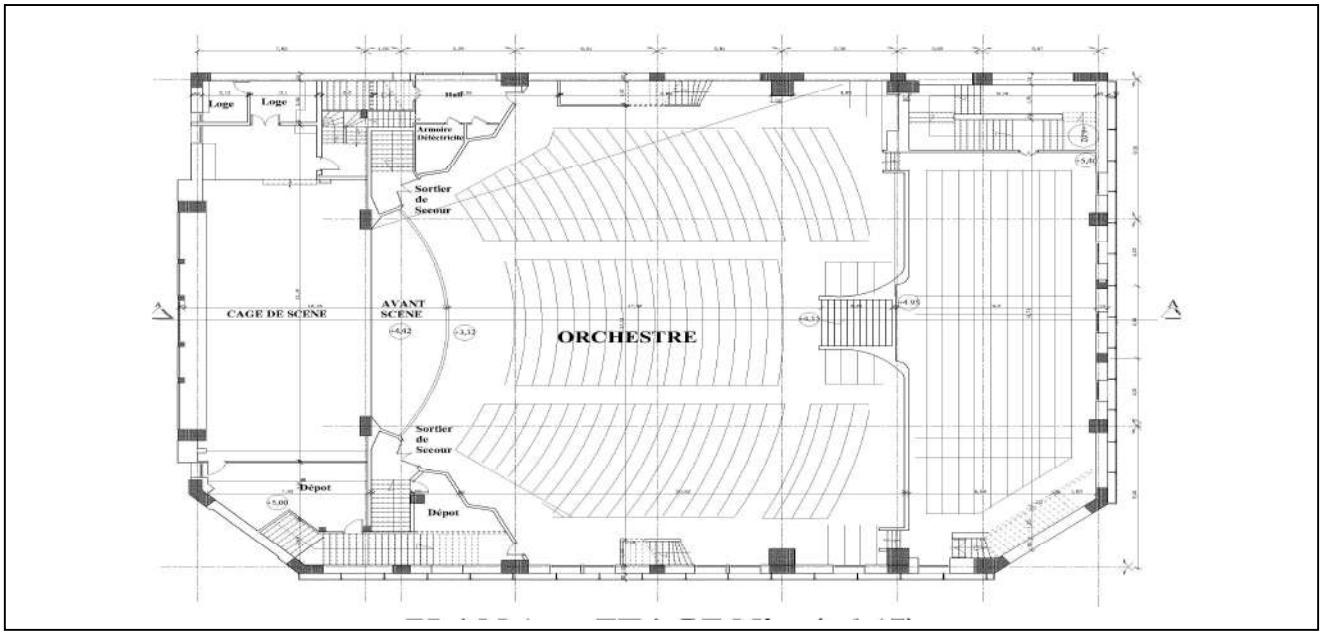


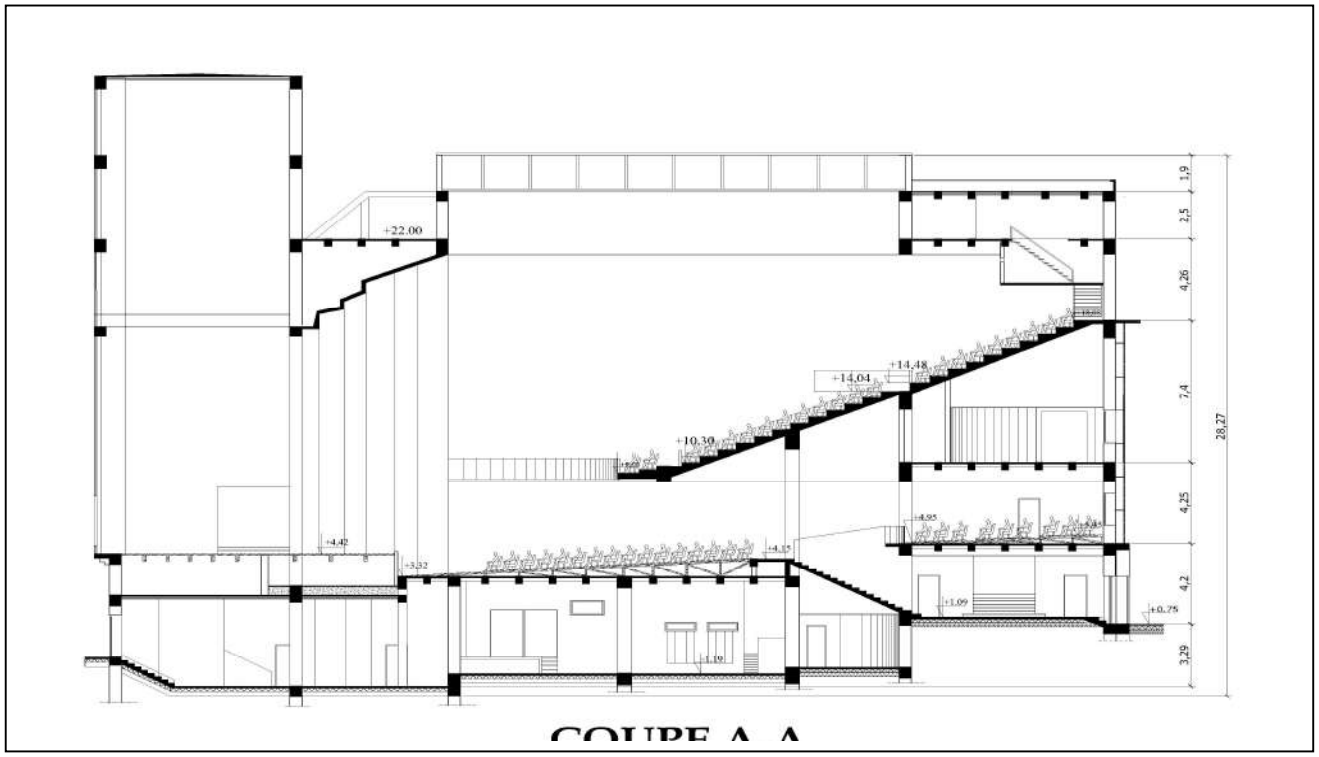
Figure.19 : plan de situation de la salle.

- La structure des blocs est mixte en béton armé et mur porteur en pierre. Et le bloc de la partie 02 constitué de deux portiques longitudinaux et deux transversaux selon
- Le bâtiment est implanté sur un terrain de moyenne pente de 7%, avec une emprise au sol de 1320 m2. Est de style néo-classique symbolisant la domination.
- Deux types de tribune en béton armé en face de la scène, la première entre le sous sol et le premier niveau sur une et la deuxième entre le premier niveau et le deuxième jusqu'à salle de projection. (**Figure 20**).



Figures 20: vue en plan 1er étage (tribune)

➢ Le bâtiment possède des escaliers principaux menant du sous sol au dernier niveau et deux autre accès l'un secondaire situé du côté ouest de la bâtisse et l'autre tertiaire qui mène directement vers le sous-sol. [20] (**Figures.22**) –



Figures. 22: Coupe A-A

➢ La façade du bâtiment est de type moderne en claustrât – (**Figure 23)**



Figure 23: vue sur la façade principale

IV. Système constructif

Pour un bon diagnostic des pathologies sur le bâti de l'Ex-MAGESTIC, il est nécessaire d'avoir des connaissances sur le système constructif du bâtiment mais aussi sur les matériaux de construction utilisés. Après une enquête sur terrain (visite sur site+ prises de photos) et suivant la recherche effectuée durant notre travail sur cet édifice on a regroupé certaine information. Le système constructif de l'édifice est composé de :

IV.1 Murs porteurs : varie entre 0.50m se sont des murs construits avec la pierre et de mortier ciment comme un joint ainsi couche d'enduit, leur épaisseur et 1.00m

IV.2 Murs intérieurs : utilisé pour la séparation des espaces intérieurs, ils sont construits avec de la brique creuse assemblées avec du mortier ciment, ces murs sont recouverts de couches d'enduit. Ils sont moins épais que les murs extérieurs et leur épaisseur est d'environ de 0.2m.

IV.3 Structure de la salle en béton armé : elle est constituée principalement de deux portiques longitudinaux et deux transversaux formants les poutres en treillis d'une longueur de **34.80 Mètres et "Poutres Treillis " d'une longueur de 31.50 mètres.**

Cette structure est chaînée dans les deux sens par des poteaux et chaînages et gradins de la salle, contreventés par une structure auto-stables (poteaux-poutres-) et des dalles pleines horizontales et inclinées reposants d'une part sur la membrure inférieure de la poutre en treillis et le chaînage périphérique d'autre part. (**Figure 24**). **[20]**

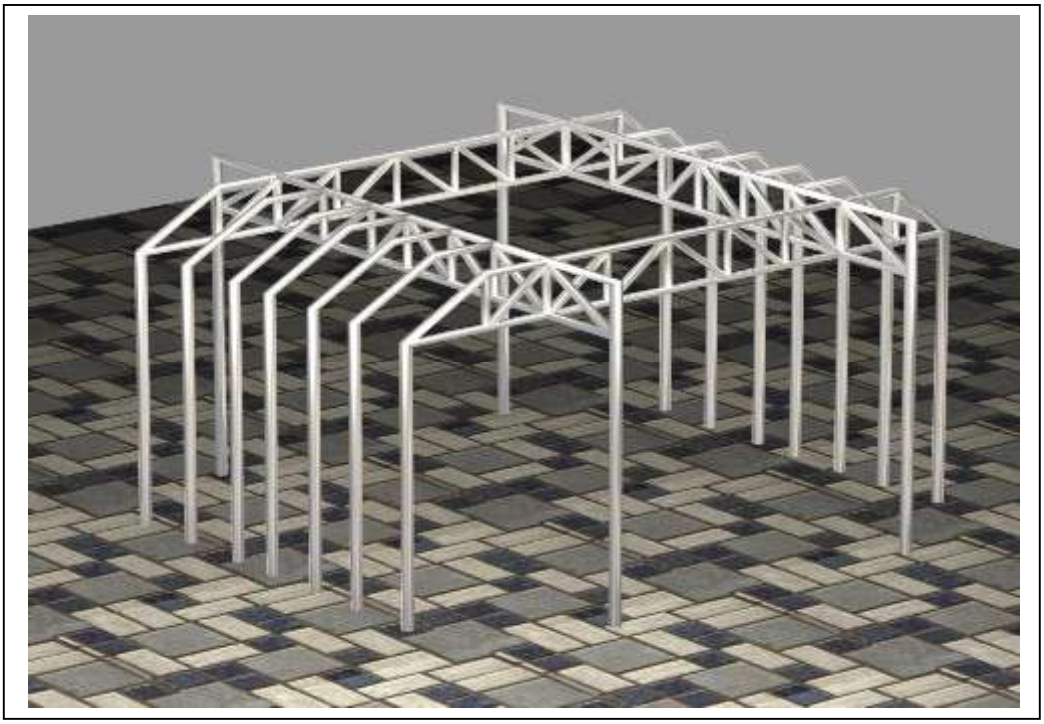


Figure.24: Vue 3D Sur Les Fermes (Poutre –Treillis) En béton armé Sans tribune et sans dalle de la terrasse.

IV.4 Plancher : il est constitué de deux éléments qui sont :

a- Plancher Mixte constitué des solives (poutre) en acier qui sont espacées entre elles de 40 à 60 cm. et des voutains construits avec de la briques pleines. Et revêtement sur un lit de sable comme support

b- **Dalle en béton armé** : les alentours des portiques en treillis en béton armé sont des dalles d'une épaisseur de 20cm.

c- **Toit ouvrant**: constitué d'**Une ossature métallique** avec en bardages en panneau sandwich.

V. Pathologies relevées sur l'ouvrage -salle Ex-MAGESTIC.

L'édifice Ex-MAGESTIC a subi plusieurs dégradations dues à de nombreuses causes. Celles-ci peuvent être naturelles, humaines ou accidentelles. Dans ce qui suit, nous allons tenter d'énumérer les différentes pathologies humides et structurelles l'affectant. Ce travail a pu se concrétiser grâce à des visites régulières sur site mais aussi grâce à des entretiens effectués avec le personnel de la Direction de la culture. L'observation a été notre méthode de travail suivi par des prises de photos du bâti.

VI. Pathologies dues à l'humidité

I. Sur les murs

a) Salissures

L'enveloppe extérieure du bâtiment a subi certaines dégradations causées par les affres du temps notamment la pollution mais aussi par le manque d'entretien vue que ce bâtiment fut abandonné depuis plusieurs décennies. Aujourd'hui, l'édifice présent des signes de salissures qui se localisent principalement sur les murs extérieurs de toutes les façades lui donnait un tout autre aspect.

b) Décollement et effritement de l'enduit

On a constaté le décollement de grandes partie d'enduit au niveau des murs intérieurs et extérieurs ceux qui indiquent la présence d'un certain taux d'humidité (pluie battante, ruissellement des eaux sur les façades, embrun marin). L'exposition permanente à ces phénomènes et le manque totale d'entretien conduisent à un état de dégradation avancé de l'édifice.

II. .Pathologies structurelles :

D'après les visites sur terrain et selon les recherches effectuées et les informations rassemblées, Les pathologies structurelles constatées dans salle el atlas l'Ex-MAGESTIC: notamment sur les éléments exposés aux conditions climatiques de la ferme en béton armé sont:

a- Sur la structure en béton armé :

1) Corrosion des aciers de toutes les parties exposées.et Eclatement des bétons de l'enrobage suivi d'un cisaillement des cadres.
2) Diminution importante du diamètre des barres longitudinales ainsi que des sections de béton.
3) fissuration de moindre importance manifestent la membrure inférieure de la poutre en treillis. **Figures 25,26 et 27.**

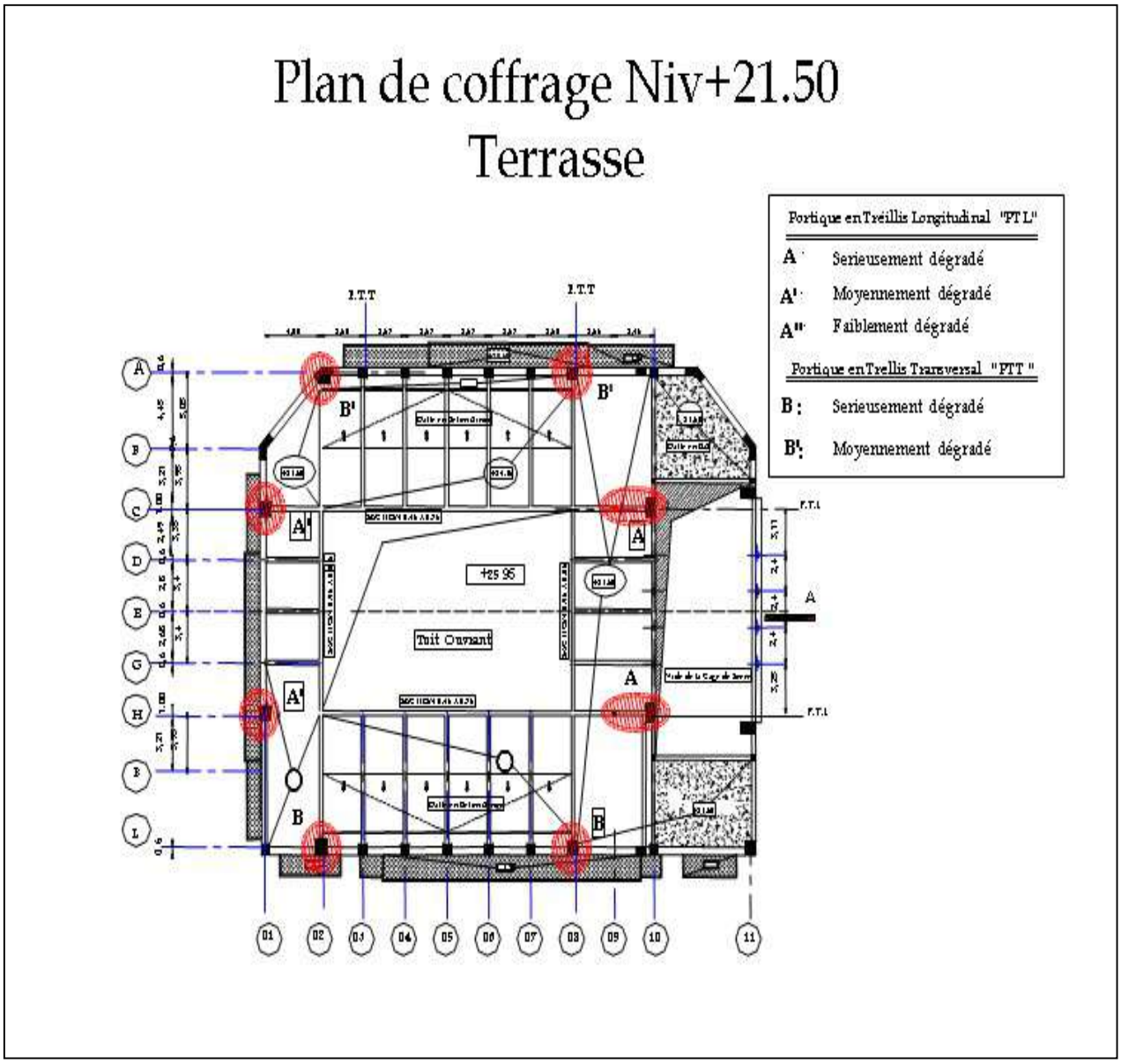


Figure 25 : Vue Sur Les éléments de la structure dégradés au niveau du plancher terrasse.



Figure 26 : Montant, diagonale, membrure supérieure affectés

b- Sur le plancher en béton armé:

La couverture de la salle est constituée des dalles en béton armé reposant sur les mur porteurs d'une part et sur des poutres en treillis en béton armé d'autres part et un toit ouvrant en charpente métallique reposant sur les poutres en treillis dont la plus part les dégradations et désordres se manifestent sous forme de fissures légères à prononcée ou éclatement du béton d'enrobage et corrosion des aciers . (**Figure 27**)



Figure 27 : Face supérieure et latérale de la poutre de Roulement du toit ouvrant affectées

Conclusion :

D'après l'analyse des désordres au niveau de la salle on a constaté qu'il existe des pathologies liées à l'humidité et d'autre liées à la structure. Chaque désordre affecte les différents éléments de la structure ainsi que les matériaux de construction, les parties affectés de la salle sont des appuis de la structure , d'où si l'intervention n'a pas eu lieu avant le séisme de Boumerdes mai 2003, cette dernière pouvais être parmi les victimes de se séisme violant, et afin de confirmé ou infirmé cette hypothèse nous avons opter pour une partie de calcul et vérification de la structure vis-à-vis du séisme avant intervention et après intervention (confortement déjà mis en place en 2002), qui sera l'objet de notre prochain chapitre.

CHAPITRE 4

CAS D'ETUDES CALCUL DE LA STABILITE DE LA SALLE VIS-A-VIS DES CHARGES PERMANENTES ET SEISME

Introduction

La salle a été construite en 1920, les premiers signes de dégradations ont été apparus depuis plus de 20 ans à savoir ; fissuration du béton, éclatement de l'enrobage du béton, et corrosion des aciers…etc.

Afin d'atténuer le phénomène de la corrosion des aciers, il a été mis en place un mortier de haute performance (BHP).

Le présent projet consiste à l'étude de confortement de la salle, en tenant compte de l'ampleur et le degré de dégradation constaté sur les éléments affectés,

L'objet de ce chapitre consiste de stabiliser le phénomène de dégradations et d'élaborer des plans d'intervention, selon un mode de renforcement approprié, conformément aux règles en vigueur, sur les éléments de structure déjà dégradés. où nous avons procédé à la démarche suivante qui consistait à :

I. Collecte préalable des informations sur le projet:

1- Géométrie

La hauteur totale du bloc est de 25.80 m, et le toit ouvrant par rapport à la terrasse est de 2.00m

- La longueur du bloc est de 42 m, et la largeur est de 32 m.
- La longueur du portique longitudinal est de 34.80 m et le portique transversal est de 31.50 m
- La longueur du bloc scène est de 18m, la largeur est de 9 m et la hauteur est de 25 m.
- La hauteur de la poutre en treillis est de 2.76 m.
- les fondations conçues pour la salle est un radier à poutres nervurées de : 40x120cm.

Selon les informations recueillies sur place **Figure 28 et 29 (plans en annexe)**

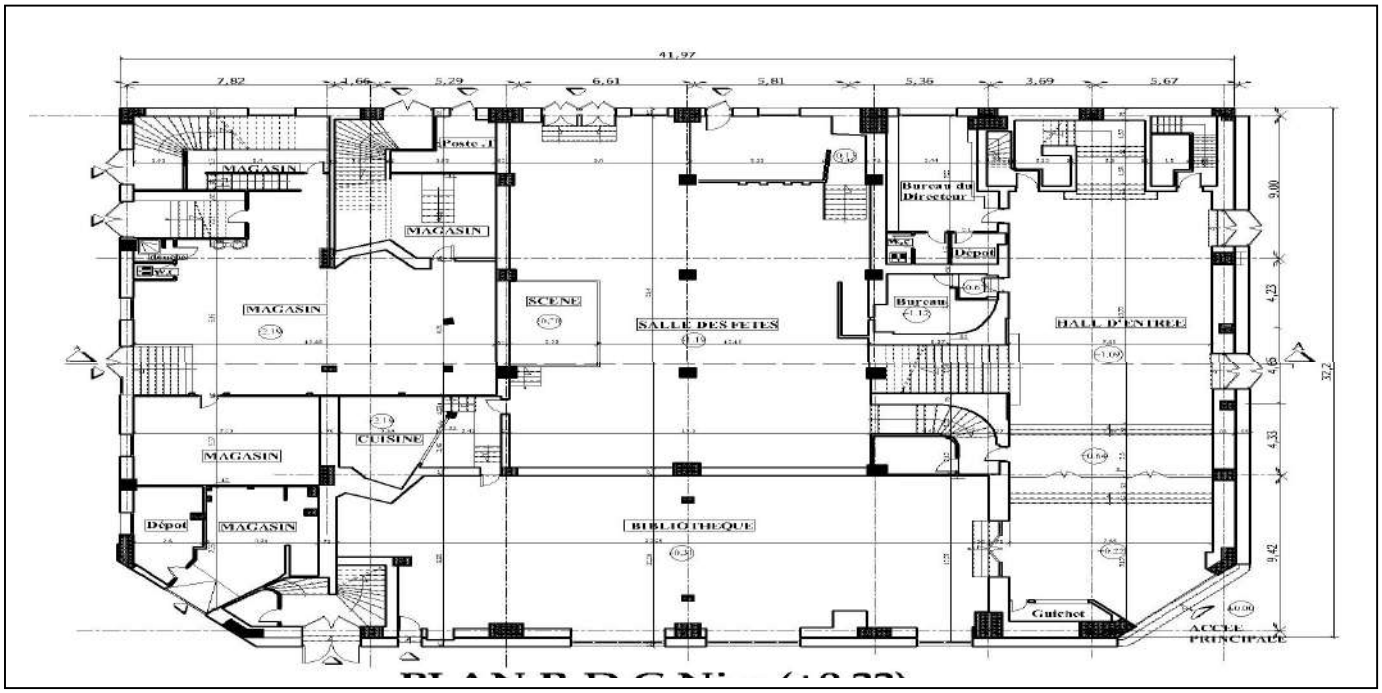


Figure 28:Vue en plan R.D.C

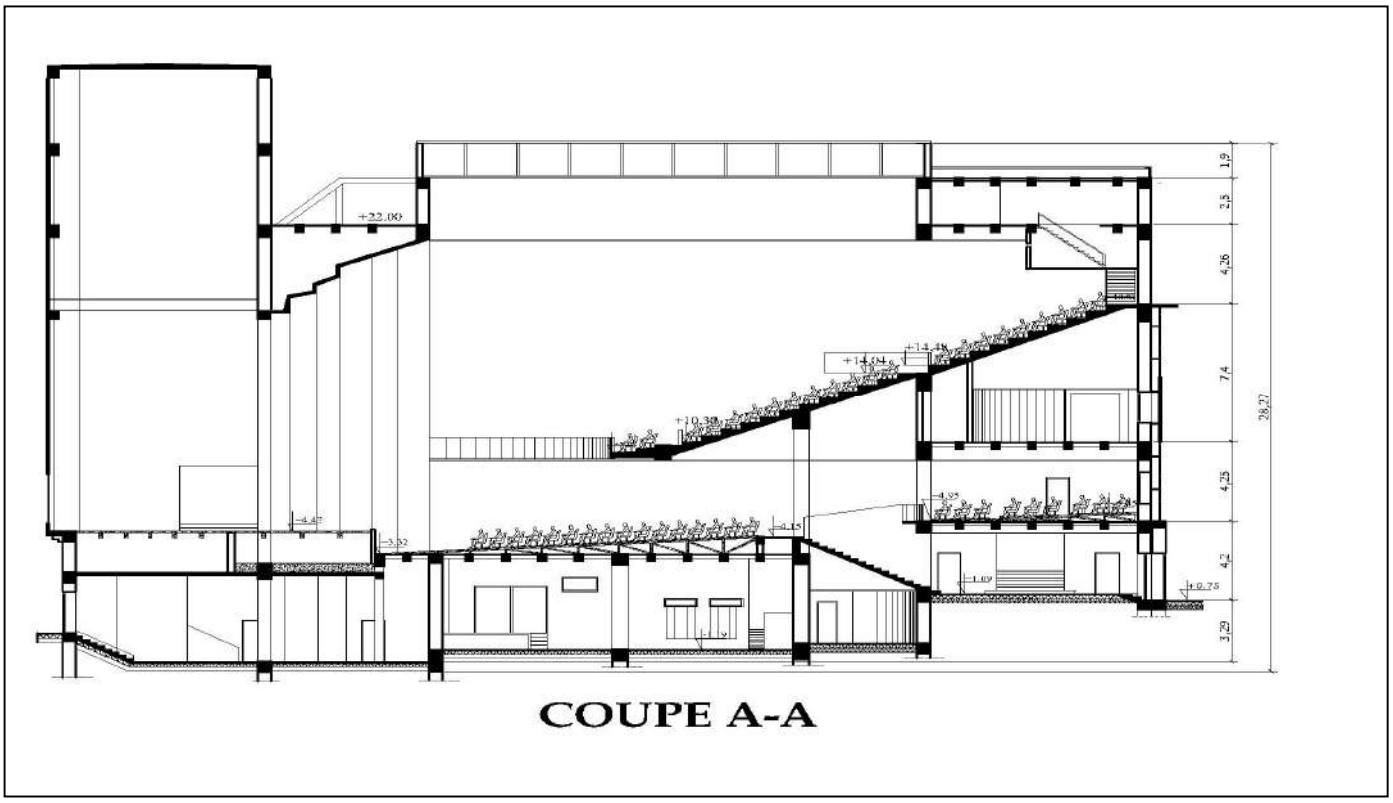


Figure 29:Coupe A-A

2- Pièces écrites et graphiques récoltées

Certains plans ont été mis à notre disposition, et nous avons complété le dossier par un relevé de l'état des lieux à savoir :

1. Dossier d'architecture :
- plan de masse, plan S/SOL, RDC,
- plan 1° étage et 2° étage.
- plan 3° étage et 4° étage,
- plan 1° étage et 2° étage,
- coupe et façades

2. Dossier De béton armé
- Plan de coffrage, ferraillage fondations,
- plancher haut RDC (NIV: +3.30m)
- Plan de ferraillage des poutres et chaînages
- Ferraillages des poteaux, escalier et poutrelles
- Terrasse et étanchéité.

3- Sol et fondations :

En absence de l'étude du sol de projet, on s'est référé d'une étude d'un projet au voisinage, d'où il s'agit :

- D'un sol alluvionnaire, agressif, de forte portance d'environs 3.00 bars
- Le bon sol est à partir de 1. 50 m

4- **Caractéristique du béton de la structure in situ (avant et après dégradations) : en tenant compte de la non fiabilité des résultats de l'ultrason pour le béton fissurés et dégradé, on s'est limité aux** essais non destructifs (sclérométrique) du béton sur place effectués par le laboratoire : BET SATABILITE DES SITES MECANIQUE DES SOLS ET GEOTECHNIUE

BENABDI AHMED dont les résultats sont résumés dans les tableaux suivants **N°03 et 04** et consolidés dans le **Tableau N° 05**:

Tableau 03 : Tableau recapitulatif des Résultat de l'auscultation dynamique sclérométrique des élements non ségrégués (Résultats en annexe) [31]

Désignations Des cas	Etat du béton	Moy Wmax	Moy Wmax	écart type	Fc_{28} moy Cubique Bars	Fc_{28} moy cylindrique Bars
1° CAS	Béton des éléments sains ZONE C	381,03	310,50	30,47	381,03	300,

Tableau 04 : Tableau recapitulatif des Résultat de l'auscultation dynamique sclérométrique des élements ségrégués (Résultats en annexe) [31]

Désignations Des cas	Etat du béton	Moy Wmax	Moy Wmax	écart type	Fc_{28} moy Cubique Bars	Fc_{28} moy cylindrique Bars
2° CAS	Béton des éléments Fortement affectés ségrégués ZONE B	229,34	167,50	39,77	4,16	180,58

Tableau N° 05 : résumé des caractéristiques du béton avant et après dégradation

Désignations Des cas	Etat du béton	Fc_{28} moy Mpa	Ft_{28} Mpa	Ei Mpa	$\sigma_{b\ dur}$	$\sigma_{b\ acciden}$
1° CAS	Béton des éléments sains ZONE C	30	2.4	$3.41x10^4$	17	22.17
2° CAS	Béton des éléments Fortement affectés ségrégués ZONE B	18	1.68	$2.88x10^4$	10.02	13.30

5- **Caractéristique du béton de la structure in situ (après confortement) :**

Nous résumons dans ce qui suit, la nature, résistances et d'autres caractéristiques du béton utilisé pour le renforcement en ciment (CRS) CEM I 42.5 dosé à 400 KG/M3.

- Poids volumique D = 25 KG/M3
- Résistance du béton à la compression, Fc_{28} = 25 Mpa
- Résistance du béton à la traction Ft_{28} = 2.22 Mpa
- Module d'élasticité Ei = $3.21x10^4$ Mpa
- Coefficients de sécurité
  - Situation durable γ_b = 1.5
  - Situation accidentelle γ_b = 1.15
- Contraintes de calcul

- Situation durable $\sigma_b = \frac{0.85\, f_{c28}}{1.5} = 14.2$ Mpa
- Situation accidentelle $\sigma_b = \frac{0.85\, f_{c28}}{1.15} = 18.48$ Mpa
- Module de déformation longitudinale(Young) $Eij = 11000.Fc28^{1/3}$
- Résistance du béton à la traction en fonction de fcj $Ftj = 0.6 + 0.06Fcj$

Module de cisaillement $G = E/2(1+v)$ avec **v** : coefficient de poisson

Il a été opté à la composition du béton ci-dessous, à base de 3/8 ET 8/15 en ciment résistant aux sulfates CRS -CEM I 42.5 dosé à 400 Kg/M3 conformément aux indications recommandation du laboratoire LNHC et prescription technique techniques du Maître de l'Œuvre **Figure 30 et Tableau 06.**

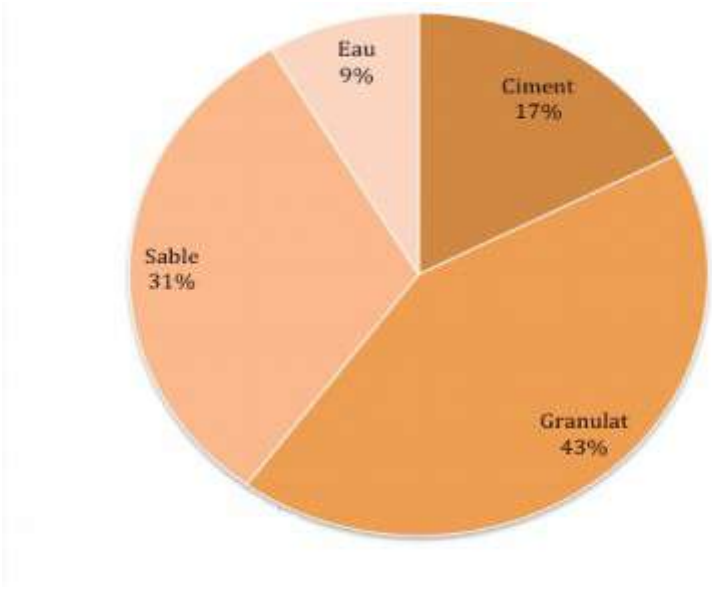


Figure 30: Dosage d'un (1) M3 de béton

Tableau 06 : Dosage d'un (1) M3 de béton armé utilisé pour le confortement [32]

Désignations	TYPE	Dosage	Dosage	% pourcentage	OBS
Ciment	CRS CEM I 42.5 « MSILA »	400 kg	400 kg	17%	
Granulat	3/8 Baghlia « boumerdes »	400 kg	1050 kg	43%	
	8/15 - Baghlia	650 kg			
Sable 0/3	Carrière- Baghlia	2 20 kg	720 kg	31%	
	Sable Fin de gisement (Boughazoul)	500 kg			
Eau de gâchage		175 L	175 L	9%	

6- Caractéristique du ciment résistant aux sulfates CRS CEMI 42,5:

Le ciment CEMI 42,5 est un ciment pour travaux dans les milieux fortement agressifs
Du sulfate de calcium est ajouté sous forme de gypse en tant que régulateur de prise.
C'est un ciment conforme à la norme NA 443 :2002

- Il est constitué de : 95% de clinker, des constituants secondaires (de 0 à 5%) peuvent être incorporés dans ce ciment ; Du sulfate de calcium sous forme de gypse est rajouté en tant que régulateur de prise, avec teneur en C3A inférieure ou égale à 3 %.

7- **Caractéristique de l'*Acier utilisé :***

Nous récapitulons dans ce qui suit, la nature, nuance et les caractéristiques des ***Acier*** utilisés**.**

- Nuance : feE400 fe = 400 Mpa
- Nuance : feE235 fe = 235 Mpa
- Module d'élasticité $Ei = 2.10x10^5$ Mpa
- Coefficients de sécurité
  - Situation durable $\gamma_b = 1.15$
  - Situation accidentelle $\gamma_b = 1.00$
  - Contraintes de calcul
    - Situation durable $\sigma_b = \frac{fe}{1.15} = 348$ Mpa
    - Situation accidentelle $\sigma_b = \frac{fe}{1.00} = 400$ Mpa

Mis a part des résultats d'écrasement des éprouvettes confectionnés par l'entreprise au fur et à mesure des travaux, et afin prendre en compte des résultats et caractéristiques réels du béton sur place dans notre calcul, une compagne sclérométrique a été effectuée par le laboratoire :

BET SATABILITE DES SITES MECANIQUE DES SOLS ET GEOTECHNIUE **BENABDI AHMED,** dont les résultats sont donnés par le tableau suivants **N°07** et consolidés dans le **Tableau N° 08**:

Tableau 07 : Tableau recapitulatif des Résultat de l'auscultation dynamique sclérométrique des élements renforcés (aprés chemisage) (Résultats en annexe) [31]

Désignations Des cas	Etat du béton	Moy Wmax	Moy Wmax	écart type	Fc_{28} moy Cubique Bars	Fc_{28} moy cylindrique Bars
1° CAS	Béton des éléments sains ZONE C	338,6	269,91	19,45	338,6	270,

Tableau N° 08 : Caractéristique du Béton après confortement.

Désignations Des cas	Etat du béton	Fc_{28} moy Mpa	Ft_{28} Mpa	Ei Mpa	$\sigma_{b\ dur}$	σ_b acciden
3° CAS	Béton des éléments réparés (après confortement) ZONE A	25	2.22	3.21x104	14.20	18.48

8- Investigations réalisés sur place :

Vu que le milieu est très agressif (effet de vent marin), Il a été constaté plusieurs éclatements de béton de l'enrobage de la poutre en treillis exposées aux conditions climatiques

Pour pouvoir établir les différentes vérifications de la résistance, et stabilité de la structure sous l'action des charges horizontales et verticales après renforcement, nous étions dans l'obligation de relever toutes les dimensions des éléments de la structure avant et après dégradation dont Le tableau suivant récapitule les dimensions des éléments de la structure (béton et aciers) avant et après dégradations: selon (**Figure 31**).et résumé dans le **Tableau 09.**

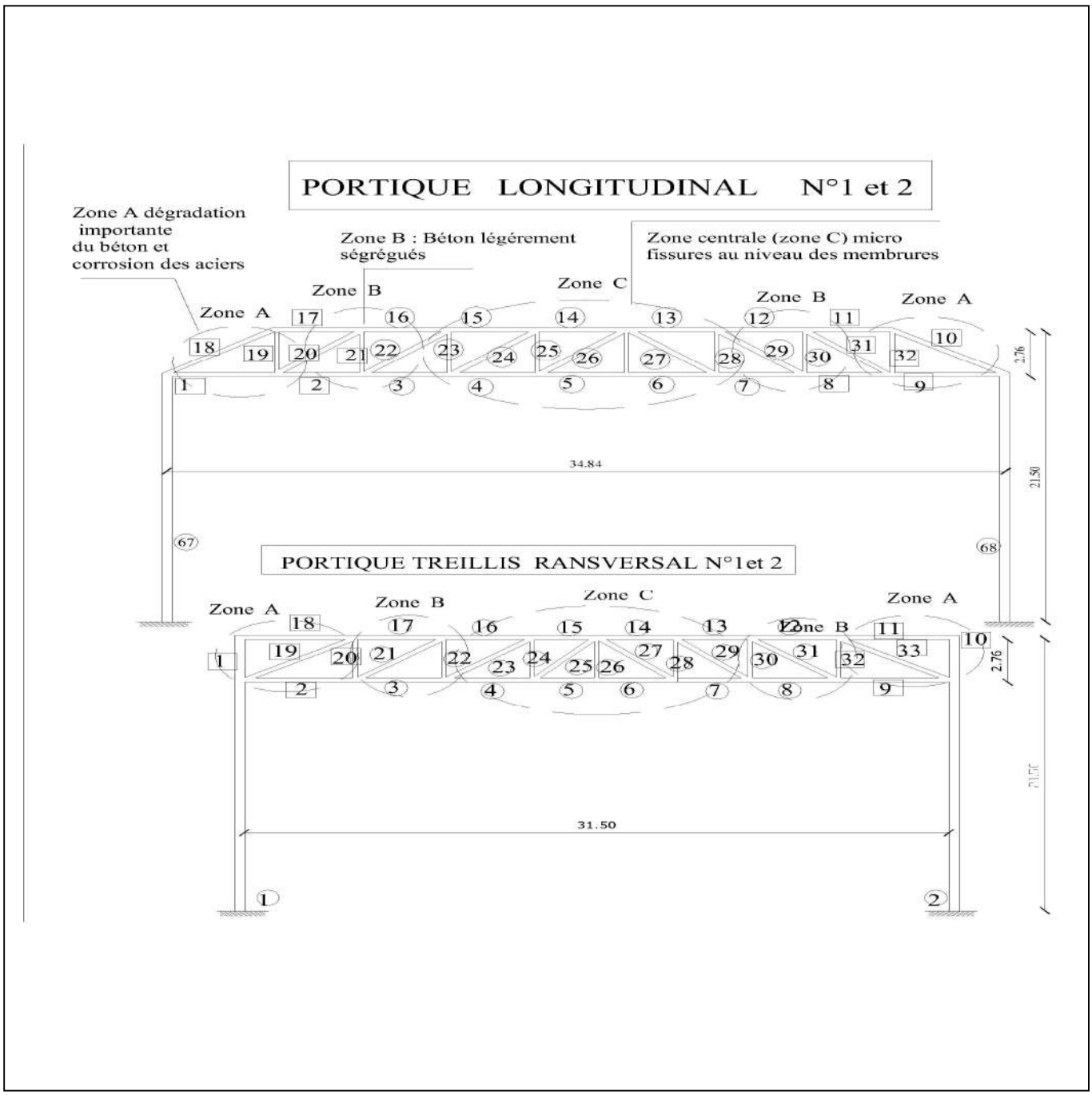


Figure 31: Illustration Des zones de degradations du béton .

Tableau N° 09 : Dimensions et état de dégradation des éléments de la structure (état des lieux).

	Désignations	1° CAS : avant dégradations :	2° CAS : après dégradations	3° CAS : après intervention « réparation »
	Les poteaux recevant les portiques longitudinaux sont de :	1.20x0.8 m	Non dégradé	--
Portique Longitudinal	Les membrures inférieures de la poutre PL en treillis sont de :	0.35x0.60 m	Non dégradé	--
	Les membrures supérieures de la poutre PL en treillis sont de :	0.45x0.75 m	Non dégradé	--
	La 1ère membrure supérieures de la poutre PL en treillis est de :	0.45x0.65 m	0.35x0.55 m	0.50x0.70 m
	Les diagonales du PL sont de :	0.35x0.45 m	Non dégradé	--
	1° diagonale du PL est de :	0.45x0.65 m	0.35x0.45 m	0.50x0.70 m
	Les montants du PL sont de :	0.3x0.3 m	Non dégradé	--
	1° montant du PL est de :	0.3x0.35 m	0.25x0.30 m	0.40x0.45m
	2° diagonale du PL est de :	0.30x0.40 m	0.25x0.35 m	0.40x0.50 m
Portique Transversal	Les membrures inférieures de la poutre PT en treillis sont de :	0.40x0.50 m	Non dégradé	--
	Les membrures supérieures de la poutre PT en treillis sont de :	0.40x0. 50 m	Non dégradé	--
	La 1ère et 2° membrure supérieures de la poutre PL en treillis est de :	0.40x0.50 m	0.35x0.45 m	0.50x0.60 m
	Les diagonales du PT sont de :	0.30x0.40m	Non dégradé	--
	1° et 2° diagonale du PT est de :	0.3x0.40 m	0.25x0.35 m	0.4x0.5m
	Les montants du PT sont de :	0.3x0.3 m	Non dégradé	--
	1° et 2° montant du PT est de :	0.3x0.3 m	0.2x0.25 m	0.4x0.4 m
Aciers	Le diamètre de certaines barres longitudinales a passé de à	Ø 25	Ø 16	Ø 20

9- essais effectues:

Des examens visuels sur le béton, ainsi que des essais non destructifs (compagne scléromètrique) ont été réalisés sur quelques éléments de la structure (poteaux, poutres et membrures) **et** dont il s'est avéré que le béton des zones non dégradées (béton sain) est de haute résistance malgré le vieillissement de ce dernier.

10- Reportage photographique :

Nous illustrons dans les images suivantes l'état des éléments endommagés avant, pendant et après confortement : **Figure 32 &33 et 34.**

Dégradations des membrures supérieures

Ulustration des Poutre en Treillis transversale



Dégradations du montant et diagonal



Dégradation des abouts du P/Long

Figure 32 : Vue Sur Les Eléments Dégradés Avant Intervention

Chemisage des zones dégradées



Chemisage des zones dégradées



Figure 33: vue sur les éléments dégradés durant l'intervention « chemisage »

Coulage du béton



Coulage du béton



Figure 34: vue sur les éléments dégradés après intervention « chemisage »

II. Hypothèses de calcul, dimensions des éléments structuraux :

1- ***Règlements techniques de référence*** [21] - [22] - [23]- [24]- [25]

2- Evaluation des charges selon le (D.T.R).

a) Charge permanente du toit ouvrant Y /C *couverture en panneau sandwich estimé à :*

- Poids total.: ……G=4.00 kN/m²[25]

b) ***Charge permanente du plancher terrasse*** *(Le poids de la dalle pleine est* pris en charge par le logiciel)

- *Poids du carrelage y compris la couche de mortier* *= 0.68 kN/m²*
- *Poids des différents composants d'étanchéité* *= 0.3 kN/m²*
- *Poids de la forme de pente d'une épaisseur moyenne de 12cm* *= 2.4 kN/m²*
- *Poids des revêtements de 1.5 cm en ciment sur plafonds* *= 0.27 kN/m²*

- Poids total:……. Gt = 3.65 kN/m²

c) Evaluation des charges d'exploitations

- Toit ouvrant : ……..Q = 1.00 KN/m²
- Terrasses, (inaccessible) : ……..Q =1.00 KN/m².

3- Combinaison des charges [20] [21] [23]

3.1 Combo 1 ELU : 1.35G+1.5Q
3.2 Combo 2 ELS : G+Q
3.3 Combo 3 ELA : G+Q±E
3.4 Combo 3 ELA : G+Q±1.2E
3.5 Combo 4 ELA : 0.8G±E .

III. Méthode de renforcement proposée dans le cadre de ce projet

Les recherches sur le renforcement ont démontrés que remplacer le béton autour des barres par une chemise en béton armé conduisait à une augmentation de la résistance et de la de la ductilité.

En tenant compte de la plus part des anomalies constatée au niveau des zones exposées aux effets du vent marins (effet du milieu agressif), et le passage de l'état élastique à l'état plastique de certains éléments de la structure (déplacements irréversibles) à savoir ; flambement des diagonales et montants, nous avons opté au principe suivant relatif aux vérifications et calculs de la structure avant intervention selon ce qui suit:

1. Etudier la possibilité de procéder au déchargement des éléments comprimés avec barres longitudinales flambées, pour revenir au chargement avant dégradation (l'état élastique), et ce à l'aide des vérins hydraulique .
2. S'il s'avère nécessaire d'éviter le procéder sus cité on doit procéder aux vésications suivantes :

- Calcul de l'effort tranchant à la base par la méthode statique équivalente. [26].
- Vérification et calcul de et de la structure par la méthode dynamique linaire à l'aide du «logiciel ROBO BAT ».
- Interprétations des résultats conformément à la réglementation en vigueur citée en référence [21] à [25]

Remarques : Il est à noter qu'en absence de la réglementation algérienne relative au calcul non linaire, Nous avons été dispensés dans notre projet de fin d'étude de l'utilisation de la méthode non linéaire (push over).

1.1 Hypothèse de chargement et déchargement des éléments comprimés a l'aide des vérins :

L'intervention est délicate sur les éléments dégradés en premier degré les diagonales et les nœuds et en deuxième degré les membrures inférieurs et les montants relatifs aux portiques longitudinaux. Cette intervention est basée principalement sur le déchargement de la structure à l'aide des vérins des éléments comprimés concernés par la réparation,

Il s'agit d'engager des multiples vérifications par calcul avant de procéder au déchargement des éléments comprimés (montant et diagonale de la poutres ferme en béton armé) marqués par l'éclatement du béton de l'enrobage , flambement des armatures, corrosion et diminution des diamètres des cadres et barres longitudinales , Juste avant leurs renforcements et ceci par application d'un effort axial de traction à l'aide des vérins, d'où, c'est un déchargement des éléments comprimés en vue de revenir à l'état initial de l'élément, à laide d'un dispositif appelé bossage basé sur le renforcement des nœuds pour pouvoir supporter les efforts appliqués .

- ***Définition des*** *Bossage D'ancrage**:***

Ce dispositif consiste à griffer par clouage ou serrage sur la structure existante préfabriquée ou coulée sur place, permettant d'introduire et la répartition de l'effort d'ancrage.

Ce type de bossage peut engendrer des efforts locaux importants dus à la diffusion de la précontrainte.

Pour notre cas on préconise les bossages de dimensions de 50x70x20 Cm.

- ***Mise en œuvre des bossages:***

La répartition des surfaces sur les quelles viennent s'appuyer les bossages doit être soigné, par ailleurs les surfaces en contact doivent être traitées pour éliminer la peau du béton saint (le cas de bossage en Béton préfabriqué).

Lorsque le bossage est coulé en place, la surface d'appuis de béton existante doit être sablée et lavée à haute pression. Les dispositions prisent pour le coffrage et le montage doivent permettre le libre mouvement des éléments susceptible de se déplacer, en particulier sous les effets thermiques tout en solidarisant les coffrages provisoires à la structure.

a- Avantage de la solution :

- Eviter le confortement d'un élément dans un état plastique et non élastique.
- Revenir au chargement des éléments de la structure avant dégradation.

b- Inconvénient de la solution :

Un calcul rigoureux est fortement recommandé afin d'éviter tous risque due à la mauvaise prise en compte des répercussions de l'application des efforts sur les éléments non chargés .d'ou, lors d'application des efforts de traction aux éléments concernés par le déchargement ,

le reste des éléments (non concernés par le chargement) risquent d'avoir des efforts supérieurs aux efforts prévus dans l'étude initiale du projet , provoquant la rupture d'un élément ou de plusieurs (risque d'effondrement de la salle).

c- Principe d'utilisation vérins et vérification de la structure :

Une étude comparative sur les trois (03) cas de chargement appliqués a l'aide des vérins représentés par la **Figure 35** à et le tableau suivant **tableau 10**:

Tableau 10: Chargement appliqué à l'aide des vérins (efforts de traction)

Désignations N° de cas	Eléments concerné par l'application du chargement « traction »	N° de l'élément	Valeur de l'effort appliqué en TONNE
1	Montant	43	50
2	Montant	43	30
3	Montant	43	12
4	Montant	43	0 (non chargé),

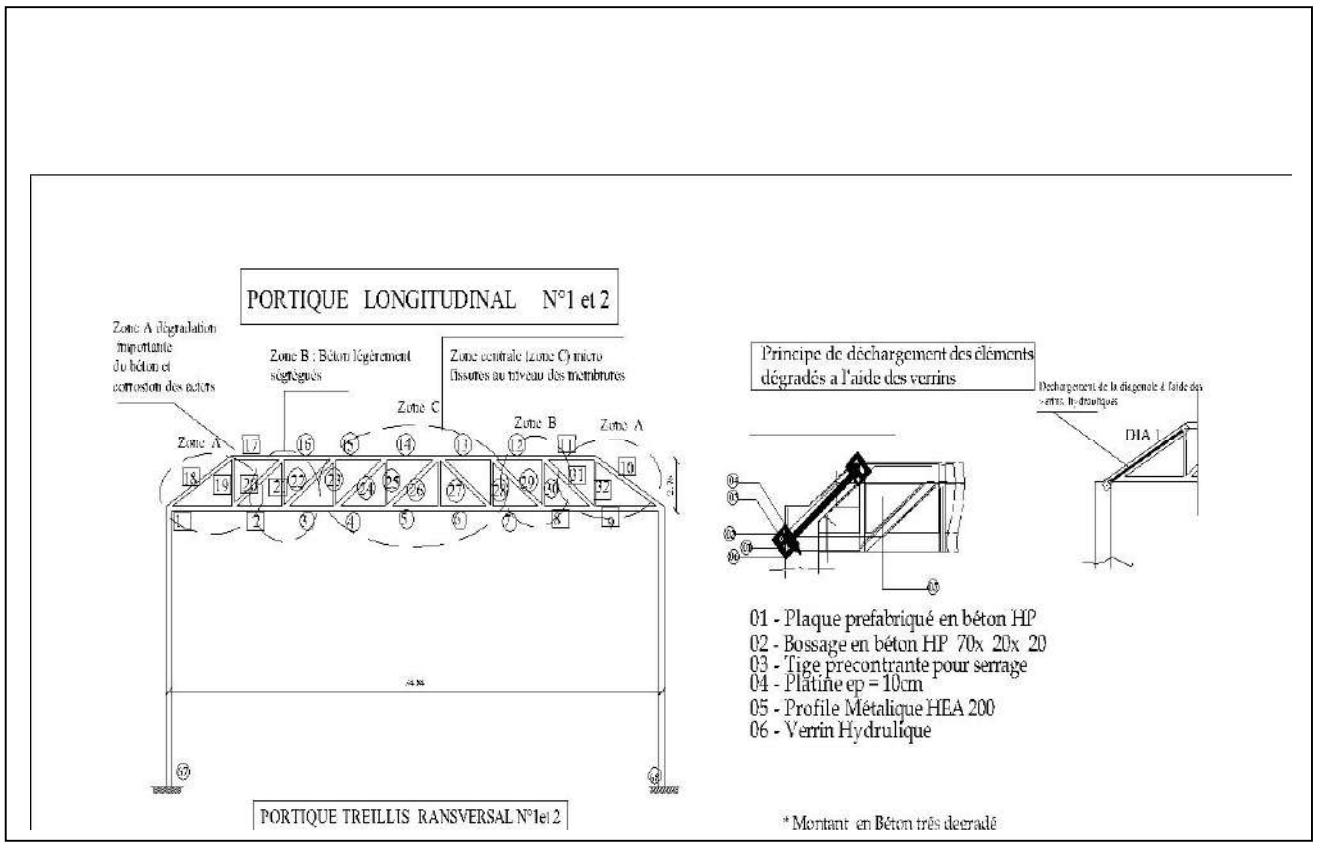


Figure 35: Dispostif de verrins selon hypothése de déchargement appliqué aux élements dégrardés.

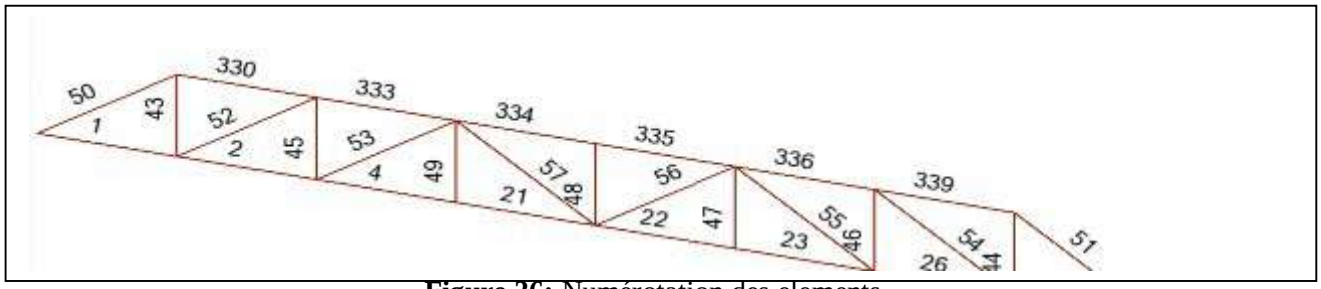


Figure 36: Numérotation des elements

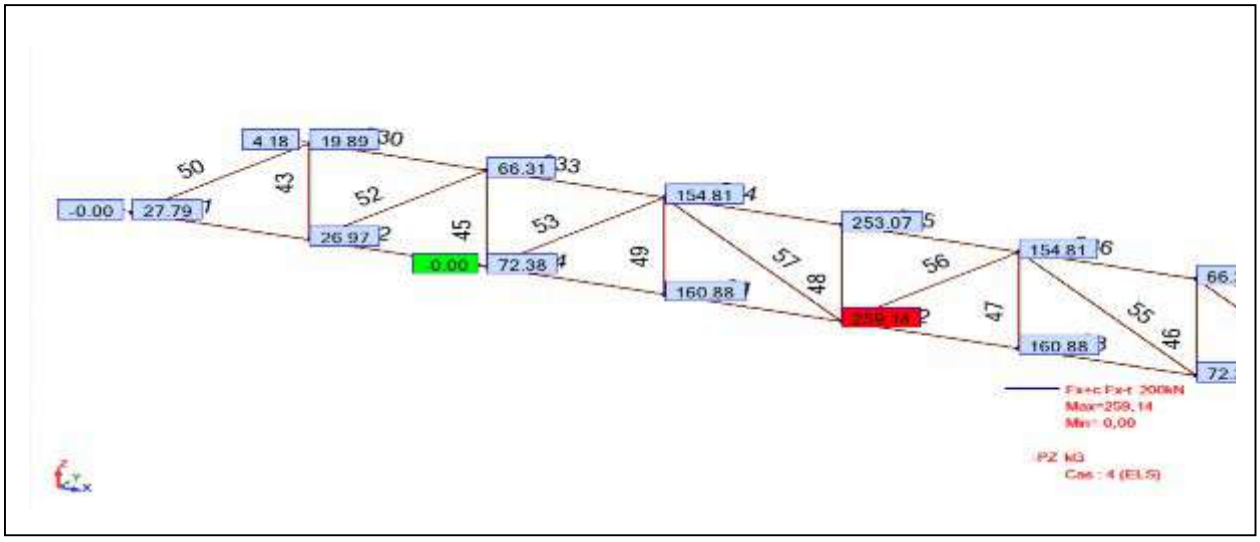


Figure 37: Distribution **des efforts normaux N à ELS** avant chargement (à l'aide des veris)

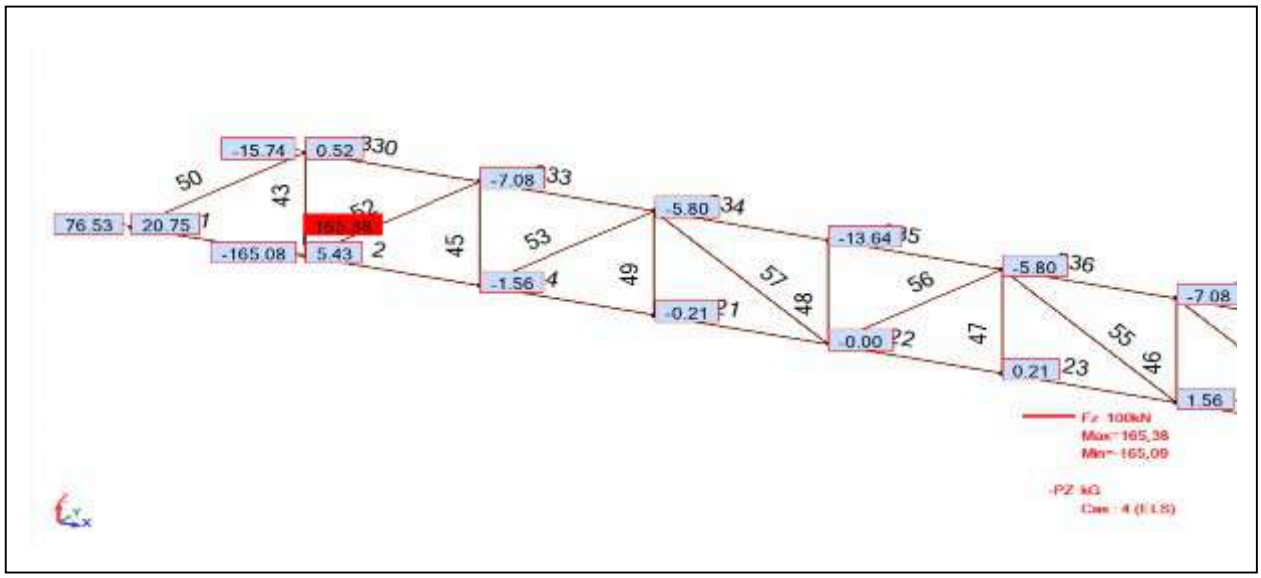


Figure 38: Distribution **des efforts trancahnts T à ELS** avant chargement (à l'aide des veris)

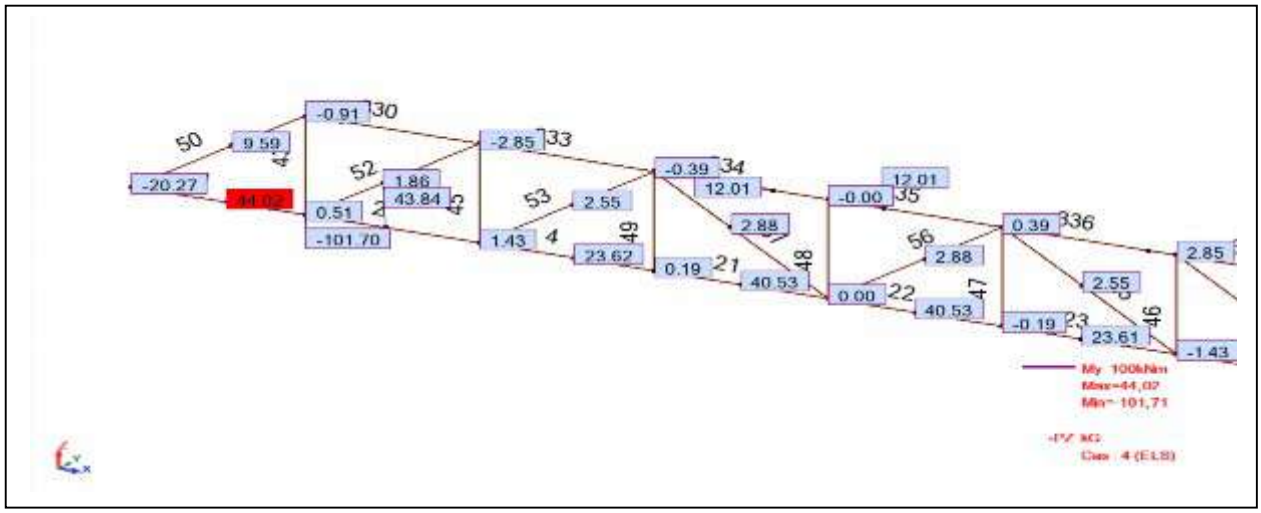


Figure 39: Distribution **des moments fléchissants M à ELS** avant chargement (à l'aide des veris)

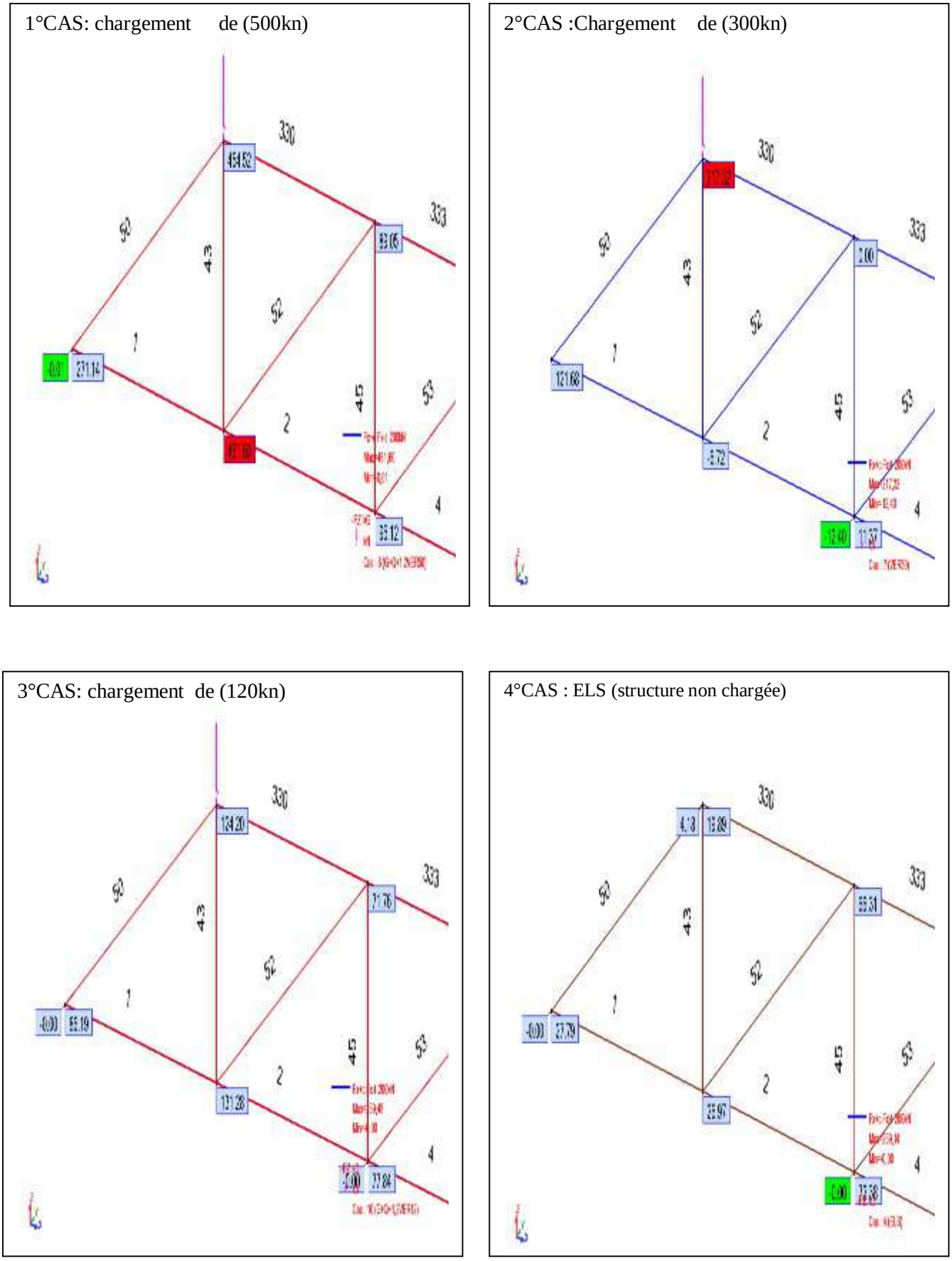
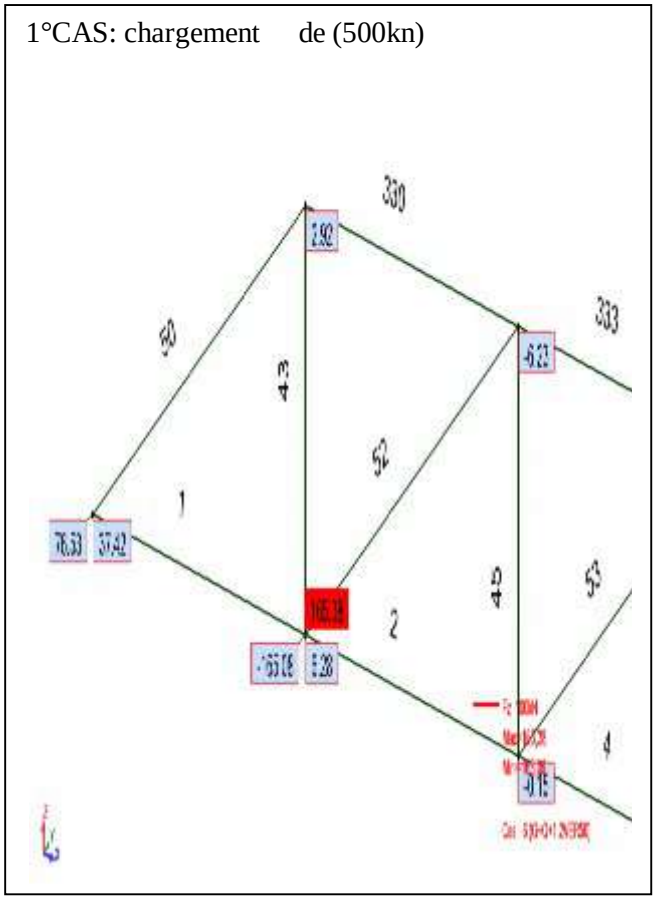
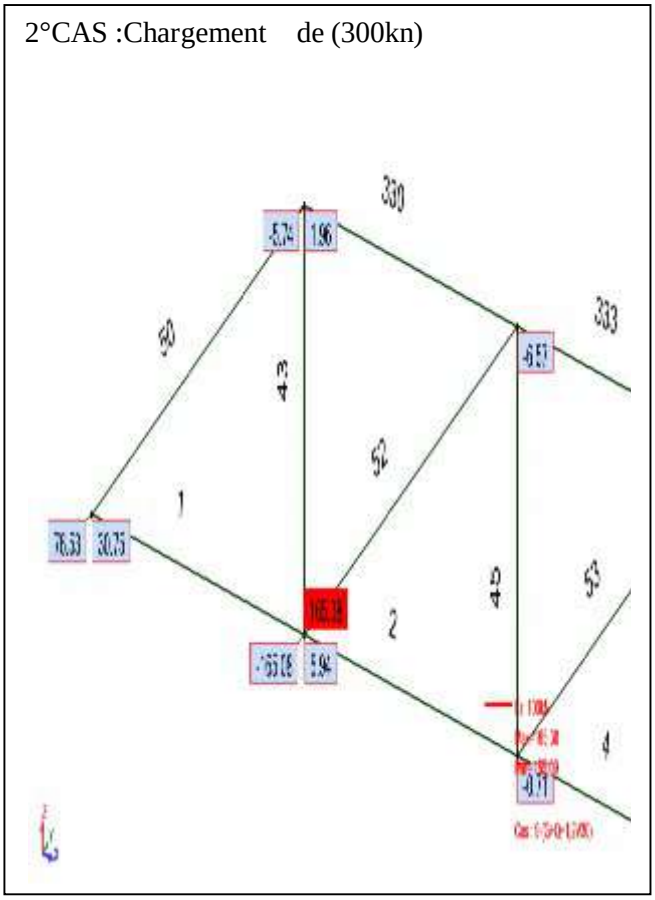


Figure 40: Distribution **<u>des efforts normaux</u>** **<u>N sous combinaisons</u>** avant et aprés hargement

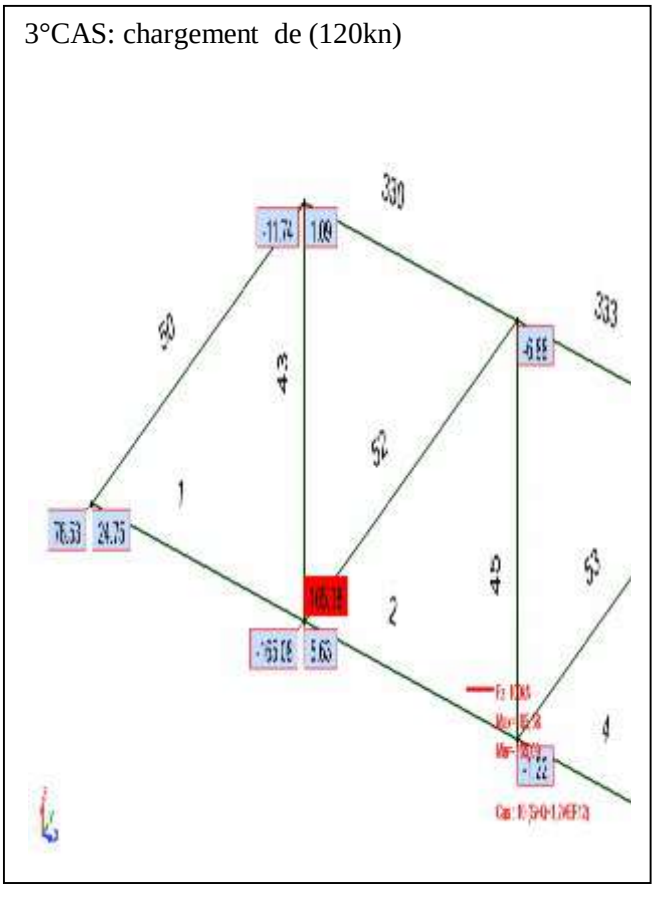
1°CAS: chargement de (500kn)



2°CAS :Chargement de (300kn)



3°CAS: chargement de (120kn)



4°CAS : ELS (structure non chargée)

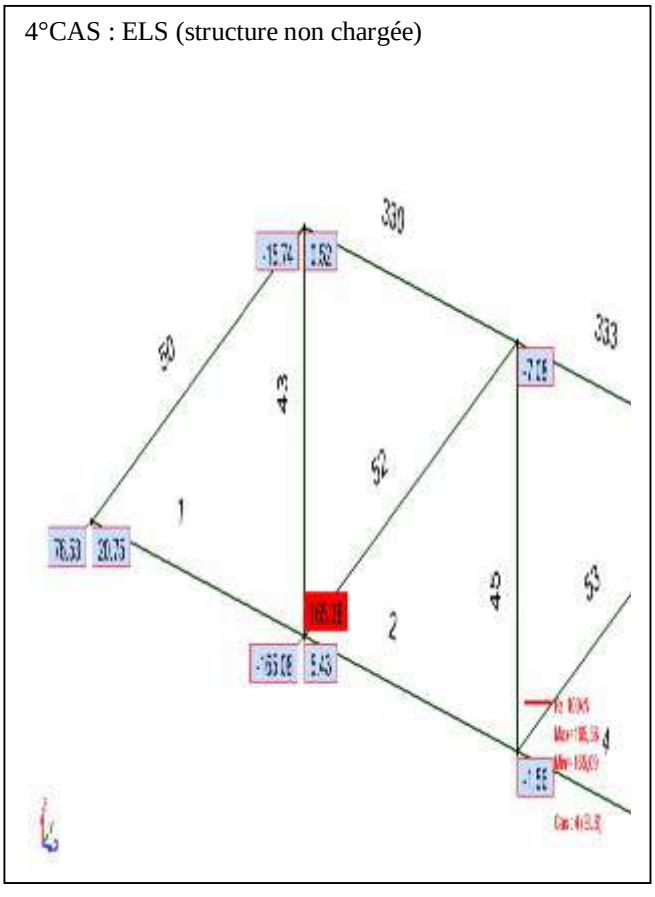
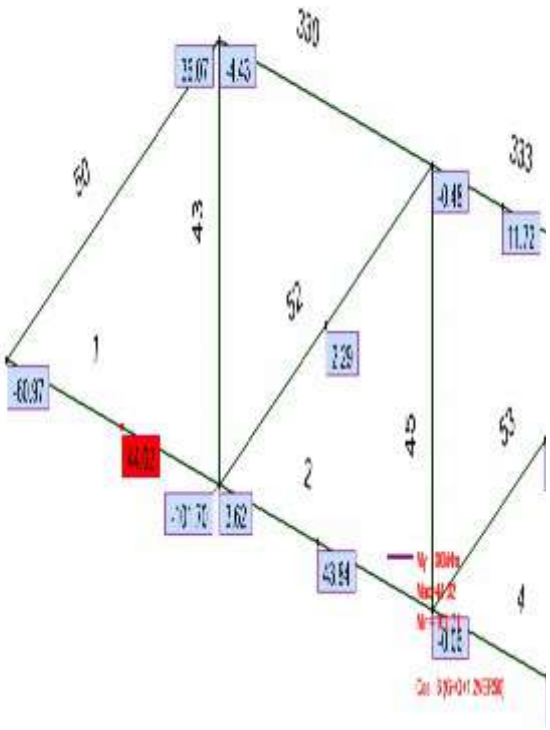
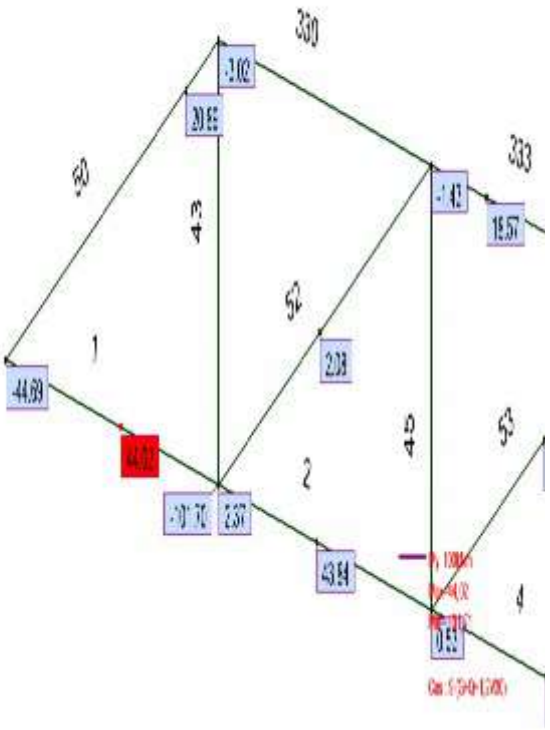


Figure 41: Distribution **<u>des efforts tranchants T sous combinaisons</u>** avant et aprés hargement

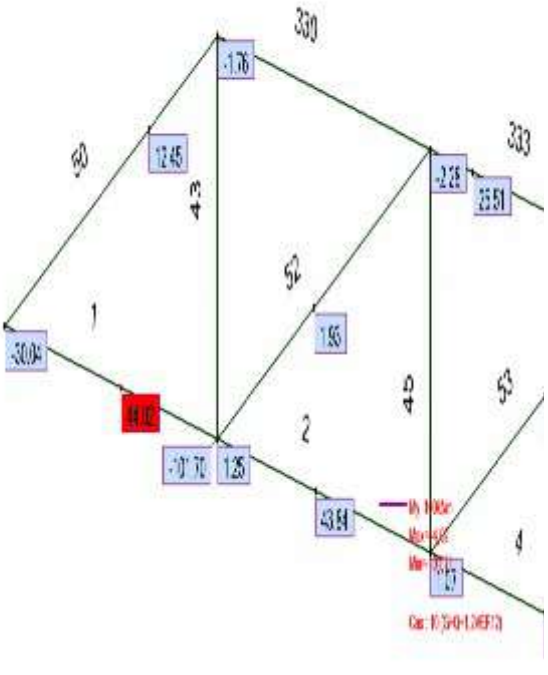
1°CAS: chargement de (500kn)



2°CAS :Chargement de (300kn)



3°CAS: chargement de (120kn)



4°CAS : ELS (structure non chargée)

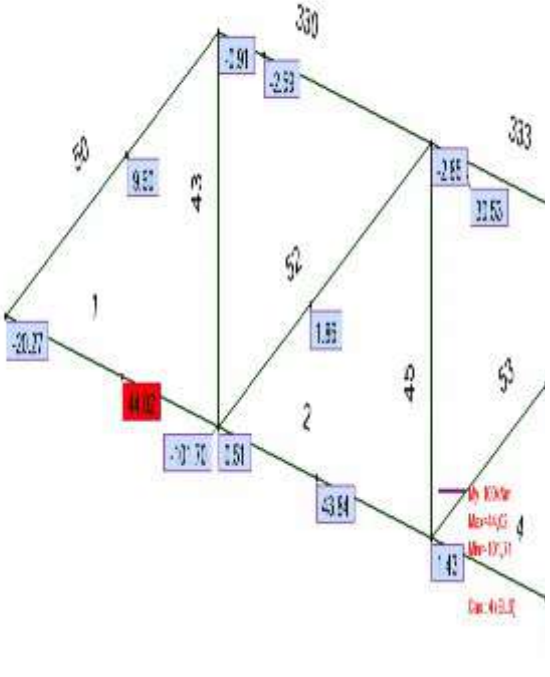


Figure 42: Distribution **<u>des Moments fléchissants M sous combinaisons</u>** avant et aprés hargement

Nous avons récapitulé dans Le tableau 11, les forces appliquées et les efforts (résultats) sur certains éléments de la structure.

Le tableau 11 : Efforts de chargement extérieur appliqué sur les éléments et sollicitations intérieurs

N° de l'Eléments	N° de cas	N effort Normal en t	T effort tranchant en t	M Moment Flechet.m	Nature des sollicitations Entre 1 et 2 (3 et 4)	O B S
1	1° max min	-0.01	+76.53 -165.08	+44.02 -101.70	Pas de Variation de / N, T et M (Changement négligeable)	
	2° max min	-0.01	+76.53 -165.08	+44.02 -101.70		
	3° max min	0.00	+76.53 -165.08	+44.02 -101.70		
	4° max min	0.00	+76.53 -165.08	+44.02 -101.70		
50	1° max min	+271.14 +247.53	+37.42 +0.93	+36.06 -60.97	Augmentation de la traction Augmentation de l'effort tranchant Augmentation du Moment fléchissant	Du +4.18au +247.53 Du 20.75au +37.42 Du+9.59au+36.06 Et du -20.37au-60.97
	2° max min	+173.80 +150.19	+24.75 -11.74	+20.89 -44.69		
	3° max min	+86.19 +62.58	+30.75 -5.74	+12.45 -30.04		
	4° max min	+27.79 +4.18	+20.75 -15.74	+9.59 -20.37		
43	1° max min	+461.60 +454.52	+2.92 +2.92	+3.62 -4.43	Augmentation de la traction Changement négligeable de l'effort tranchant Changement négligeable du Moment fléchissant	Du +19.89au +454.52 Du +0.52au +2.92 Du+0.51au+3.62
	2° max min	+287.75 +280.67	+1.96 +1.96	+2.37 -3.06		
	3° max min	+131.28 +124.20	+1.09 +1.09	+1.25 -1.76		
	4° max min	+26.97 +19.89	+0.52 +0.52	+0.51 -0.91		
330	1° max min	+204.39	-10.36 -51.93	+40.50 -91.59	Augmentation de la traction Diminution de l'effort tranchant et changement de signe Diminution du Moment fléchissant et changement de signe	Du +11.54au +204.39 Du +8.95au -10.36 Du-2.59au+40.50
	2° max min	+127.25	+2.56 -44.26	+21.63 -77.86		
	3° max min	+57.8	+4.34 -37.36	+5.61 -65.50		
	4° max min	+11.54	+8.95 -32.06	-2.59 -57.26		

Après analyse des résultats donnés dans le tableau ci-dessus, il a été conclu ce qui suit :

L'application d'un effort de 50 t, perturbera les efforts des éléments voisins, et produit une redistribution des efforts au niveau de la structure.

L'application d'un effort de 30 T et 12 t, produit un changement d'efforts au niveau des éléments voisins, et faible pour les éléments éloignés.

d- Conclusion :

Nous pouvons conclure qu'en cas d'application d'un effort supérieur à 10 t risque de perturber quelques éléments de la structure, d'où, et afin d'éviter toute éventualité, nous avons optés :

- Au confortement des éléments affectés selon l'état de dégradation,
- S'assurer par calcul de la stabilité des éléments renforcés ainsi que de la structure l avant de procéder au confortement.

1.2 Hypothèse De confortement « Chemisage des éléments dégradés » :

A. Définition de renforcement du béton par chemisage, et inconvénient du procédé:

Chemisage : Les chemisages en béton armé sont appliqués sur le périmètre des poteaux et des murs en augmentant sa section par mise en œuvre d'une épaisseur de béton sur tout le périmètre de l'élément primitif selon les besoins suivants **Figure 43**:

- amélioration de la résistance des jonctions (nœuds) par recouvrement afin d'assurer la transmission des charges et des efforts en conséquences.
- augmentation de la capacité de déformation, et de la portance ainsi de la résistance en flexion et/ou au cisaillement.

Chemisage des zones dégradées



Coulage du béton



Figure 43 : vue sur les éléments renforcés pendant et après chemisage

Il convient que l'épaisseur des chemisages permette de disposer à la fois des armatures longitudinales et transversales avec un enrobage adéquat, et o distingue de cas de figure pour le chemisage :

a. Lorsque les chemisages ont pour objectif d'augmenter la résistance en flexion, il convient de prolonger les barres longitudinales jusqu'à l'étage continu par l'intermédiaire de percées dans la dalle, tandis qu'il convient de disposer des épingles horizontales au niveau des nœuds par le truchement de trous horizontaux percés dans les poutres. Les épingles ne sont pas nécessaires dans le cas de nœuds intérieurs entièrement confinés.
b. Lorsque seule une augmentation de capacité de résistance et de déformation vis-à-vis de l'effort tranchant est à considérer, éventuellement avec une amélioration de la jonction par recouvrement, il convient que l'extrémité des chemisages (à la fois le béton et les armatures) préserve un espace par rapport à la dalle de l'ordre de 10 mm.

Les inconvénients de renforcement par un béton additionnel sont résumés comme suit:

- Crée une différence de masse â l'étage spécifié au renforcement. Cette différence crée une excentricité considérable entre le centre de masse et le centre de torsion par conséquence une Augmentation de rigidité de l'étage et entre étages.
- Augmentation de la descente de charges de la structure et leurs répercussions sur l'infrastructure (Redimensionnement des fondations).

Conclusion : On peut conclure que le renforcement des ouvrages par ajout de certains éléments de contreventement intérieurs tel que les voiles, ou bien de reconstituer ou d'augmenter la résistance des élément structuraux à savoir : poteaux, poutres ,membrures ,diagonales et voiles par chemisage en béton ; il faut être toujours prudent concernant le comportement de la structure après le renforcement et surtout les endroits de formation des rotules plastique et qui peuvent provoquer la ruine de l'ouvrage vis-à-vis des sollicitations sismiques ;

Compte tenu de ce qui précède, on a opté d'envisager des multiples vérifications à la stabilité de la structure après renforcement conformément au règlement en vigueur relatives au :

- Calcul de l'effort tranchant à la base par la méthode statique équivalente. [26].
- Vérification et calcul de et de la structure par la méthode dynamique linaire à l'aide du «logiciel ROBO BAT ».
- Interprétations des résultats conformément à la réglementation en vigueur citée en référence [21] à [25]

B. Evaluation de l'effort tranchant à la base par la méthode statique équivalente (art 4.3.6 du RPA version 2003) : Méthode statique équivalente [26]

a. calcul de la force sismique total :

*La force sismique totale « **V** » appliquée à la base de la structure doit être calculée successivement dans deux directions horizontale orthogonales selon :* $\boxed{V = \frac{ADQ}{R} W}$

- coefficient d'amplification dynamique A = 0.3 (tableau 4.1)
- Coefficient de comportement R = 3.5 (tableau 4. 3)
- Facteur de qualité Q = 1.2 (tableau 4. 4)
- Poids total de la structure $W=G+\beta Q$ avec $\beta = 0.3$ soit $W=G+30\%Q$
- Coefficient de pondération de la charge d'exploitation β
- Facteur d'amplification dynamique moyen D, fonction de la catégorie du site, facteur de correction d'amortissement et la période fondamentale de la structure T Soit :
  - ❖ Calcul de la période par les formules empiriques du RPA (art4.2.4) :
  - ❖ La valeur de la période retenu sera la plu s petite des deux formules empiriques suivantes :

Avec : $T = C_T h_N^{3/4}$ $T = 0.09\, h_N / \sqrt{D}$

n_H = 22 ,75m/NIVEAU +0 ,00 : Hauteur de la structure

C_T = 0.05 : Coefficient fonction du système de contreventement

Dix= 34.80 m : Dimensions du bâtiment mesuré à sa base selon la direction Oxo

Dy= 31.50 m : Dimensions du bâtiment mesuré à sa base selon la direction Oye

Donc :

T_{xt} = 0.422s : La période selon la direction Oxo

T_{ty} = 0.445s : La période selon la direction Oye

Calcul du coefficient d'amplification dynamique (art4.2.3) Art (4.2.3) du RPA 2003

$$D = \begin{cases} 2.5\eta \text{..... ....} 0 \le T \le T1 \\ 2.5\eta.\left[\frac{T_2}{T}\right]^{\frac{2}{3}} \text{..... ....} T2 \le T \le 3.0s \\ 2.5\eta.\left[\frac{T_2}{3}\right]^{\frac{2}{3}}.\left[\frac{3}{T}\right]^{\frac{5}{3}} \text{..... ....} T2 \le T \le 3.0s \end{cases}$$

- Le pourcentage d'amortissement critique $\xi = 5\,\%$.
- η: Facteur de correction d'amortissement (quant l'amortissement est différent de 5%)

Donc on aura $\eta = \sqrt{\frac{7}{2+\xi}}$

D_x = 2.123 : Coefficient d'accélération dynamique selon la direction Ox

D_y = 2. 054 : Coefficient d'accélération dynamique selon la direction Oy

Résultats du calcul statique : L'effort tranchant à la base calculé par la méthode statique équivalente est par **Figure 44** suivant :

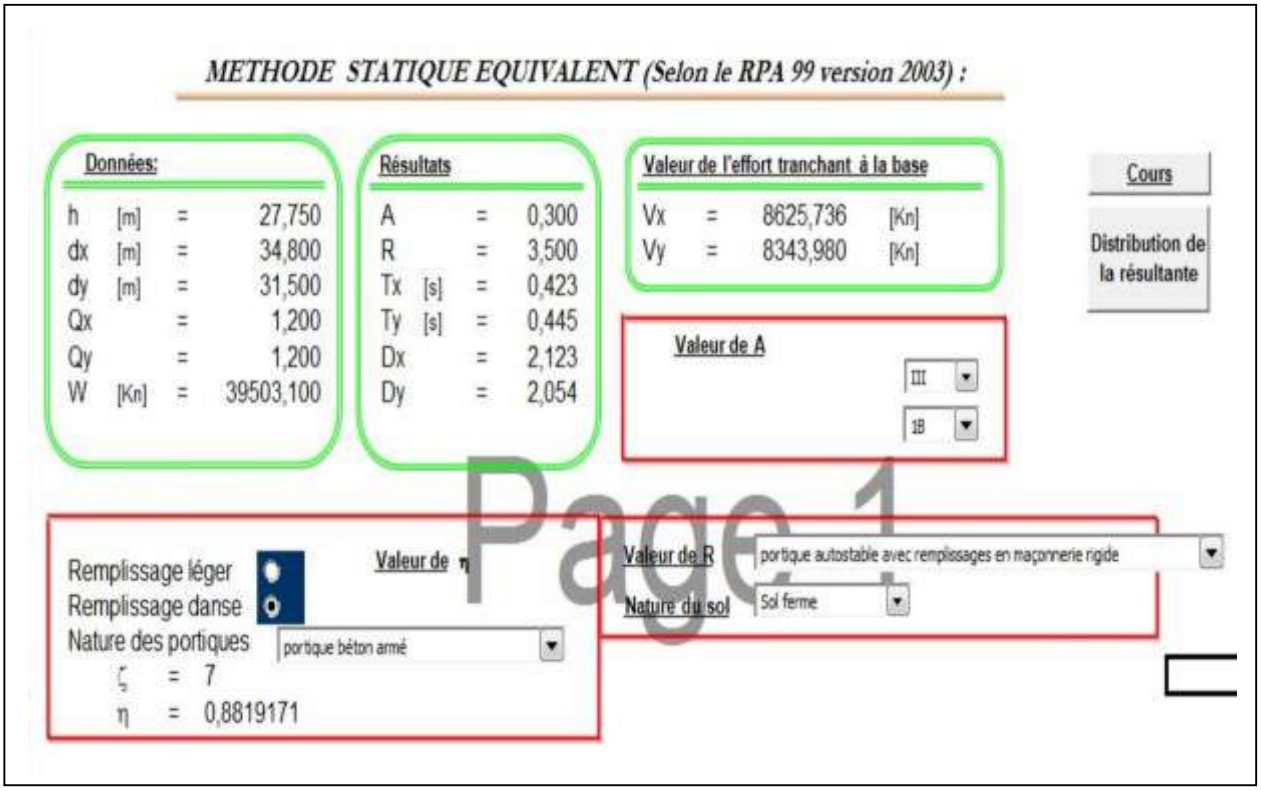


Figure 44: Efforts tranchant à la base selon méthode statique équivalente

Soit :

- **Vx = 8625.73 KN**
- **Vy= 8343.98 KN**

b. Distribution de la résultante des forces sismiques selon la hauteur (Effort sismique par niveau) art 4.2.5 RPA 88 VER2003

❖ La résultante des forces sismiques à la base (effort tranchant à la base) **V** doit être distribuée sur la hauteur de la structure selon la formule suivante **Figure 45 & 45:** $\mathbf{F_{i=}(V-F_i)\,Wi\,hi\,/\Sigma\,Wj\,hj}$

Où $\mathbf{F_i}$: Effort horizontal revenant au niveau i **&** **Wi**, **Wj** : poids revenant aux planchers i, j

hi : niveau du plancher où s'exerce la force

Fi **&** **hj** : niveau d'un plancher quelconque

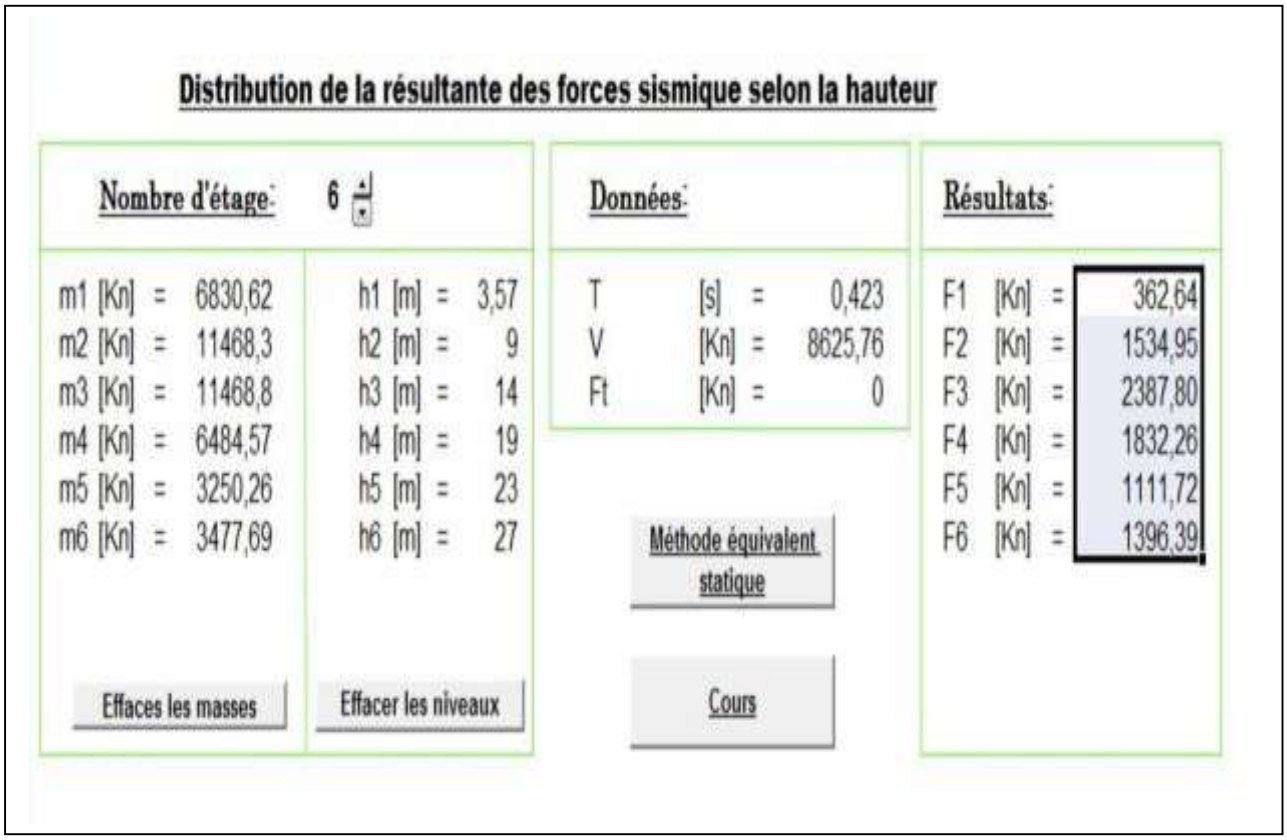


Figure 45 : Distribution De L'effort Sismique- sens longitudinale

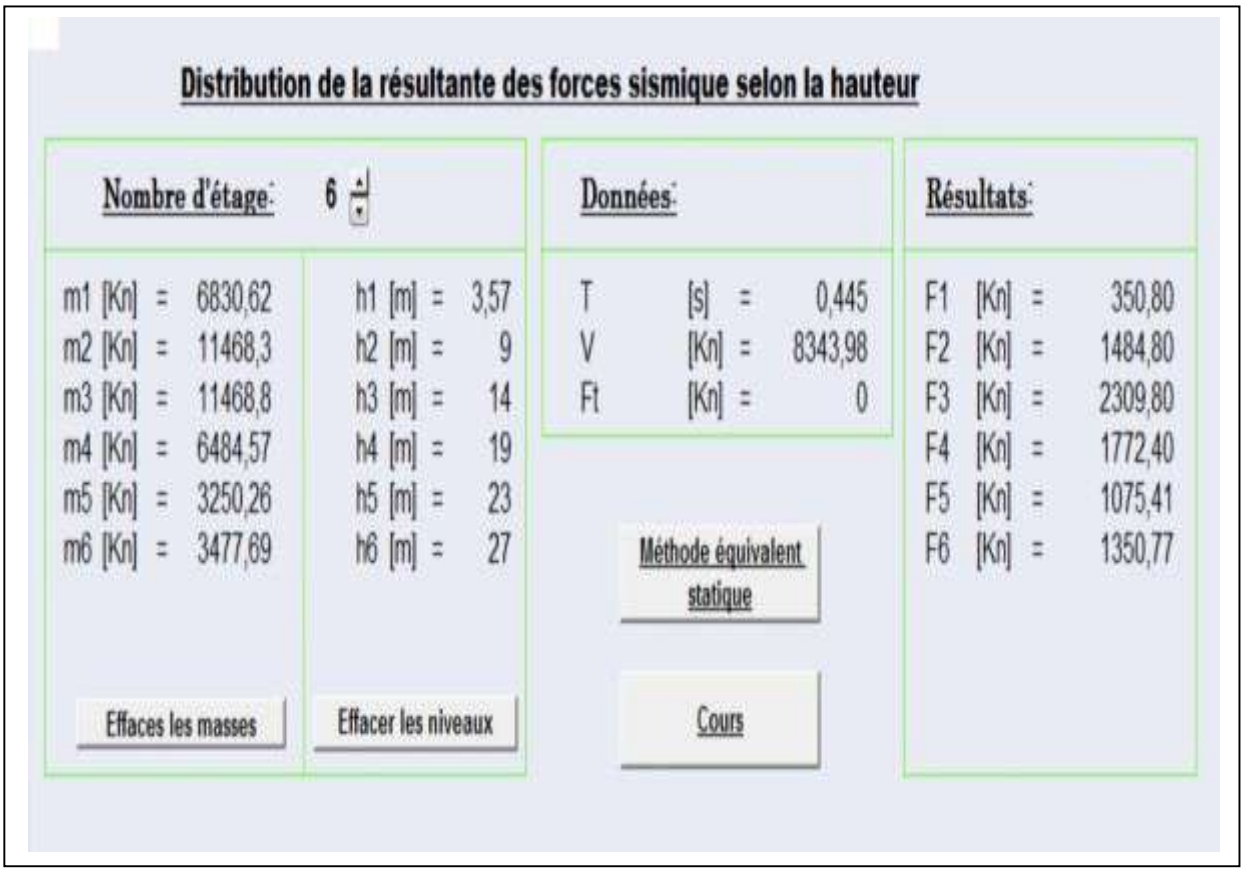


Figure 46: Distribution De L'effort Sismique- sens transversal

❖ Les résultats des efforts sismiques et efforts tranchants par niveaux sont récapitulés dans le **tableau 12** ci-dessous :

Tableau 12 : Poids, efforts tranchant et forces sismiques par étage.

Etage	Mase (kn)	Vx [kN]	Vy [kN]	Fx [kN]	Fy [kN]
5° ETAG	**3477,69**	1396,39	1350,77	1396,39	1350,77
4° ETAG	**3250,25**	2508,11	2426,18	1111,72	1075,41
3° ETAG	**6484,57**	4340,37	4198,58	1832,26	1772,40
2° ETAG	**11468,82**	6728,17	6508,38	2387,80	2309,80
1° ETAG	**11468,82**	8263,12	7993,18	1534,95	1484,80
RDC	**6830,62**	8625,76	8343,98	362,64	350,80
TOT	**39503,10**				

Avec

V_x : Effort tranchant à la base selon la direction Ox

V_y : Effort tranchant à la base selon la direction OY

F_x : Effort horizontal revenant au niveau i selon la direction Ox

F_y : Effort horizontal revenant au niveau i selon la direction OY

Wi : Poids revenant au plancher i.

C. Vérification et calcul de et de la structure par la méthode dynamique linaire à l'aide du «logiciel ROBO BAT » :

1. problématique de la modélisation

Vue que la structure n'a subit aucune déformation due aux sollicitations sismiques, on se contente des calcul de la structure après intervention par une modélisation de la méthode linaire soit « Modélisation dynamique (à l'aide du logiciel ROBO BAT)» (**Figures 27 ,28 et 29)** avec une vérification de l'effort tranchant à la base , de la méthode statique équivalente conformément au RPA 93 VERSION 2003 .

2. Le calcul du spectre se fait par les formules données par le RPA version 2003 Art (4.3.3)

$$\frac{S_a}{g} = \begin{cases} 1.25\,A\left[1+\frac{T}{T1}\left[2.5\eta\frac{Q}{R}-1\right]\right] \text{..... } 0 \le T \le T1 \\ 2.5\eta(1.25\,A\left[\frac{Q}{R}\right] \text{..... .... } T1 \le T \le T2 \\ 2.5\eta(1.25\,A\left[\frac{Q}{R}\right].\left[\frac{T_2}{T}\right]^{\frac{2}{3}} \text{..... ..... } T2 \le T \le 3.0s \\ 2.5\eta(1.25\,A\left[\frac{T_2}{3}\right]^{\frac{2}{3}}.\left[\frac{3}{T}\right]^{\frac{2}{3}}.\left[\frac{Q}{R}\right] \text{..... } T > 3.0s \end{cases}$$

Avec :T : La période

- T_1 et T_2 : Périodes caractéristiques associées à la catégorie de site (tableau 4.7 du RPA 2003)
- η : Facteur de correction d'amortissement (quant l'amortissement est différent de 5%)

ξ : Pourcentage d'amortissement critique $\eta = \sqrt{\frac{7}{2 + \xi}}$ D'ou

- Zones sismiques III
- Groupe d'usages 1B
- Coefficient d'amplification dynamique A = 0.3
- Coefficient de comportement R = 3.5
- Facteur de qualité Q = 1.2
- Coefficient de pondération de la charge d'exploitation $\beta = 0.3$
- Le pourcentage d'amortissement critique $\xi = 7$ %,

Avec

- W : Poids de la structure W=G+30%Q
- G : Poids dû à la charge permanente
- Q : Poids dû à la charge d'exploitation
- β : Coefficient de pondération
- Xg,Yg : Coordonnées du centre de gravité
- Xr,Yr : Coordonnées du centre de rigidité
- eX, eY : Excentricité théorique entre le centre de gravité et le centre de rigidité.

Les figures 47& 48 et 49 ci-dessous illustrent quelques vues de la structure sous Robo Bat

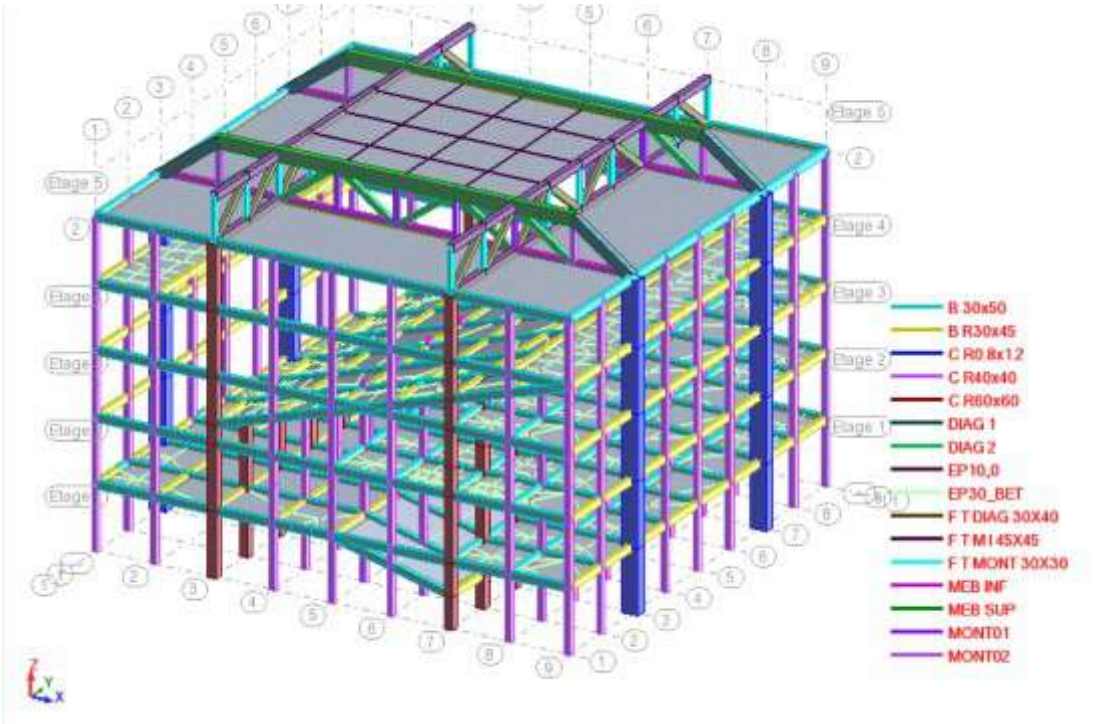


Figure 47 : vue tri Dimensionnelle de la structure

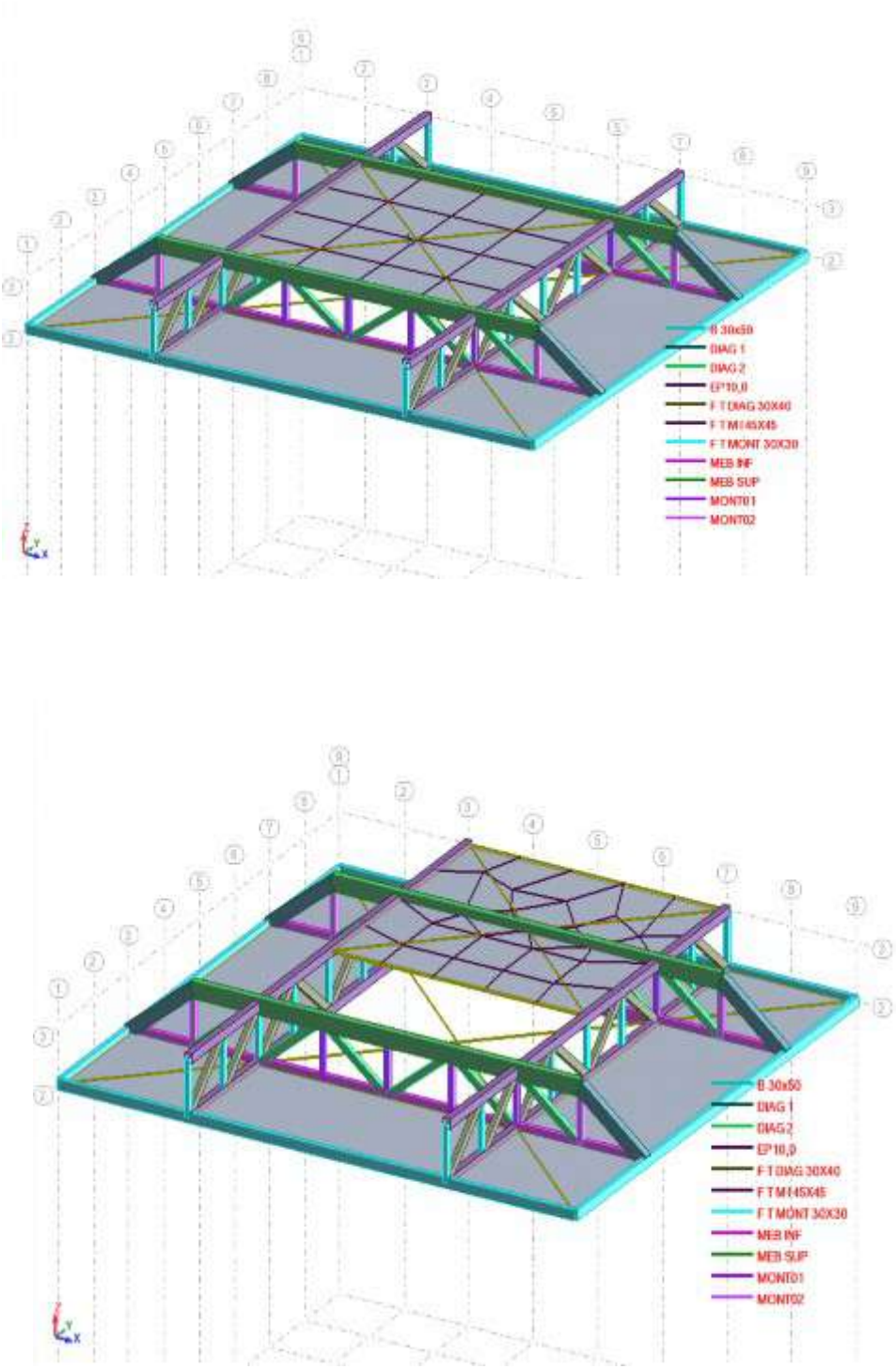
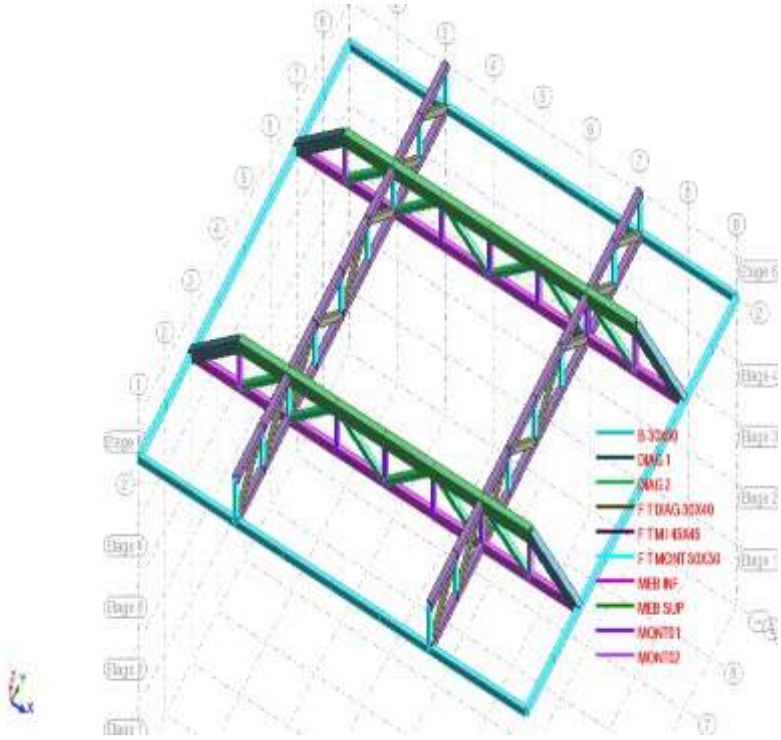


Figure 48 : Différentes Position Du Toit Ouvrant



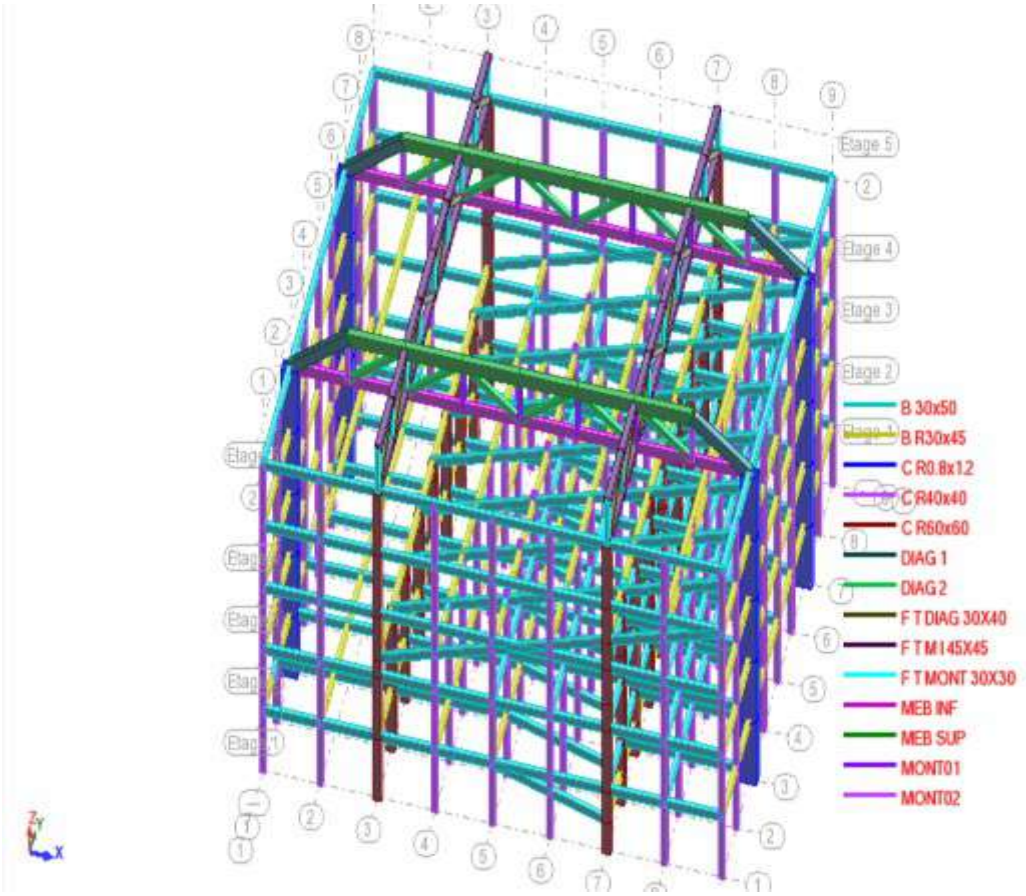


Figure 49: vues sur la structure poteaux poutres +fermes.

D. Résultats et Interprétation :

1. Caractéristiques géométriques de la structure : le Centre des masses et le Centre de torsion de chaque étage de la structure sont données dans le tableau suivant **: Tableau 13**:

Tableau 13 : poids de la structure Centre des masses et Centre de torsion de chaque étage.

Etage	W[kN]	Xg [m]	Yg [m]	Xr [m]	Yr [m]	eX [m]	eY [m]
RDC	6830,62	21,07	16	18,74	16	2,33	0
1er étage	11468,83	18,74	16	17,25	16	1,49	0
2er étage	11468,83	17,39	15,93	9,87	27;85	7,53	11,92
3er étage	6484,57	19,76	16,36	9,61	16	10,15	0,36
4er étage	3250,26	21,54	15,88	17	16	4,54	0,12
5er étage	3477,69	17	16	17	16	0	0
Total	39503,10						

Avec :

- Xg,Yg : Coordonnées du centre de gravité
- Xr,Yr : Coordonnées du centre de rigidité
- eX, eY : Excentricité théorique entre le centre de gravité et le centre de rigidité.
-

2. Calcul de l'excentricité théorique et accidentelle (Vérification du RPA 2003 selon l'article 4.2.7 et 4.3.7).

L'excentricité est la distance entre le centre de graviter des masses et le centre de torsion, Donnée par les formules suivantes : Pour toutes les structures comportant des planchers ou diaphragmes horizontaux rigides dans leurs plan, RPA99/Version2003 (art 4.3.7) préconise de prendre en compte à chaque niveau et dans chaque direction une excentricité accidentelle par rapport au centre de torsion égale à la plus grandes des deux valeurs suivantes : 5% de la plus grande dimension du bâtiment à chaque niveau (cette excentricité doit êtres prise de part et d'autre du centre de torsion). Excentricité théorique résultant des plans.

• l'excentricité théorique : c'est celle calculée précédemment

$ex = |X_{cm} - X_{ct}|$

$ey = |Y_{cm} - Y_{ct}|$

• l'excentricité accidentelle : Fixée par le RPA 99/Version 2003 à : 5% L.

Sens X ex = 0.05 Lx (Lx= 34,80 m).

Sens Y ey = 0.05 Ly (Ly=31,50 m).

Les données sont ventilées sur le tableau suivant : **Tableau14**

Tableau 14 : Excentricité théorique et accidentelle.

Diaphragme	Excentricité théorique		Excentricité accidentelle		Excentricité totale		OBS
	ex th(m)	ey th(m)	ex ac(m)	ey ac(m)	ex (m)	ey (m)	
RDC	2,33	0	1,74	1,575	4,07	1,575	
1er étage	1,49	0	1,74	1,575	3,23	1,575	
2er étage	7,53	11,92	1,74	1,575	9,27	13,495	
3er étage	10,15	0,36	1,74	1,575	11,89	1,935	
4er étage	4,54	0,12	1,74	1,575	6,28	1,695	
5er étage	0	0	1,74	1,575	1,74	1,575	

L'excentricité excessive est due à la présence des tribunes sur la partie gauche de la structure.

3. **Valeur des modes propres :** Le tableau suivant **(Tableau 15)** résume toutes les données relatives aux périodes et participations massiques de tous les modes

Tableau 15: Périodes et participations massiques

Mode	**Période**	**UX**	**UY**	**SumUX**	**SumUY**
1	0,30	0,00	84,25	0,00	84,25
2	0,25	0,07	0,60	0,07	84,85
3	0,25	87,29	0,00	87,36	84,85
4	0,13	0,00	7,13	87,36	91,98
5	0,10	4,63	0,00	91,98	91,98
6	0,10	0,00	0,23	91,98	92,22
7	0,10	0,00	0,00	91,98	92,22
8	0,10	0,00	0,00	91,98	92,22

Vérification du RPA 2003 selon l'article 4.3.4 et 4.3.7

- ✓ le premier et le troisième mode correspondent à des translations horizontales (vers l'axe des x et axe des y) or que le deuxième mode est caractérisé par une rotation d'axe verticale, indiquant qu'il s'agit d'une structure irrégulière.
- ✓ L'irrégularité est due de la disposition des gradins.
- ✓ selon l'article 4.3.4 du RPA 2003 la somme des masses modales effectives doit atteindre les 90% **cette condition est vérifiée**.

4. **Effort tranchant à la base selon la méthode dynamique :**

L'effort sismique à la base calculé par la méthode dynamique est donné par le tableau suivant (**Tableau 16)** :

Tableau 16 : Effort tranchant à la base selon méthode dynamique

Désignations	FX [kN]	FY [kN]	FZ [kN]	MX [kNm]	MY [kNm]	MZ [kNm]
Cas	E_X					
Somme totale	17629,25	186,89	17239,13	213,93	28849,58	39,32
Cas	E_Y					
Somme totale	1233,71	17094,71	18707,35	26419,25	1916,89	179,67

Avec :

Ex(**Vdynx)**; Ey(**Vdyny)** : Effort tranchant dans chaque étage

Fx ; Fy : Forces pseudo statique dans chaque étage

Donc l'effort tranchant à la base a les valeurs suivantes :

D'où :

Vdynx = 17629,25 kN
Vdyny = 17094,71 kN

$$\frac{V(dy)}{V(st.eq)} \geq 80\%$$

La résultante des forces sismiques à la base V obtenue par la combinaison de la valeur modale ne doit pas être inferieure à 80% de la résultante des forces sismiques déterminée par la méthode statique équivalent (artic 4.3.6 RPA 99 VERS2003 selon la formule suivante :

$$\frac{V_x(dy)}{V_x(st.eq)} \geq 80\%$$

Avec :

V (dyn) : Effort tranchant à la base calculé par la méthode dynamique

V (st.eq) : Effort tranchant à la base calculé par la méthode statique équivalente ;

On a :

Vxstat =8625 .73**kN**
Vystat = 8343,98**kN**

et

Vdynx = 17629,25 kN
Vdvnv = 17094.71 kN

Donc on aura:

Sens Ox $\frac{V_x(dy)}{V_x(st.eq)} = 17629;25/8625 = 204\% \geq 80\%$ **Condition vérifiée**

Sens Oy $\frac{V_y(dy)}{V_y(st.eq)} = 204\% \geq 80\%$ **Condition vérifiée**

5. Vérification des déplacements relatifs entre étage (art 5.10 du RPA version 2003):

- Calcul des déplacements selon (art 4.4.3 du RPA version 2003):
  - le déplacement horizontal est calculé selon le tableau suivant **(Tableau 17) :**

Tableau 17 : Déplacements du aux efforts sismiques.

$\delta_k = R.\delta_{ek}$ **R=3.5**

Etage	Combinaison	$\delta_k x$ [cm]	$\delta_k y$ [cm]	$\delta_{ek} x$ [cm]	$\delta e_k y$ [cm]
RDC	G+Q+1.2E	0,24	0,23	0,85	0,80
1er étage		0,30	0,29	1,05	1,00
2em étage		0,39	0,36	1,35	1,25
3em étage		0,41	0,46	1,45	1,60
4em étage		0,50	0,57	1,75	2,00
5em étage		0,57	0,63	2,00	2,20

Avec :

δ_k : Déplacement

δ_{ek} : déplacement dû aux forces sismiques **Fi** (y compris l'effet de torsion)

R =3.5 : Coefficient de comportement

- Les déplacements relatifs latéraux d'un étage par rapport aux étages qui lui sont adjacents, ne doivent pas dépasser 1.0% de la hauteur de l'étage **(voir tableau 18).**

Tableau 18 : Déplacement inter étage

Comb	*Etage*	*Ux [cm]*	*Uy [cm]*	*δUx [cm]*	*δUy [cm]*	*1% Hi [cm]*
G+Q+1.2 E ET/OU	RDC	0,85	0,80	0,85	0,80	3,57
	1er étage	1,05	1,00	0,20	0,20	5,43
	2em étage	1,35	1,25	0,30	0,25	5,00
	3em étage	1,45	1,60	0,10	0,35	5,00
	4em étage	1,75	2,00	0,30	0,40	5,00
	5em étage	2,00	2,20	0,25	0,20	5,00

- Les effets du 2° ordre (ou effet P-Δ) peuvent être négligés dans le cas des bâtiments si la condition suivante est satisfaite à tous les niveaux [art 5.9]

$$\theta = P_k \, \Delta_k / V_k \, h_k \leq 0.10$$

Avec :

Pk: Poids total de la structure et des charges d'exploitation associées au dessus du niveau «k»

δk: Déplacement relatif du niveau «k» par rapport au niveau «k-1 »

Vkx.y Effort tranchant d'étage au niveau «k»

hk /Hauteur de l'étage «k»

D'où, Les résultats de l'effet (P-Δ) sont récapitulés dans le tableau suivant **(Tableau 19)** :

Tableau 19 : Effets Du 2° Ordre (Ou Effet P-Δ)

Etage	*Pk [Kn]*	*□kx [cm]*	*□ky [cm]*	*Vkx[Kn]*	*Vky[Kn]*	*hk [m]*	*□□x*	*□□y*
RDC	6830,62	0,85	0,80	8625,76	8343,98	357,00	0,003	0,043
1er étage	11468,82	0,20	0,20	8263,12	7993,18	543,00	0,002	0,006
2em étage	11468,82	0,30	0,25	6728,17	6508,38	500,00	0,002	0,007
3em étage	6484,57	0,10	0,35	4340,37	4198,58	500,00	0,000	0,018
4em étage	3250,25	0,30	0,40	2508,11	2426,18	400,00	0,000	0,042
5em étage	3477,6	0,25	0,20	1396,39	1350,77	400,00	0,001	0,020

<u>Condition vérifiée</u>

6. Vérification de l'équilibre d'ensemble : selon l'article 5.5 du RPA version 2003) :

La stabilité de la salle vis-à-vis des effets de renversements ou de glissement dus aux sollicitations résultats des combinaisons d'action sismique est calculée selon **Tableau 20** suivant :

Tableau 20 : Résultats de la vérification de l'équilibre d'ensemble.

SENS LONGITUDINAL

	G1 [KG]	L1	G2 [KG]	L2 [m]	G3 [KG]	L3	G4 [KG]	L4 [m]	G5 [KG]	L5 [m]	G6 [KG]	L6 [m]
G & L	6830,62	21,07	11468,8	18,74	11468,8	17,39	6484,57	19,76	3250,26	3250,3	3477,69	17
G X L	143 921,20		214 925,79		199 442,88		128 135,19		10 564 159,52		59 120,71	
∑ G *L kn,m	**745 545,76**											

	F1 [KN]	h1	F2 [KN]	h2 [m]	F3 [KN]	h3	F4 [KN]	h4 [m]	F5 [KN]	h5 [m]	F5 [KN]	h5 [m]
F&h	362,64	3,57	1534,95	5,43	2387,80	5	1832,26	5	1111,72	4	1396,39	4
F X h	1 294,62		8 334,78		11 939,00		9 161,30		4 446,88		5 585,56	
∑ F *h kn,m	36 315,26											
	∑ Gx *L x /∑ Fx *hx = 20,53 >1.5											

SENS transversal

	G1 [KG]	L1	G2 [KG]	L2 [m]	G3 [KG]	L3	G4 [KG]	L4 [m]	G5 [KG]	L5 [m]	G5 [KG]	L5 [m]
G & L	6830,62	16	11468,8	16	11468,8	15,93	6484,57	16,36	#REF!	3250,3	3477,69	16
G X L	109 289,94		183 501,21		182 698,39		106 087,64		#REF!		55 643,02	
∑ G *L kn,m	**637 220,20**											

	F1 [KN]	h1	F2 [KN]	h2 [m]	F3 [KN]	h3	F4 [KN]	h4 [m]	F5 [KN]	h5 [m]	F5 [KN]	h5 [m]
F&h	350,80	3,57	1484,80	5,43	2309,80	5	1772,40	5	1075,41	4	1350,77	4
F X h	1 252,36		8 062,46		11 549,00		8 862,00		4 301,64		5 403,08	
∑ F *h kn,m	35 128,90											
	∑ Gx *L x /∑ Fx *hx = 18,14 >1.5											

Condition vérifiée.

Avec :

- $M_r(y)$ et $M_r(x)$: Moment renversant dans les deux directions
- $M_s(y)$ et $M_s(x)$: Moment stabilisant dans les deux directions
- Fx et Fy : Forces pseudo statique dans chaque étage
- W : Poids de chaque plancher
- Xg et Yg : Coordonnées du centre de gravité de chaque étage
- fx et fy : Coéficient de sécurité

$$f = \frac{Ms}{Mr}$$

*Vérification du RPA 2003 selon l'article **art 5.5 du RPA version 2003):***

La stabilité d'ensemble soumis à des effets de renversements et : ou du glissement dus Aux sollicitations résultantes des combinaisons d'action citées précédemment **Donc Est assurée.**

7. Justification de la largeur des joints sismiques art 5.8 du RPA version 2003):

La largeur du joint sismique avec le bloc voisin en R+4 est calculée selon la méthode suivante

(Δ1+ **Δ**2)x R+15mm≥40mm ……..Sens longitudinal

(Δ1= 2.2 cm **Δ**2=1.7 cm

R=3.5 D'où (22+17)*3.5+15=151.5 mm

Vérification du RPA 2003 selon l'article ***art 5.8 du RPA version 2003):***

D'ou et Afin que cette formule soit satisfaite, on doit assurés un joint sismique de l'ordre de 20 cm.

8. Vérification des éléments de la structure (vérification de coffrage ferraillage des poteaux poutres et fermes en béton armé:

Nous présentons dans ce qui suit les résultats de certains portiques soient (**Figures 50 à 55)**

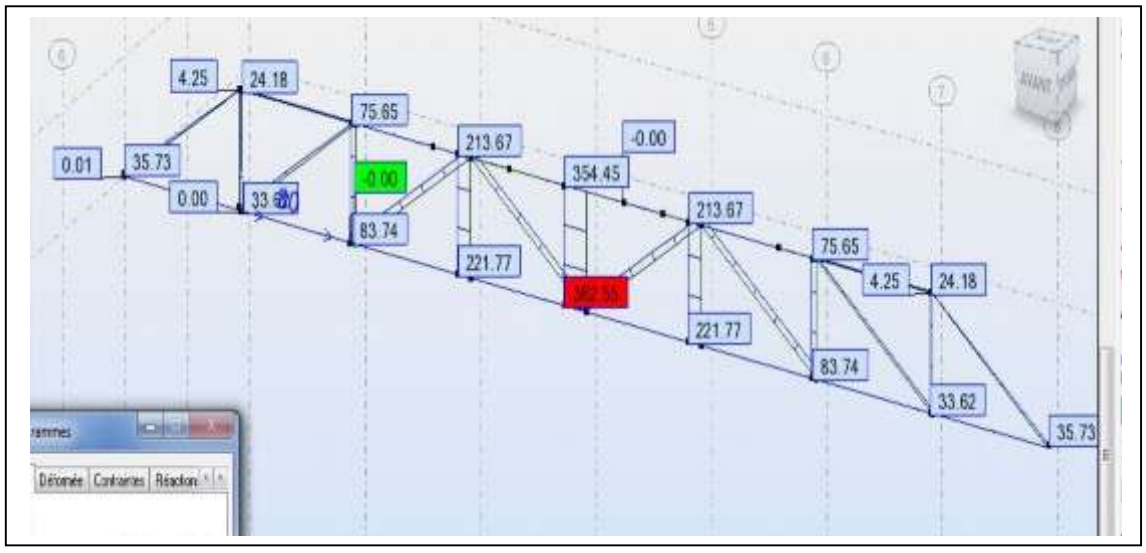


Figure 50 : Efforts normaux MAX sous ELU (résultats de ROBO BAT):



Figure 51 : Efforts tranchants max sous ELU (résultats de ROBO BAT):

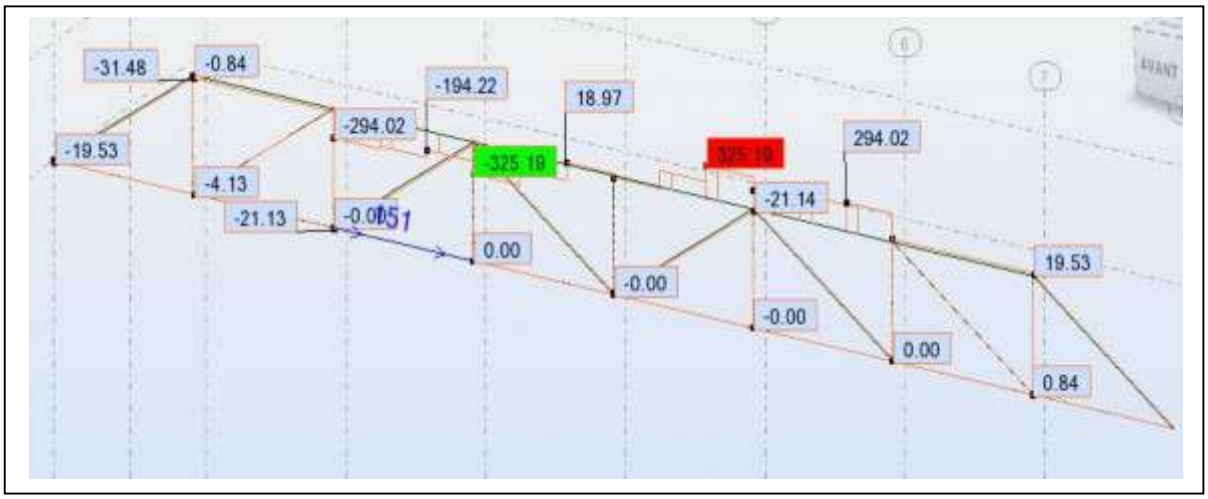


Figure 52 : Moments fléchissant Mx MAX sous ELU (résultats de ROBO BAT):

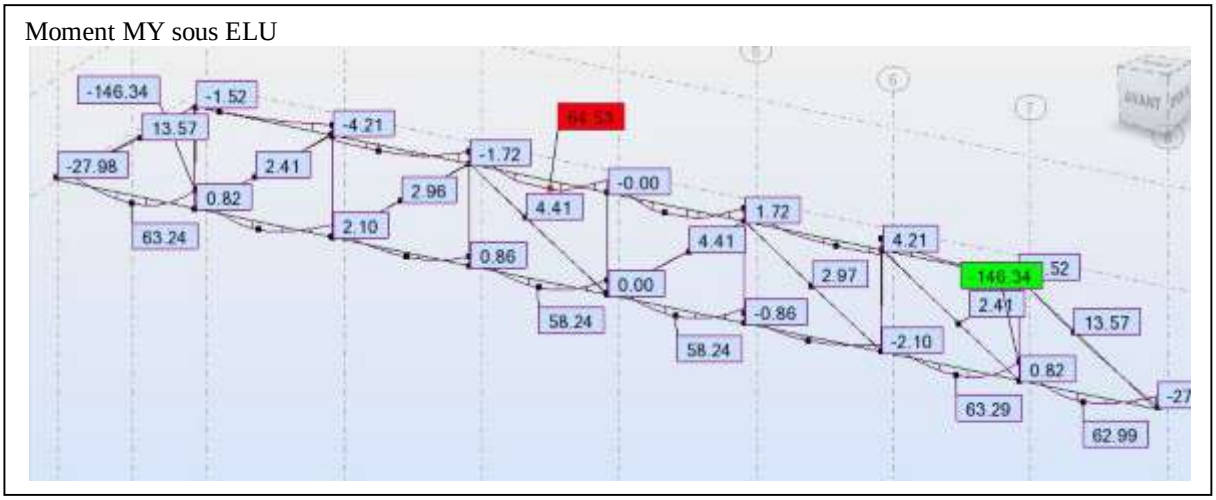


Figure 53 : Moments fléchissant My MAX sous ELU (résultats de ROBO BAT):

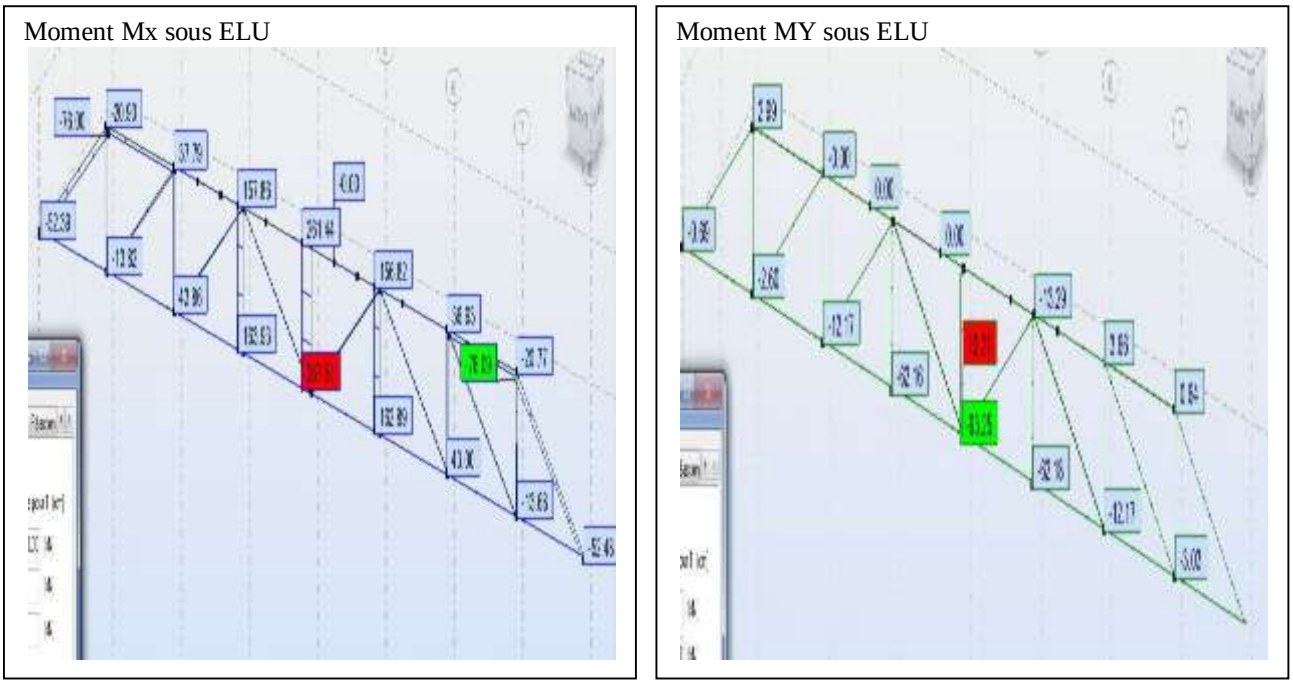
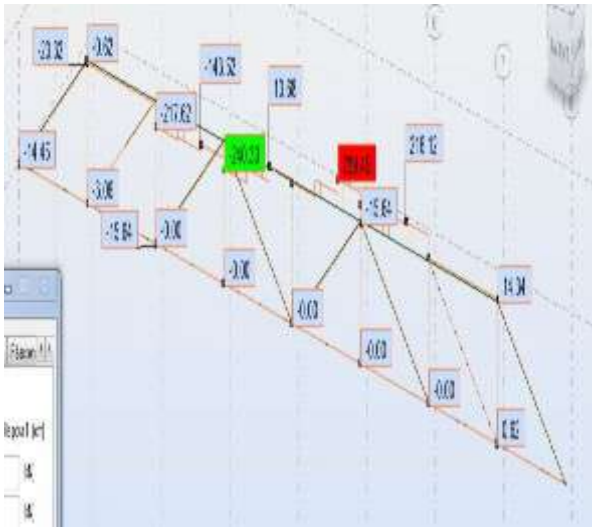


Figure 54 : Efforts normaux +tranchants max sous sollicitations accidentelles

(Résultats de ROBO BAT):

Moment Mx sous ELU



Moment MY sous ELU

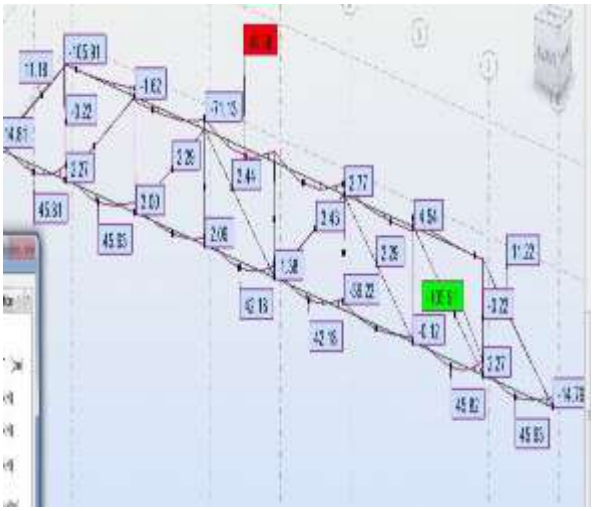


Figure 55 : Moments fléchissant Mx &My sous G+Q+EX, EY (résultats de ROBO BAT):

- **Vérification du ferraillage des éléments de la ferme** « diagonaux, montants et membrures » en flexion composée☹, Le tableau suivant **N°21** récapitule la vérification du ferraillage des éléments confortés.

Tableau 21 : Ferraillage des éléments confortés« Diagonaux, montants et Membrures»

N° /Etage	désignation Cm²	combo	P (kN)	M2 (kN m)	As calcul (cm²)	Nbre des barres Adopté par face	As Min RPA (cm²) Total 0.9%S	As TOTAL Adoptée (cm²)
Nmax, Mcorr	**35X45**	1.35G+1.5q	260,5	109	5,7	4T16+2T16	12	16T16
Mmax, Ncorr	Diagonal	G+q+1,2eX	207. 15	140.3	9,3	4T16+2T16		
Nmax, Mcorr	**30X30**	1.35G+1.5q	162,11	39	6	4T16	8.1	8T16
Mmax, Ncorr	montant	G+q+1,2eX	110.46	55	6	4T16		
Nmax, Mcorr	**35X60**	1.35G+1.5q	362,55	109	5,7	4T16+4T16	18.9	16T16
Mmax, Ncorr	membrures supérieure	G+q+1,2eX	267.51	240.3	13,3	4T16+4T16		

Avec :

- P : Effort normal
- M : Moment fléchissant
- Combo : Combinaison
- Ratio : Le rapport entre le ferraillage théorique et ferraillage résistant
- As (min) : Ferraillage minimale dans la section (0.9% de la section du béton)
- As (ad) : Ferraillage adopté.
-

Remarque : la vérification du ferraillage a été effectuée sur les éléments de la structure « existants et renforcés », sans tenir du ferraillage existant dans le noyau des éléments dégradés, on a été constaté selon ce qui précède que le nouveau ferraillage est suffisant.

IV. Processus de l'intervention (démarches effectuées):

En tenons compte de ce qui précède nous pouvons conclure ce qui suit:

Vu que l'ampleur des dégradations des éléments structuraux est variable, d'où notre intervention a été scindée en deux parties (figure illustrant les zones affectés **Figure 56**) :

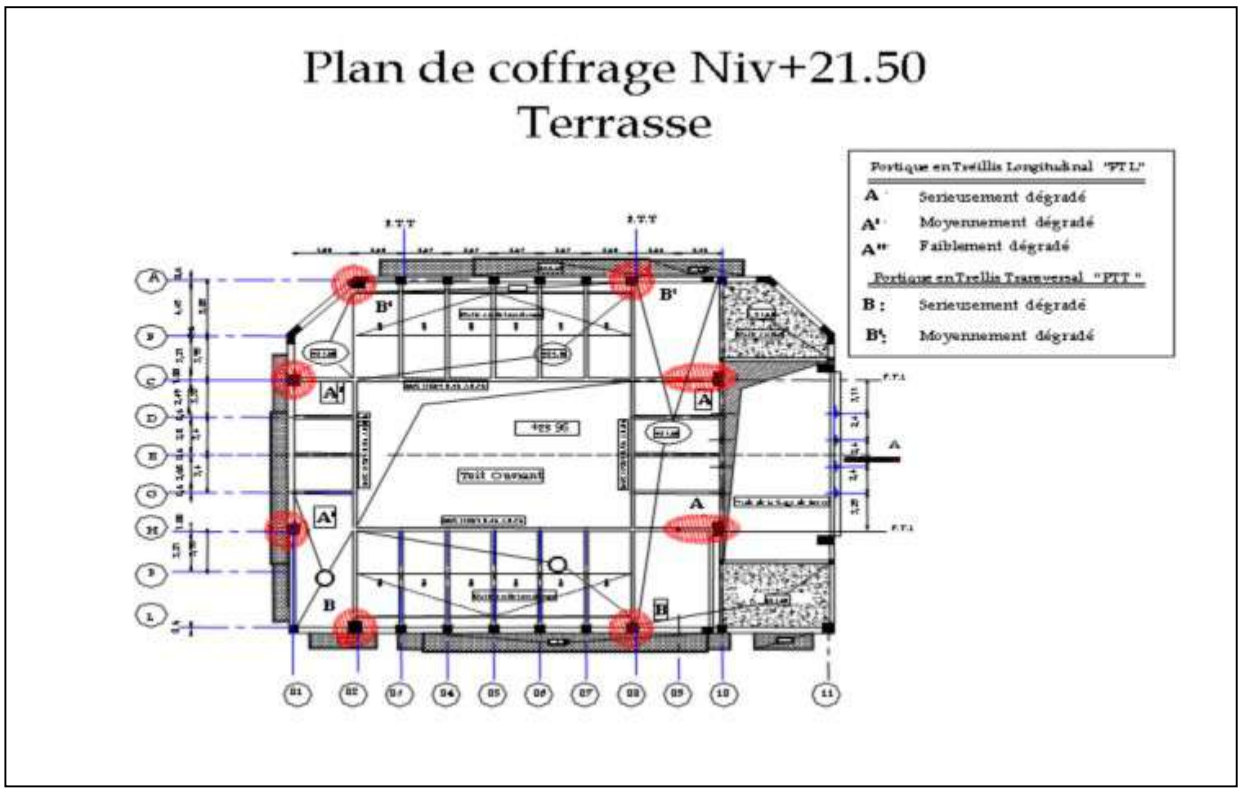


Figure 56 : illustration des zones affectées

A. **La premier partie relative au confortement par chemisages : C**oncerne les éléments fortement endommagés et marqués par disparation du béton de l'enrobage, réduction importante des sections de béton et des armatures, ce qui rend l'intervention sur la structure est très délicate, pour ce la nous proposons la méthodologie de l'intervention suivante : **Figure 57, 5, 59 et 60.**

Phase N° 1: **Interventions sur les portiques transversaux:**

L'intervention sur les éléments dégradés (Membrures inférieurs ou montants) des portiques transversaux, doit être effectuée par zones et par éléments indépendamment, et Il est strictement interdit d'intervenir sur deux éléments du même portique et la même zone.

Les différentes taches à réaliser par ordre sont les suivantes :

Tache N°1: Elimination en épaisseur : Cette opération consiste à dégarnir le béton dégradé, dans l'encombrement des aciers.

Tache N°2: Elimination de surfaces (sablage à sec) : Cette opération consiste à dégager le béton fissuré ou dégradé en surfaces avec sable synthétique agrées assurant une bonne préparation du béton et armature, avec utilisation des résines synthétiques.

Tache N°3: préparation des armatures : La préparation consiste à dégarnir la corrosion par brossage métallique jusqu'à l'apparition de la partie non corrodée, dés que les traces d'oxydation sont disparues, les armatures doivent recouvertes d'un produit anticorrosion compatible du point de vue chimique et mécanique avec les matériaux à mettre en œuvre.

Tache N°4: passivation des aciers **:** L'objectif de cette opération est d'enrober les aciers par application d'un produit (oxyde protecteur) de faible épaisseur, stable et non expansif.

Tache N°5:pose de coffrage et ferraillage : Les sections des armatures sont données sur les plans de détails.

Tache N°6:Résines d'accrochage : Les résines d'accrochage sous forme liquide sont utilisées pour assurer une meilleure adhérence entre l'ancien béton et le nouveau coulé

Tache N°7:coulage (béton de haute performance)

Le coulage sera fait à l'aide d'un béton dossé à 400 Kg/m3 mélangé de la résine de 60L/M3.

Tache N°08:Résines époxydiques : Les poutres légèrement fissurées, la résine est utilisée sous forme de liquide (mélange d'une base époxydique avec un accélérateur de durcissement d'adjuvant))

Phase N° 2 Intervention sur les portiques longitudinaux :

L'intervention est délicate sur les éléments dégradés en premier degré les diagonales et les nœuds et en deuxième degré les membrures inférieurs et les montants relatifs aux portiques longitudinaux. Cette intervention est basée principalement sur l'étayement de la structure avant intervention, pour ce faire, il y a lieu de suivre les étapes et les différentes taches suivantes:

Tache N°1: Création d'un soutènement de treillis en béton armé :

Afin d'éviter tout imprévu par le déchargement des éléments concernées par le renforcement notamment les zones nodales (nœuds) lors de l'intervention, il y a lieu de créer une structure triangulaire en béton armé qui s'appuis sur le poteau d'une part, et la membrure supérieure et la membrure inférieure du portique transversal d'autres part.

Tache N°2: élimination en épaisseur : Cette opération consiste à dégarnir le béton dégradé, dans l'encombrement des aciers.

Tache N°3: Elimination de surfaces (sablage à sec) : Cette opération consiste à dégager le béton fissuré ou dégradé en surfaces avec sable synthétique agrées assurant une bonne préparation des bétons et armatures, avec utilisation des résines synthétiques.

Tache N°4: passivation des aciers : L'objectif de cette opération est d'enrober les aciers par application d'un produit (oxyde protecteur) de faible épaisseur, stable et non expansif.

Tache N°5: préparation des armatures : La préparation consiste à dégarnir la corrosion par brossage métallique jusqu'à l'apparition de la partie non corrodée, dés que les traces d'oxydation ont disparu, les armatures doivent être recouvertes d'un produit anticorrosion compatible du point de vue chimique et mécanique avec les matériaux à mettre en œuvre.

Tache N°6: Pose de coffrage et ferraillage

Les sections des armatures sont données sur les plans de détails.

Tache N°7:Résines d'accrochage: Les résines d'accrochage sous forme liquide sont utilisées pour assurer une meilleure adhérence entre l'ancien béton et le nouveau coulé.

Tache N°8:coulage du béton de haute performance : Le coulage sera fait à l'aide d'un béton dosé à 400 Kg/m3 mélangé de la résine de 60L/M3.

Tache N°9:Le Tissu de fibre de carbone **TFC** : Ce composite est constitué d'un tissu, de longueur et de largeur variables, se présentant sous forme de fibre de carbone tissées entres elles, par une matrice à base de résine, leur utilisation nécessitent une préparation bien soignée des surfaces à coller.

La mise en ouvre comprend le découpage, l'application de la colle époxydique de fermeture et le placage avec une simple pression manuelle.

Afin de résister aux efforts développés pendant la phase de confortement, on utilise des plaques de 80 mm de largeur avec une bonne préparation des bétons et armatures, et résines synthétiques.

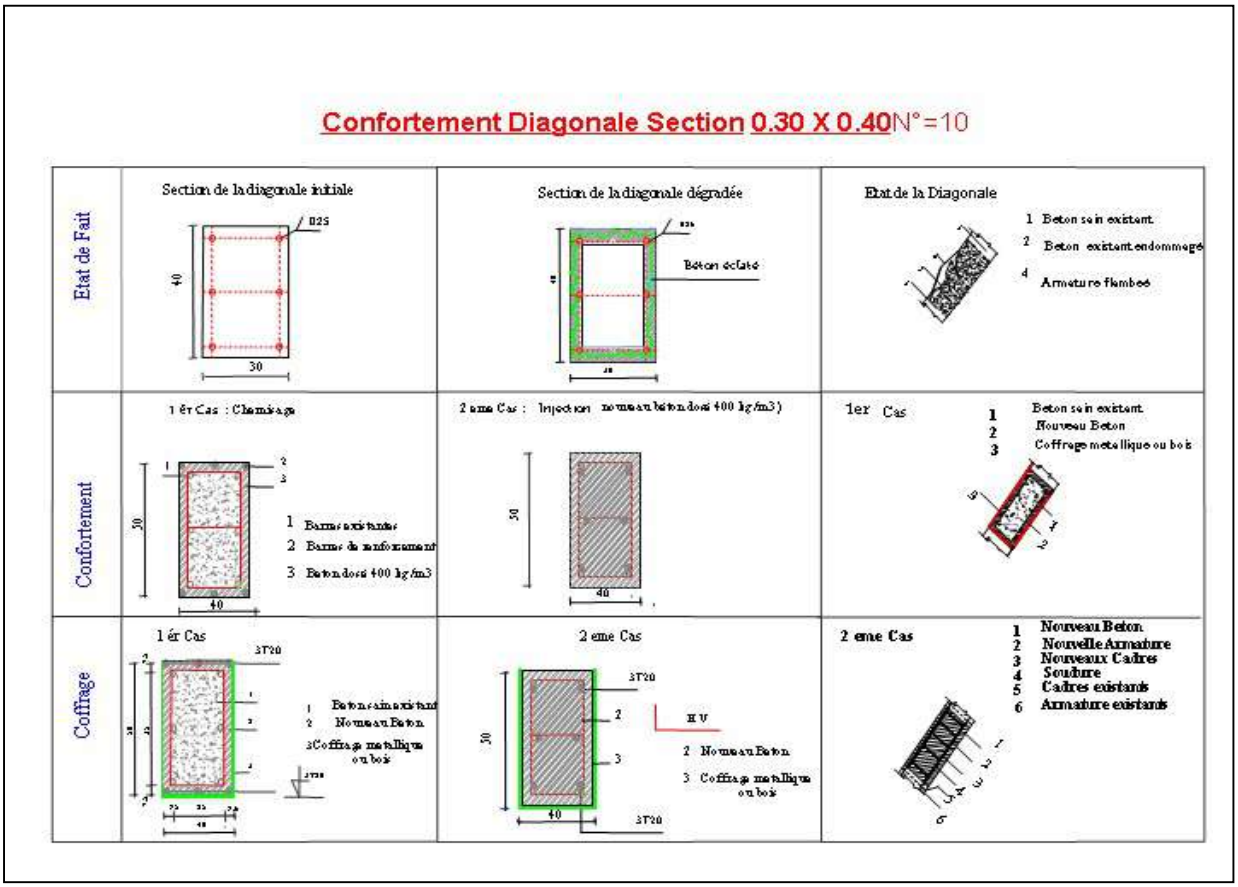


Figure 57 : Détails de Confortement du diagonal :

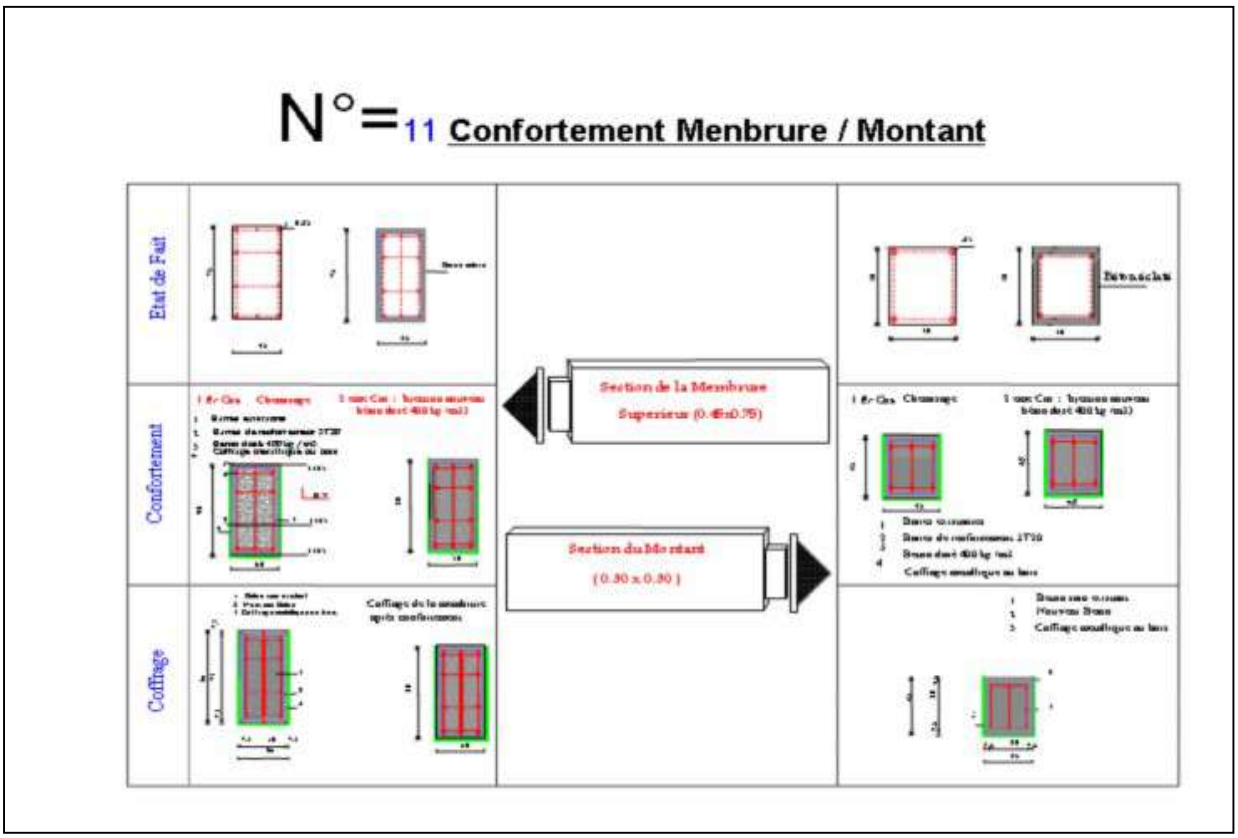


Figure 58 : Détails de Confortement de la membrure supérieure et montant

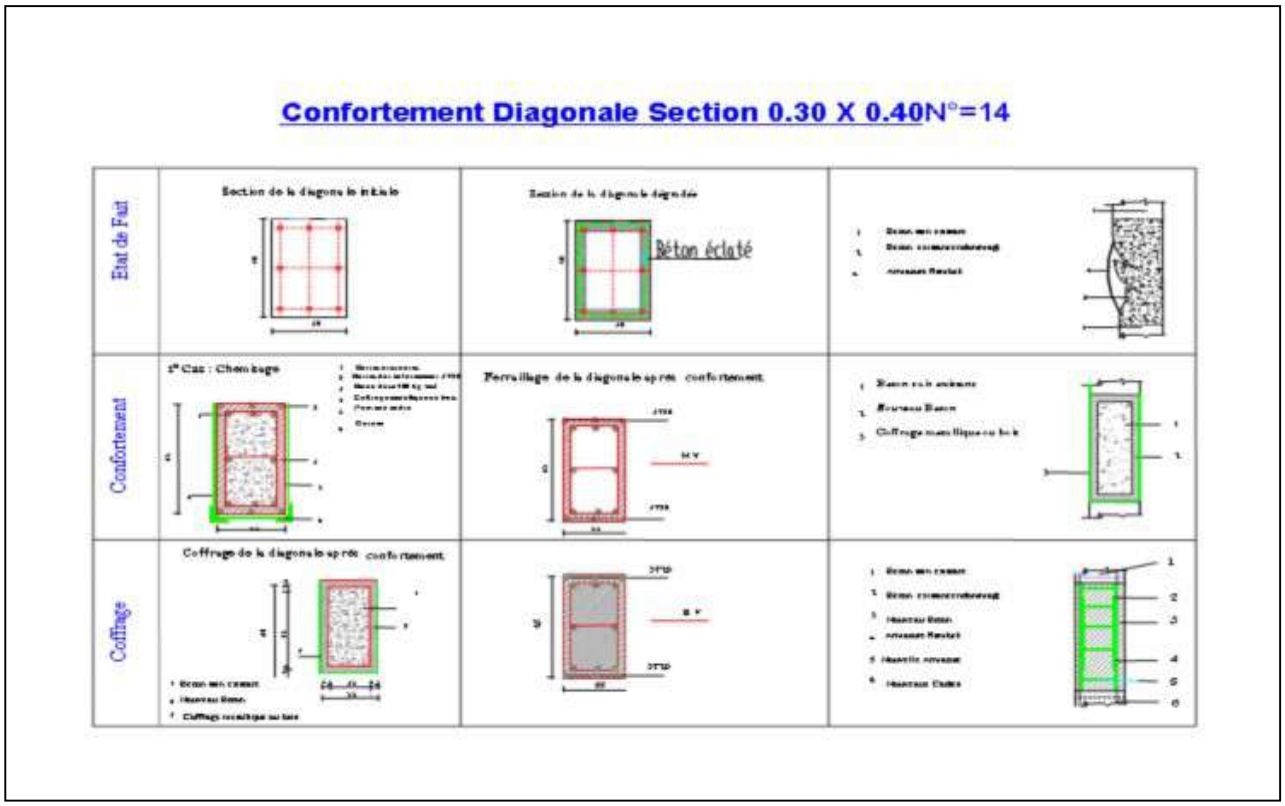


Figure 59 : Détails de Confortement du diagonal 30X40

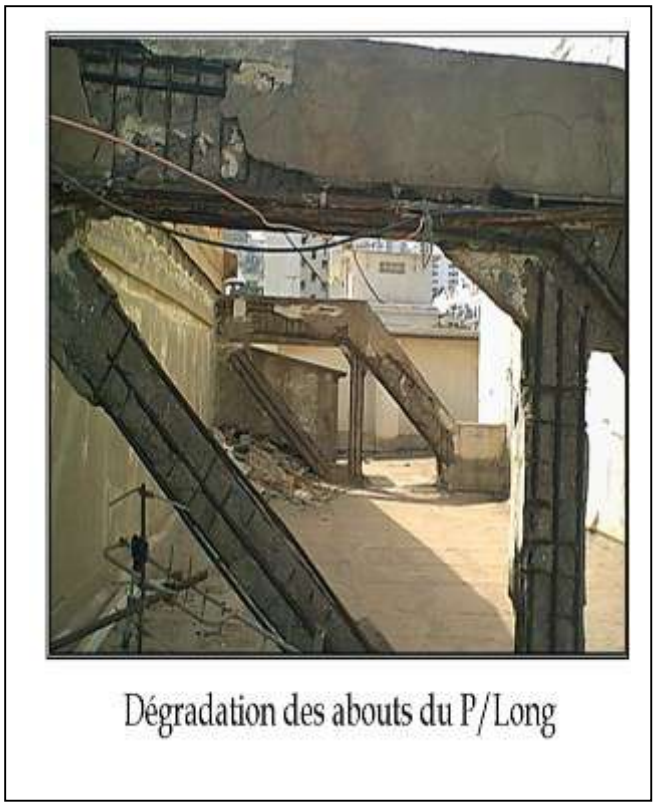




Figure 60: vue sur les diagonales ; montant et membrure supérieure avant et après intervention

B. La Deuxième partie relative aux éléments moyennent à faiblement touchés :

Elle consiste au traitement de la corrosion qui sera la même pour les diagonales, montants, membrure, planchers et gradins dalles pleines et poutre de roulement.

Le but de la réparation de la corrosion est d'arrêter le phénomène de dégradation et de réduire les attaques des agents agressifs externes. En plus, une meilleure durabilité sera assurée et la durée de vie de l'ouvrage sera prolongée. Le traitement du béton **effectué selon figures 61 et 62 (et en annexes format A3)** consiste à :

- ✓ Piquer le béton sur toute la surface concernée par la corrosion. C'est-à-dire découvrir les aciers corrodés sur toute leur longueur tout en dégageant au minimum 100 mm d'armature saine.
- ✓ En raison de la présence d'ions chlorés, il faudra décaper le béton jusqu'à 20 mm au moins derrière l'armature.
- ✓ Les aciers corrodés doivent être sablés ou brossés à la brosse métallique sur toute la longueur corrodée ;
- ✓ Si la barre d'acier est atteinte au-delà de 30 % de sa section, procéder à son remplacement, en respectant le recouvrement des barres ;
- ✓ Eliminer les éclats de béton et les parties douteuses.
- ✓ La surface du béton doit être régulière et bien nettoyée au jet d'eau de tout débris, salissures ou poussières ;
- ✓ Appliquer par un pinceau d'un inhibiteur de corrosion de type **SIKA MONOTOP 610C** ou équivalent [27]
- ✓ L'enrobage des armatures doit être reconstitué pour donner un enrobage minimal de 3 cm et assurer une meilleure pérennité et une durée de vie importante à l'ouvrage.
- ✓ La reconstitution de l'enrobage se fera par application d'un mortier de réparation prêt à l'emploi et à base *d'un liant hydraulique mono composant type* ***SIKA REP 3SR ou SIKAMONOTOP 650DZ*** *ou équivalent conforme à la norme EN° 1504-3 type R4 ;* [28]
- ✓ Après serrage et lissage à la taloche, appliquer une cure humide pendant au moins trois jours pour éviter la fissuration du mortier de réparation ;
- ✓ Un traitement global des surfaces traitées et non traitées est recommandé pour protéger le béton de la corrosion. Le traitement assurera aussi la pérennité des éléments structuraux et allongera la durée de vie de l'ouvrage. Le traitement consiste en l'application d'une couche de protection en mortier à base de résine type **SIKATOP 107** ou **SIKAGARD 680S-BETONCOLOR.** [29] Cette protection permet de protéger le béton contre les agressions atmosphériques.

- **Traitement des ségrégations des poutres :**

Les ségrégations superficielles et profondes observées à la partie basse sont à traiter. Les ségrégations superficielles sont à traiter, après piquage et nettoyage, par un mortier de réparation prêt à l'emploi type **SIKAMOMOTOP 650DZ** ou équivalent. Les ségrégations profondes des poutres doivent être traitées par injection d'une résine époxydique type **SIKADUR 52 INJECTION** ou équivalent. [30]

Conclusion :Après analyse et vérification des normes en vigueurs des différents résultats du calcul sismique selon la méthode dynamique, et la vésication de l'effort tranchant à la base à l'aide de la méthode statique équivalente ,nous pouvons conclure que la structure après confortement sera stable vis-à-vis des charges permanentes et accidentelles.

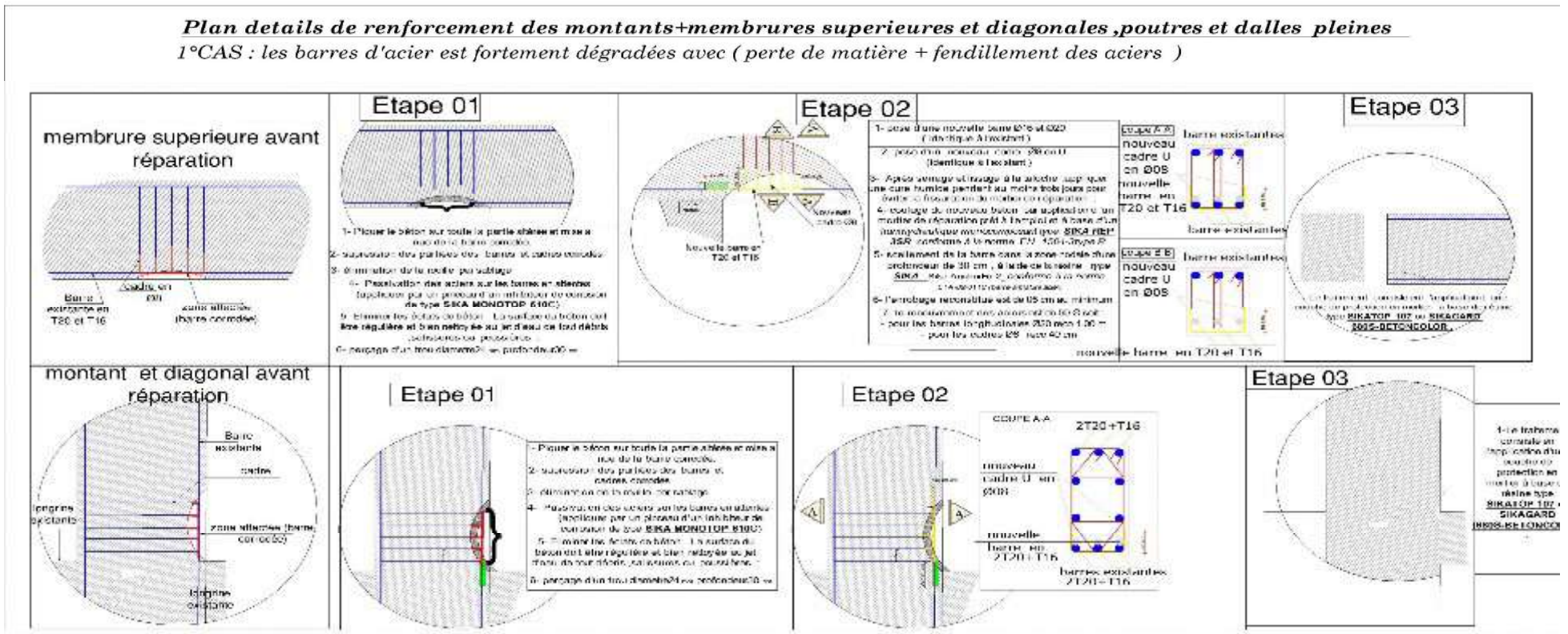


Figure 61 : détail de renforcement *1°CAS : Barres d'acier fortement corrodées (voir format A3 en annexe).*

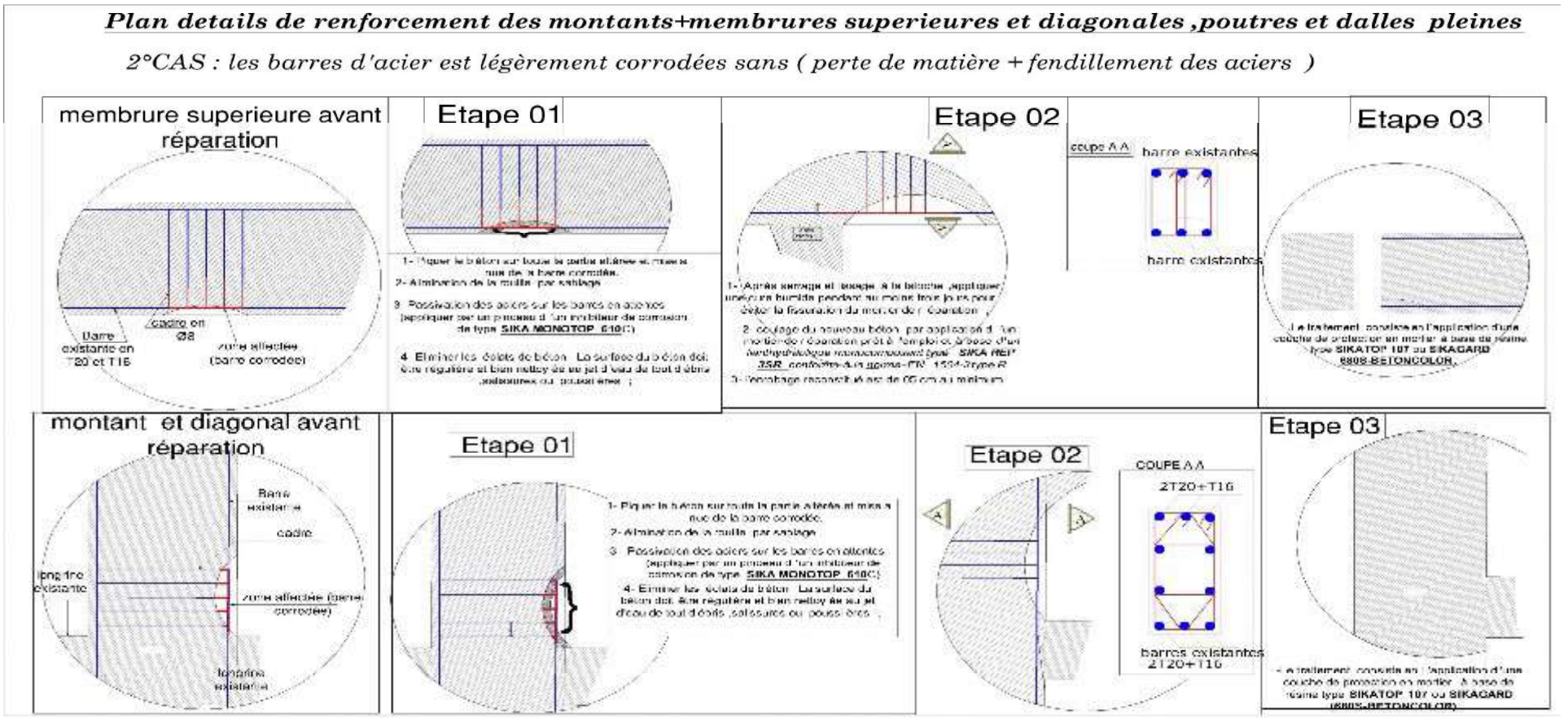


Figure 62 : détail de renforcement *2°CAS : Barres d'acier légèrement corrodées (voir format A3 en annexe)* .

Conclusion générale

Après avoir confirmé que la structure en béton armé n'est pas seulement menacée par les charges qui lui sont appliquées, mais aussi par l'environnement dans lequel elle est construite. Pour que cet environnement ne nuise pas à la structure on doit :

1. Prendre soin du béton et l'entretenir systématiquement notamment les éléments de la structure exposées aux conditions climatiques des milieux agressifs, tels que les eaux de mer ou les piscines etc.., et s'intéresser aux nouvelles pathologies et de ne pas les négligées.
2. Confie la mission de diagnostic aux experts dans le domaine et chercher toujours les nouvelles méthodes pour les diagnostiquer.et de réparer dans l'immédiat le cas pathologie. Et récolter le maximum des pièces écrites et graphiques relatives à l'ouvrage concerné.
3. Effectuer des essais non destructifs, et destructifs s'il s'avère nécessaire ainsi que les analyses physique et chimique sur le béton et les aciers in situ pour éliminer tous doutes ou ambigüité liées aux matériaux.
4. Opter a des solutions réalisables inspirées de la nouvelle technologie et Argumenter les démarches de renforcement par des hypothèses de calcul conformément à la réglementation en vigueurs, tout en engageant des vérifications suffisantes afin d'éviter tout risque lors de la réalisation.
5. Confier la mission du suivi et contrôle des travaux a un bureau d'études spécialiste dans le domaine de renforcement.
6. Les travaux de réparation ou renforcement nécessitent également une entreprise spécialisée. Des précautions sont à prendre lors de la réalisation des travaux pour assurer la sécurité des usagers et des ouvriers sur chantiers. Parmi les mesures recommandées nous citons à titre indicatif :
   - L'entreprise devra procéder à la mise en place de filets de protection et un étayage Adéquat des zones à traiter.
   - Le piquage des zones corrodées produira de la poussière et l'entreprise doit prendre les Mesures pour minimiser la quantité de poussière.
   - Le piquage produira une nuisance sonore et un choix judicieux des équipements de Piquage est à prévoir.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Références bibliographique

[01] SAID AISSA Kahina. Devenir du patrimoine colonial dans le cadre d'un projet de réhabilitation urbaine : cas du quartier Belouizdez-Hamma. Alger. Mémoire de magistère. Mars 2012. Université de Tizi-Ouzou. P. 1. Dupliqué par :Aklil Anissa ; Achiou Lydia dans le cadre d'un projet, Les pathologies structurelles et humides dans le vieux bâti :cas de l'ancienne ville de Bejaïa, Mémoire pour l'obtention du diplôme de Master II (2013 – 2014) Université de Bejaia.

[02]Yves Baret. Traiter l'humidité. Edition Eyrolles. Février 2011.

[03]Jean et Laurent COIGNET. La maison ancienne. Construction, diagnostic, interventions.

[04] Bouzetine Kamel, caractérisation de la pierre de taille de la casbah de Dellys et moyens De préservation, février **2009.**

[05] Réhabilitation des ouvrages en béton armé Mémoire de fin d'études par Nabila BOUALLA Université des Sciences et de la technologie d'Oran - License 2011

[06] Raymond Collombet, l'humidité des bâtiments anciens, p40

[07] R.Collombet, Ope, Cite, p43

[08] Ernst neufert, les éléments des projets de construction, p248

[09] (Réparation et protection des ouvrages en béton (bâtiment et génie civil))

[10] ITMAIZIH Ehab. Dans le cadre du projet : pathologie des structures en Béton armé. Mémoire de Master Académique. 2015/2016. Université de Tébessa.

[11] La corrosion - C. CARDE - Béton[s] magazine

[12] Durabilité des ouvrages en béton

[13] MATIERE (Le retrait des bétons) [Christophe Carde, directeur technique du

[14] http://www.memoireonline.com/07/12/6023/m_Rehabilitation-des-ouvrages-en-betonarme6.html.

[15] http://www.memoireonline.com/07/12/6023/Rehabilitation-des-ouvrages-en-beton arme.html

[16] Essais Non Destructifs Du Béton

[17] Ngoc Tan Nguyen. Evaluation non destructive des structures en béton arme : étude de la Variabilité spatiale et de la combinaison des techniques. Autre [cond-mat.other]. Université de Bordeaux, 2014. Français.

[18] http://www.memoireonline.com/07/12/6023/m_Rehabilitation-des-ouvrages-en-betonarme11.html.

[19] Projet de Fin d'Etudes. Réhabilitation d'ouvrages en béton armé Du diagnostic au confortement (Lorry-Alan MOALIC, élève ingénieur de 5ème année)

[20] : Support graphique du projet récupère du Bureau d'étude IBRIR MOHAMED.

[21] : Document Technique Réglementaire Algérienne D.T.R-C-2-47 ; REGLEMENT NEIGE ET VENT « RNV 99 », 1999.

[22] : Document Technique Réglementaire Algérienne D.T.R-BC-2-48 ; Règles parasismiques algériennes « RPA 99/ VERSION 2003 ». Par le centre national algérien de recherche appliquée en génie parasismique, 2003.

[23] DTR B.C 2.331 (Règle de calcul des fondations superficielles).

[24] : Document Technique Réglementaire Algérienne D.T.R-BC-2-41 ; Règles de conception et de calcul des structures en béton arme « CBA 93 ».

Par le centre national algérien de recherche appliquée en génie parasismique, 1993.

[25] : Document Technique Réglementaire Algérienne D.T.R-BC-2.2 ; Charge Permanente Et Charge D'exploitation « Bael91 », 1991.

[26] Logiciel de calcul et vérification Robo Bat

[27]. Inhibiteur de corrosion des aciers *SIKAMONOTOP 610 AC*

[28]. Mortier de réparation pret a l'emploi mono composant *SIKAONOTOP 650DZ OU SIKA REP 3SR*

[29] Traitement de protection *SIKATOP 107 PROTECTION OU SIKAGARD 680S-BETONCOLOR*

[30]. Traitement de la ségrégation profonde SIKADUR 52 INJECTION

[31] Résultat de l'auscultation dynamique sclérométrique des éléments renforcés (aprés chemisage) récuperé du BET chargé de confortement

[32] Tableau récapitulatifs du Résultat de l'étude de composition du béton récuperée au prés du BET chargé de confortement

ANNEXES

RESULTATS DE BETON

AUSCULTATION SCLEROMETRIQUE

Date d'Essai : 05/05/2018

Chantier : SALLE ATLAS-BAB EL OUED -ALGER
client :
Age de Béton : +40 ans
Partie de l'ouvrage : BETON TOUCHE' PAR SE'GRE'GATION

Elément Testes	Indice			Wmax Resistance			Wmin Resistance			Moy - Wmax	Moy - Wmin	Ecart Type	Coef de Variance	W Nominale (En Bars) Cube	W Nominale (En Bars) Cylindre
ELEMENT 01	30	28	30	241	210	241	178	149	178	229,44	167	30,48	13,29	205	174
	30	30	25	241	241	166	178	178	110						
	32	30	28	274	241	210	209	178	149						
ELEMENT 02	36	30	39	342	241	395	273	178	324	257,89	194	71,93	27,89	200	170
	30	27	28	241	195	210	178	135	149						
	31	32	25	257	274	166	193	209	110						
ELEMENT 03	30	25	26	241	166	180	178	110	122	192,33	134	32,35	16,82	166	141
	26	24	28	180	152	210	122	98	149						
	25	27	30	166	195	241	110	135	178						
ELEMENT 04	28	26	28	210	180	210	149	122	149	217,11	156	24,50	11,28	198	168
	30	31	30	241	257	241	178	193	178						
	28	27	28	210	195	210	149	135	149						
ELEMENT 05	35	30	31	324	241	257	256	178	193	228,33	167	47,99	21,02	190	161
	25	25	29	166	166	225	110	110	163						
	28	29	30	210	225	241	149	163	178						
ELEMENT 06	32	30	31	274	241	257	209	178	193	241,56	179	27,43	11,36	220	187
	27	28	29	195	210	225	135	149	163						
	30	31	32	241	257	274	178	193	209						
ELEMENT 07	27	28	25	195	210	166	135	149	110	217,56	156	33,80	15,54	191	162
	28	27	28	210	195	210	149	135	149						
	30	31	32	241	257	274	178	193	209						
ELEMENT 08	25	29	25	166	225	166	110	163	110	210,56	150	31,05	14,75	186	158
	28	27	28	210	195	210	149	135	149						
	30	31	29	241	257	225	178	193	163						
ELEMENT 09	27	28	30	195	210	241	135	149	178	239,67	177	24,14	10,07	220	187
	30	31	32	241	257	274	178	193	209						
	31	30	30	257	241	241	193	178	178						
ELEMENT 10	37	39	38	360	395	377	290	324	307	287,56	222	82,28	28.62	222	188
	28	28	37	210	210	360	149	149	290						
	28	29	30	210	225	241	149	163	178						
ELEMENT 11	31	32	28	257	274	210	193	209	149	218,00	157	42,46	19,48	184	156
	28	25	27	210	166	195	149	110	135						
	24	30	31	152	241	257	98	178	193						
ELEMENT12	29	28	30	225	210	241	163	149	178	212,11	151	28,81	13,58	189	161
	29	28	31	225	210	257	163	149	193						
	25	27	26	166	195	180	110	135	122						

Remarque: les résultats obtenus indiquent que la qualité du béton est médiocre

LE LABORATOIRE

BET Stabilité des Sites - Mécanique des Sols - Géotechnique
BENABDI Ahmed
Ingénieur Sols - Le N°
N°2017/5887/03/A16
MEDEA

AUSCULTATION SCLEROMETRIQUE

Date d'Essai : 08/09/2018

Chantier : SALLE ATLAS-BAB EL OUED -ALGER
client :
Age de Béton : +40 ans
Partie de l'ouvrage : BETON APRES CONFORTEMENT

Elément Testes	Indice	Wmax Resistance Min	Wmin Resistance	Moy - Wmax	Moy - Wmin	Ecart Type	Coef de Variance	W Nominale (En Bars) Cube	Cylindre
ELEMENT 01	38 38 38 38 37 37 39 38 36	377 377 377 377 360 360 395 377 342	307 307 307 307 290 290 324 307 273	371,33	301	15,16	4,08	359	305
ELEMENT 02	36 35 35 35 38 39 37 35 41	342 324 324 324 377 395 360 324 432	273 256 256 256 307 324 290 256 359	355,78	286	38,80	10,91	325	276
ELEMENT 03	36 38 35 36 36 36 35 35 35	342 377 324 342 342 342 324 324 324	273 307 256 273 273 273 256 256 256	337,89	269	17,21	5,09	324	276
ELEMENT 04	36 35 36 35 36 38 36 36 40	342 324 342 324 342 377 342 342 413	273 256 273 256 273 307 273 273 341	349,78	281	28,22	8,07	327	278
ELEMENT 05	35 35 36 36 36 35 35 35 35	324 324 342 342 342 324 324 324 324	256 256 273 273 273 256 256 256 256	330,00	262	9,00	2,73	323	274
ELEMENT 06	35 38 37 35 34 35 36 37 35	324 377 360 324 307 324 342 360 324	256 307 290 256 240 256 273 290 256	338,00	269	23,05	6,82	320	272
ELEMENT 07	35 35 35 39 37 38 35 34 38	324 324 324 395 360 377 324 307 377	256 256 256 324 290 307 256 240 307	345,78	277	31,57	9,13	321	272
ELEMENT 08	35 35 37 35 35 35 38 34 34	324 324 360 324 324 324 377 307 307	256 256 290 256 256 256 307 240 240	330,11	262	23,31	7,06	311	265
ELEMENT 09	35 34 37 35 35 35 36 35 35	324 307 360 324 324 324 342 324 324	256 240 290 256 256 256 273 256 256	328,11	260	14,82	4,52	316	269
ELEMENT 10	36 36 35 36 35 36 36 35 35	342 342 324 342 324 342 342 324 324	273 273 256 273 256 273 273 256 256	334,00	265	9,49	2,84	326	277
ELEMENT 11	35 35 35 34 35 35 35 35 35	324 324 324 307 324 324 324 324 324	256 256 256 240 256 256 256 256 256	322,11	254	5,67	1,76	318	270
ELEMENT12	35 34 34 34 35 35 37 35 34	324 307 307 307 324 324 360 324 307	256 240 240 240 256 256 290 256 240	320,44	253	17,10	5,34	307	261

Remarque: les résultats obtenus indiquent que la qualité du béton est excelente

LE LABORATOIRE

BET Stabilité des Sols - Mécanique des Sols - Géotechnique
BENABDI Ahmed
Inscrit Sous Le N°
R/2017/685/753/05
MEDEA

AUSCULTATION SCLEROMETRIQUE

Date d'Essai : 05/05/2018

Chantier : SALLE ATLAS-BAB EL OUED -ALGER
client :
Age de Béton : +40 ans
Partie de l'ouvrage : BETON NON SE'GRE'GUE'

Elément Testes	Indice			Wmax Resistance Min			Wmin Resistance			Moy - Wmax	Moy - Wmin	Ecart Type	Coef de Variance	W Nominale (En Bars) Cube	W Nominale (En Bars) Cylindre
ELEMENT 01	40	42	40	413	450	413	341	377	341	413,22	341	24,19	5,85	394	335
	42	40	39	450	413	395	377	341	324						
	39	40	38	395	413	377	324	341	307						
ELEMENT 02	38	40	43	377	413	469	307	341	395	391,56	321	42,28	10,80	358	304
	38	38	39	377	377	395	307	307	324						
	37	35	41	360	324	432	290	256	359						
ELEMENT 03	39	38	35	395	377	324	324	307	256	369,33	299	30,84	8,35	345	293
	36	39	39	342	395	395	273	324	324						
	38	39	35	377	395	324	307	324	256						
ELEMENT 04	39	38	39	395	377	395	324	307	324	385,33	315	37,09	9,63	356	302
	35	39	38	324	395	377	256	324	307						
	36	42	40	342	450	413	273	377	341						
ELEMENT 05	38	39	36	377	395	342	307	324	273	381,67	311	43,77	11,47	347	295
	37	36	35	360	342	324	290	273	256						
	41	42	40	432	450	413	359	377	341						
ELEMENT 06	39	38	37	395	377	360	324	307	290	375,33	305	18,54	4,94	361	306
	39	38	39	395	377	395	324	307	324						
	36	37	38	342	360	377	273	290	307						
ELEMENT 07	35	40	39	324	413	395	256	341	324	391,11	320	29,26	7,48	368	313
	39	40	38	395	413	377	324	341	307						
	40	40	38	413	413	377	341	341	307						
ELEMENT 08	39	39	39	395	395	395	324	324	324	359,56	290	35,31	9,82	331	282
	35	35	38	324	324	377	256	256	307						
	38	34	36	377	307	342	307	240	273						
ELEMENT 09	35	34	37	324	307	360	256	240	290	359,56	290	33,01	9,18	333	283
	35	39	38	324	395	377	256	324	307						
	39	38	38	395	377	377	324	307	307						
ELEMENT 10	38	38	40	377	377	413	307	307	341	387,00	316	15,87	4,10	374	318
	38	40	38	377	413	377	307	341	307						
	38	39	38	377	395	377	307	324	307						
ELEMENT 11	38	39	38	377	395	377	307	324	307	377,22	307	19,79	5,25	361	307
	36	38	37	342	377	360	273	307	290						
	38	40	38	377	413	377	307	341	307						
ELEMENT12	37	39	35	360	395	324	290	324	256	381,44	311	35,63	9,34	353	300
	40	38	37	413	377	360	341	307	290						
	38	42	38	377	450	377	307	377	307						

Remarque: les résultats obtenus indiquent que la qualité du béton est excelente

LE LABORATOIRE



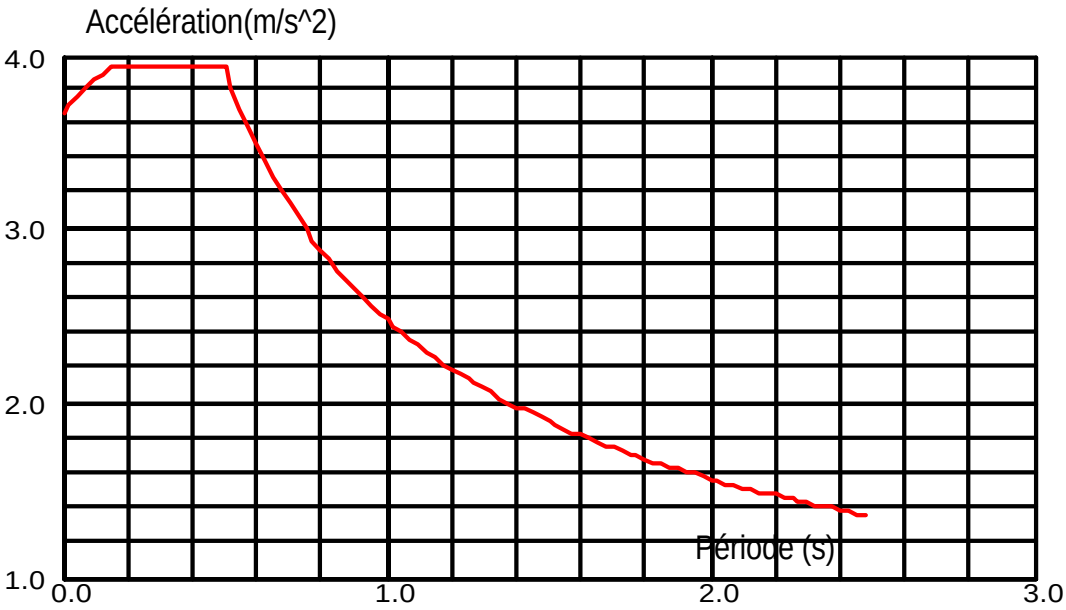
FICHIER DE DONNER

ROBOT 2010
Date: 11/01/18
Propriétés du projet: **SALLE TREILLIS VERINS**
Nom du fichier :: **SALLE TREILLIS VERINS.rtd**
Emplacement: D:EN PDF
Créé: 14/05/19 17:17
Modifié: 11/12/18 12:22
Taille: 87506944
Auteur : **mc_solution**
Bureau:
Adresse:
Caractéristiques de l'analyse de l'exemple :
Type de structure : Coque
Coordonnées du centre géométrique de la structure:
X = 17.000 *(m)*
Y = 16.197 *(m)*
Z = 11.375 *(m)*
Coordonnées du centre de gravité de la structure:
X = 19.878 *(m)*
Y = 16.000 *(m)*
Z = 9.867 *(m)*
Moments d'inertie centraux de la structure:
Ix = 509294462.844 *(kg*m2)*
Iy = 565049786.708 *(kg*m2)*
Iz = 810975393.797 *(kg*m2)*
Masse = 4022382.895 *(kg)*
Coordonnées du centre de gravité de la structure avec la prise en compte des masses dynamiques globales:
X = 19.712 *(m)*
Y = 16.000 *(m)*
Z = 10.821 *(m)*
Moments d'inertie centraux de la structure avec la prise en compte des masses dynamiques globales:
Ix = 1384228670.029 *(kg*m2)*
Iy = 1509946386.035 *(kg*m2)*
Iz = 2083767172.777 *(kg*m2)*
Masse = 10454890.411 *(kg)*
Description de la structure

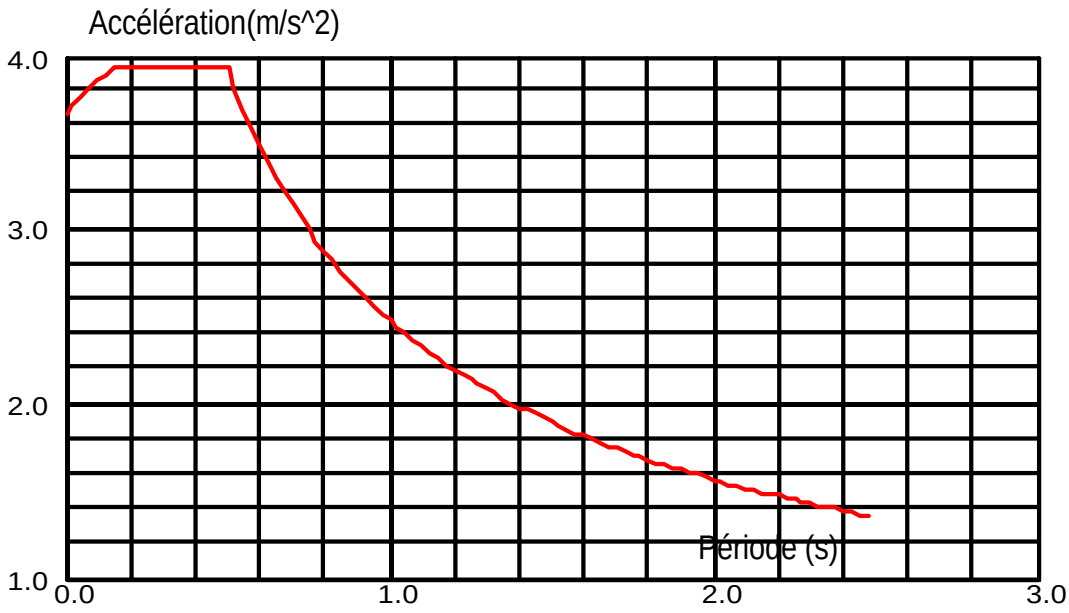
Nombre de noeuds:	1316
Nombre de barres:	1112
Eléments finis linéiques:	1443
Eléments finis surfaciques:	1024
Eléments finis volumiques:	0
Liaisons rigides:	81
Relâchements:	0
Relâchements unilatéraux:	0
Relâchements non-linéaires:	0
Compatibilités:	0
Compatibilités élastiques:	0
Compatibilités non-linéaires:	0
Appuis:	75
Appuis élastiques:	0
Appuis unilatéraux:	0
Appuis non-linéaires:	0
Rotules non-linéaires:	0
Cas:	20
Combinaisons:	11

Resumé de l'analyse
Méthode de solution - SPARSE M
Nbre de degrés de liberté stat.: 7449
Largeur de la bande
avant/après optimisation: 0 0
Durée des calculs [s]
Durée max agrégation + décomp.: 2
Durée max itér. sur sous-espace: 6
Durée max solution prb. nonlin.: 0
Durée totale: 27
Espace disque et mémoire utilisés [o]
Espace totale du disque utilisé: 33624560
Espace pour fichier TMP solveur: 0
Espace pour itérat. s/sous-esp.: 1549600
Mémoire: 4566740
Elém. diagon. de la matrice de rigidité
Min/Max après décomposition: 2.770615e+006
2.440096e+016
Précision: 5
Liste de cas de charges/types de calculs
Cas 1 : PERM1
Type d'analyse: Statique linéaire
Energie potentielle : 1.12550e+002 (kN*m)
Précision : 9.97705e-007
Cas 2 : EXPL1
Type d'analyse: Statique linéaire
Energie potentielle : 1.91956e+000 (kN*m)
Précision : 1.06824e-006
Cas 3 : Modale
Type d'analyse: Modale
Données:
Mode d'analyse : Modal
Méthode : Itération sur le sous-espace
Type de matrices de masses : Concentrée sans rotations
Nombre de modes : 10
Nombre d'itérations : 40
Tolérance : 1.00000e-003
Amortissement : 0.050
Limites : 0.000
Coefficient des masses participantes : 0.000
Cas 4 : ELS
Type d'analyse: Combinaison linéaire
Cas 5 : VER50
Type d'analyse: Statique linéaire
Energie potentielle : 9.28124e-002 (kN*m)
Précision : 1.96790e-007
Cas 6 : G+Q+1.2VER50
Type d'analyse: Combinaison linéaire
Cas 7 : VER30
Type d'analyse: Statique linéaire
Energie potentielle : 3.34125e-002 (kN*m)
Précision : 1.96790e-007
Cas 8 : VER12
Type d'analyse: Statique linéaire
Energie potentielle : 5.34600e-003 (kN*m)
Précision : 1.96790e-007

Cas 9 : G+Q+1,2V30
Type d'analyse: Combinaison linéaire
Cas 10 : G+Q+1,2VER12
Type d'analyse: Combinaison linéaire
Cas 11 : Sismique RPA 99 (2003) Dir. - masses_X
Type d'analyse: Sismique - RPA 99 (2003)
Direction de l'excitation:
X = 1.000
Y = 0.000
Z = 0.000



Données:
Zone : @VAL(ZoneRPA99)@
Usage : 1B
Assise : S3
Coefficient de qualité : 1.500
Coefficient de comportement : 3.500
Amortissement : X = 5.00 %
Paramčtres du spectre:
Correction de l'amortissement : $\eta = [7/(2+\xi)]^{0,5}$ = 1.000
A = 0.300
T_1 = 0.150 T_2 = 0.500
Cas 12 : Sismique RPA 99 (2003) Dir. - masses_Y
Type d'analyse: Sismique - RPA 99 (2003)
Direction de l'excitation:
X = 0.000
Y = 1.000
Z = 0.000

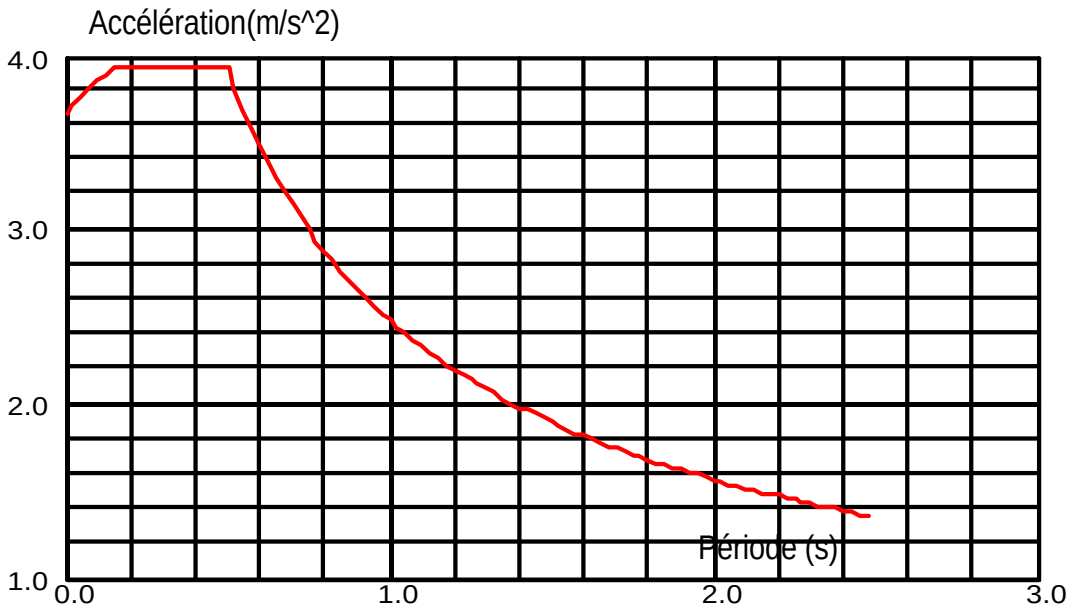


Données:

Zone : @VAL(ZoneRPA99)@
Usage : 1B
Assise : S3
Coefficient de qualité : 1.500
Coefficient de comportement : 3.500
Amortissement : X = 5.00 %

Paramčtres du spectre:

Correction de l'amortissement : $\eta = [7/(2+\xi)]^{0,5}$ = 1.000
A = 0.300
T_1 = 0.150 T_2 = 0.500
Cas 13 : Sismique RPA 99 (2003) Dir. - masses_Z
Type d'analyse: Sismique - RPA 99 (2003)
Direction de l'excitation:
X = 0.000
Y = 0.000
Z = 1.000



Données:

Zone	:	@VAL(ZoneRPA99)@
Usage	:	1B
Assise	:	S3
Coefficient de qualité	:	1.500
Coefficient de comportement	:	3.500
Amortissement	:	X = 5.00 %

Paramčtres du spectre:

Correction de l'amortissement : $\eta = [7/(2+\xi)]^{0,5}$ = 1.000

A = 0.300

T_1 = 0.150 T_2 = 0.500

Cas 14 : ELU
Type d'analyse: Combinaison linéaire
Cas 15 : G+Q+EX
Type d'analyse: Combinaison linéaire
Cas 16 : G+Q+EY
Type d'analyse: Combinaison linéaire
Cas 17 : G+Q+1.2EX
Type d'analyse: Combinaison linéaire
Cas 18 : G+Q+1,2EY
Type d'analyse: Combinaison linéaire
Cas 19 : 0,8G+EX
Type d'analyse: Combinaison linéaire
Cas 20 : 0,8G+EY
Type d'analyse: Combinaison linéaire