



HAL
open science

Conception du bâtiment de la prise en compte des critères de confort jusqu'à l'état limite

Lobna Jamal

► **To cite this version:**

Lobna Jamal. Conception du bâtiment de la prise en compte des critères de confort jusqu'à l'état limite. Structures. 2016. dumas-01655788

HAL Id: dumas-01655788

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01655788>

Submitted on 5 Dec 2017

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Institut des Sciences
Appliquées et Économiques

le cnam

**CONSERVATOIRE NATIONAL DES ARTS ET METIERS
ISAE – CENTRE ASSOCIE DU LIBAN**

MEMOIRE

Présenté en vue d'obtenir

Le DIPLOME D'INGENIEUR CNAM

SPECIALITE : CONSTRUCTION ET AMENAGEMENT

OPTION : CALCUL DE STRUCTURE

CYC66

Par

JAMAL, Lobna

**CONCEPTION DU BATIMENT DE LA PRISE EN COMPTE DES CRITERES DE
CONFORT JUSQU'AUX L'ETAT LIMITE.**

Soutenu le

Mars/2016

JURY

PRESIDENT: Francis GUILLEMARD Professeur Titulaire de la Chaire BTP
TUTEUR : Joseph CORTAS Tuteur du mémoire
MEMBRES: Walid LARBI Maitre de conférences
Elias EL HACHEM Directeur de la filière CNAM - Liban
Marwan EL RASSI Chef du département Génie Civil au CNAM - Liban

Remerciement

Après avoir rendu grâce à Allah, notre Créateur omnipotent et le plus puissant qui nous a donné la force, le courage et la volonté pour élaborer ce travail, nous remercions nos parents pour leur compréhension et leur soutien moral mais également leur contribution effective à l'atteinte de cet objectif qu'est la formation d'Ingénieur.

J'adresse mes remerciements aux personnes qui m'ont aidé dans la réalisation de ce mémoire :

- Merci à Monsieur Elias EL HACHEM, Directeur de la filière CNAM – Liban, qui m'a accordé son temps pour discuter divers sujets.
- Je remercie Monsieur Joseph CORTAS, professeur au CNAM. En tant que directeur de mémoire, il m'a guidée dans mon travail et m'a aidée à trouver des solutions pour avancer. Ses conseils avisés, sa pédagogie et sa disponibilité m'ont permis d'avancer progressivement au fil de cette étude.
- Je remercie aussi Monsieur Rachid CORTAS, directeur du bureau d'ingénierie, pour son écoute et ses conseils quant à l'orientation de ce projet.

Je remercie également la société ALUMCO et notamment Monsieur Jean Claude PAYAN pour son aide précieuse.

Je voudrais remercier aussi toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à mes recherches et à l'élaboration de ce mémoire.

Enfin, j'exprime ma reconnaissance à tous les membres de jury d'avoir accepté de lire ce manuscrit et d'apporter les critiques nécessaires à la mise en forme de cet ouvrage.

Résumé

Ce mémoire porte d'une part sur l'étude de conception d'un bâtiment et d'autre part sur l'analyse structurale comparative des éléments structuraux selon deux méthodes de calcul : l'une manuelle et l'autre par logiciel. *(L'ensemble de calculs a été réalisé sur la base des normes européennes Eurocode)*

Dès la première partie, on peut constater que, premièrement, la performance thermique du bâtiment est essentielle pour le confort des utilisateurs. Deuxièmement, on peut dire que la qualité, le coût et la durabilité font une relation triangulaire dans une construction de façon qu'un coût suffisant réagit avec une bonne qualité pour maintenir la durabilité. Troisièmement, la fissuration des éléments en béton armé est normale et peut difficilement être évitée, on peut chercher à en limiter l'ouverture, de façon à ce qu'elles ne portent pas préjudice au bon fonctionnement ou à la durabilité de la structure ou encore qu'elles ne rendent pas son aspect inacceptable.

Dès la deuxième partie et d'une manière générale, on peut dire que le résultat convergent entre la méthode forfaitaire et le calcul élément finis. Dans tous les cas la méthode forfaitaire se place dans le sens de la sécurité, avec des valeurs proches de celle du calcul élément finis pour les éléments caractéristiques, donc la méthode forfaitaire est plus sécuritaire d'à peu près 15% plus que le calcul exact. Et par suite l'utilisation de la méthode forfaitaire, quand elle est applicable, permet tout de même d'avoir un ordre de grandeur assez précis et permet un contrôle des résultats obtenus avec le calcul par éléments finis.

Liste des abréviations :

- G : Les actions permanentes,
- Q : Les actions variables,
- A : Les actions accidentelles,
- ELU : Etat limite ultime,
- ELS : Etat limite de service,
- DB : Décibels,
- TD : Les transmissions directes,
- TL : Les transmissions latérales,
- TP : Les transmissions parasites,

Liste d'un glossaire :

Partie I:

Chapitre 1 : Présentation du projet.

Alluvionnaire : Matériel résultant d'un transport à distance par les eaux courantes, ce sont des sédiments résultant des milieux fluviaux ou lacustres. (Selon la force du courant, il s'établit un tri mécanique séparant les éléments charriés en fonction de leur taille [galets, gravier, sable ou argiles].

Bauxite : La bauxite est un minerai rouge riche en alumine qui tient son nom du village de "Les Baux", dans la région d'Arles (sud de la France), lieu de sa découverte en 1821 par P. Berthier. Il a été caractérisé par sa forte teneur en alumine Al_2O_3 et en oxydes de fer. Cette roche constitue le principal minerai permettant la production d'aluminium. Elle se forme par altération continentale en climat chaud et humide.

Chapitre 2 : Conception de bâtiment: sécurité, confort, esthétique et économique

Verre trempé (Tempered glass): Verre exposés à une chaleur de $600^{\circ}C$ puis elle est refroidie par un air froid, elle peut résister à plus de $200^{\circ}C$ – verre sécurité.

Verre monolithique: Verre ordinaire net.

Verre feuilleté (Laminated glass): Deux ou plusieurs couches de verre séparées par 1 ou 2 couches de PVB (poly vinyle butyle) où chaque couche de PVB est égale à 0.38mm – verre sécurité.

Verre recuit (Annealed glass): Verre trempé exposée à la chaleur et elle est ensuite refroidie lentement pour ne pas créer de contraintes internes et lui laisser ses caractéristiques de verre recuit- verre non sécurité.

Chapitre 3 : Coût, Qualité et Durabilité dans la construction en béton armé.

Management : Processus par lequel des résultats sont obtenus de façon efficace et performante, via et avec autrui.

Performance : Se réfère au fait d'effectuer une tâche correctement, à la maîtrise de la relation entre les ressources et le rendement, le tout en cherchant à minimiser le coût du processus.

Efficacité : Mesure se référant au fait d'effectuer les tâches qui s'imposent, d'atteindre des objectifs.

Planification : phase de processus de management englobant la définition d'objectifs, l'élaboration d'une stratégie et le développement de plans pour coordonner les activités.

Organisation : phase de processus de management consistant à déterminer les tâches devant être effectuées, qui doit s'en charger, comment regrouper les missions, qui rend des comptes à qui et le niveau auquel les décisions sont prises.

Direction : phase de processus de management comprenant la motivation des personnes, l'administration des activités des autres collaborateurs, le choix du canal de communication le plus probant et des messages le plus percutants ainsi que la résolution des conflits.

Contrôle : phase de processus de management visant à surveiller les performances, à les comparer avec les objectifs et à corriger tout écart éventuel.

Chapitre 4 : Fissuration dans la construction, causes, conséquences et solutions.

Faïençage : réseau caractéristique d'ouvertures linéaires superficielles de très faible largeur se présentant sous la forme d'un dessin géométrique à mailles irrégulières et qui s'inscrivent souvent dans une zone localisée. Ce réseau n'intéresse le plus souvent que la couche superficielle du béton.

Microfissure : fissure très fine au tracé plus ou moins régulier et le plus souvent discontinu et à l'ouverture inférieure à 0,2 mm. Elle peut évoluer jusqu'à former un réseau.

Fissure : Fente visible affectant la surface d'une maçonnerie, d'un dallage, etc. par convention, la fissure mesure entre 0.2 et 2mm de largeur, au-dessus il s'agit d'un faïençage ou d'un simple fil, au-dessus, la fissure est une lézarde. 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 expose); plus graves encore sont les fissures traduisant un affaissement des fondations, ou de mouvements du sol.

Lézarde : longue fente qui a la forme d'un zigzag dans une maçonnerie. Elle traduit généralement soit un mouvement du terrain ou bien un tassement de ce dernier, soit un manque ou rupture de chaînage, fissure d'ouverture supérieure à 2 mm.

Partie II:

Chapitre 1 : Descente de charges et combinaison de chargement.

ELU : Les états limites ultimes sont des états associés à un effondrement ou à d'autres formes similaires de défaillance structurale. Ils correspondent généralement à la capacité portante maximale de la structure ou d'un de ses éléments. Ils doivent être classés comme « ultimes » les états limites qui concernent la sécurité des personnes et ou celle des structures.

ELS : Les états limites de service sont des états correspondant à des conditions au-delà desquelles les exigences d'aptitude au service spécifiées pour une structure ou un de ses éléments ne sont plus satisfaites. Ils doivent être classés comme de « service » les états limites qui concernent le fonctionnement de la structure ou d'éléments structuraux en utilisation normale, le confort des personnes, l'aspect de la construction (déformations excessives, fissuration)

Chapitre 2 : La poutre entre la méthode forfaitaire et le calcul exact

Poutre : D'une manière générale, on peut définir les poutres comme étant des éléments porteurs horizontaux. Ils sont des éléments de béton armé coulés sur place avec leur ferrailage. Ils peuvent être des poutres préfabriquées ou des poutres précontraintes.

Chapitre 3 : Calcul d'un portique bidimensionnel par méthode manuelle et exact.

Portique : Un portique est une structure composée des éléments horizontaux, soutenu par plusieurs éléments verticaux, entre lesquels il est possible de se déplacer. En construction, le portique est un élément de gros-œuvre qui peut être fait de bois, de béton ou bien de métal. Il se compose de plusieurs poteaux et de poutres.

Chapitre 4 : Calcul d'un portique tridimensionnel par méthode manuelle et exact.

Colonne : Un poteau est un élément structural élancé dont le grand côté de la section transversale ne dépasse pas 4 fois le petit côté de celle-ci et dont la hauteur h est au moins égale à 3 fois le grand côté.

Liste des figures et des tableaux :

Partie I : Présentation et conception d'un bâtiment

Chapitre I : Présentation du projet.

Figure I.1. Implantation de l'ouvrage.

Figure I.2. Présentation de l'ouvrage.

Figure I.3. Dimensions en plan

Chapitre II : Conception de bâtiment: sécurité, confort, esthétique et économique.

Figure II.1. Les plans des salles

Figure II.2. Structure du mur intérieur

Figure II.3. Structure du mur extérieur

Figure II.4. Structure de la dalle

Tableau II.1. Consommation d'énergie relative au chauffage

Figure II.5. Mur extérieur avec isolation

Tableau II.2. Consommation d'énergie avant et après l'isolation

Tableau II.3. Economie sur l'énergie électrique

Tableau II.4. Economie sur la facture électrique-chauffage

Tableau II.5. Flux de fuite des fenêtres simple et double vitrage

Tableau II.6. Economie sur la facture électrique-flux de fuite

Chapitre III : Coût, Qualité et Durabilité dans la construction en béton armé.

Figure III.1 : Stratégie du chaud en période hivernale

Figure III.2 : Stratégie du froid en période estivale

Figure III.3 : Stratégie de l'éclairage naturel

Tableau III.1. Différence entre simple / double mur et vitrage.

Tableau III.2. Dosage de 1 m³ du béton.

Tableau III.3. Le dosage en volume de sable, graviers et l'eau par rapport au ciment.

Tableau III.4. Dosage en masse pour 1 m³ de produit.

Chapitre IV : Fissuration dans la construction, causes, conséquences et solutions.

Tableau IV.1. Types des fissures selon leur dimension

Figure IV.1. Fissures caractéristiques des cassures dites du béton frais.

Figure IV.2. Fissures dues à une insuffisance de résistance à la flexion d'une poutre en béton précontraint

Figure IV.3. Fissuration due à une alcali-réaction du piedroit d'une culée

Figure IV.4. Calfeutrement de fissures à l'aide d'un mortier à base de liants hydrauliques.

Figure IV.5. Calfeutrement d'une fissure à l'aide d'un mastic à base de liants organiques.

Figure IV.6. Pontage d'une fissure avec incorporation d'une armature (d'après un document, Sika relatif au Kika Top 107).

Tableau IV.2. Méthode de traitement.

Figure IV.7. Fissure en cours de cachetage (photo Freyssinet).

Figure IV.8. Début du mélange résine et durcisseur (photo Freyssinet).

Figure IV.9. Principe de fonctionnement d'une pompe pour produits bicomposants.

Figure IV.10. Utilisation d'un pistolet injecteur (d'après un document du procédé Concessive MBT).

Figure IV.11. Principe de fonctionnement d'un pot à pression

Figure IV.12. Injection manuelle.

Figure IV.13. Principe de fonctionnement d'un réservoir à simple pression gravitaire.

Figure IV.14. Flexible transparent et T de connexion (photo Freyssinet).

Figure IV.15. Autres types d'injecteurs collés (photo Poineau).

Figure IV.16. Injecteur plat ou cavalier (photo Freyssinet).

Figure IV.17. Différents modèles d'injecteurs forés.

Figure IV.18. Nettoyage d'une fissure par une brosse métallique.

Figure IV.19. Détail de mise en place d'évents collés.

Figure IV.20. Principe d'injection avec des injecteurs forés.

Tableau IV.3. La différence des déformations moyennes $\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}$

Tableau IV.4. L'espacement maximal des fissures $s_{r,max}$

Partie II : Etude comparative entre la méthode forfaitaire et le calcul exact par ROBOT

Chapitre I : Descente de charges et combinaison de chargement.

Figure I.1. Présentation des Eurocode.

Figure I.2. Classe de résistance à la compression du béton.

Tableau I.1. Coefficients partiels relatifs aux matériaux

Tableau I.2. Caractéristiques mécaniques propre au béton.

Tableau I.3. Calcul de G.

Tableau I.4. Catégories d'usage.

Tableau I.5. Charges d'exploitation sur les planchers, balcons et escaliers dans les bâtiments.

Figure I.3. Exemples des cas présentant des désordres au niveau : EQU, STR et GEO.

Tableau I.6. Les coefficients d'accompagnement, Ψ_0 , Ψ_1 , Ψ_2 .

Chapitre II : La poutre entre la méthode forfaitaire et le calcul exact.

Figure II.1. Présentation de la poutre

Tableau II.1. Les moments aux travées selon le calcul forfaitaire.

Figure II.2. Présentation de la charge permanente

Figure II.3. Présentation de la charge d'exploitation

Figure II.4. Présentation de la combinaison de la charge $1.35 G + 1.5Q$

Tableau II.2. Présentation des nœuds

Figure II.5. Illustration des réactions des appuis

Figure II.6. Illustration des efforts tranchants

Figure II.7. Illustration du moment fléchissant

Tableau II.3. Différence entre les méthodes de calcul forfaitaire – Exact

Chapitre III : Calcul d'un portique bidimensionnel par méthode manuelle et exact.

Figure III.1. Portique bidimensionnel

Figure III.2. Portique bidimensionnel avec des rotules aux points de moment zéro

Figure III.3. Portique bidimensionnel avec distribution de charges horizontales et verticales

Figure III.4. Représentation des forces horizontales

Figure III.5. Représentation des réactions verticales aux colonnes.

Figure III.6. Représentation des efforts tranchants dans les poutres.

Figure III.7. Représentation des charges verticales et les rotules aux points des moments zéro

Figure III.8. Représentation de poutre intermédiaire avec le diagramme des moments.

Figure III.9. Représentation de poutre de rive avec le diagramme des moments.

Tableau III.1. Résultat de calcul forfaitaire d'un portique bidimensionnel.

Figure III.10. Représentation d'un portique sur le Robot avec calcul des réactions

Figure III.11. Représentation des moments sur les poutres intermédiaire et de rive

Tableau III.2. Tableau de comparaison en pourcentage entre forfaitaire – Exact

Chapitre IV : Calcul d'un portique tridimensionnel par méthode manuelle et exact.

Figure IV.1. Surface d'influence de poteau

Figure IV.2. Implantation de poteaux

Figure IV.3. Robot model

Figure IV.4. La charge sur la colonne du premier étage.

Tableau IV.1. Différence entre les deux méthodes de calcul

Partie III : Résumé Et Conclusion

Chapitre I : Résumé ET Conclusion

Tableau I.1. Méthode de traitement.

Tableau I.2. Tableau de comparaison en pourcentage entre forfaitaire – Exact des éléments structuraux déjà traités.

INTRODUCTION GENERAL	1
----------------------------	---

PARTIE - I -
PRESENTATION ET CONCEPTION D'UN BATIMENT

CHAPITRE I - PRESENTATION DE PROJET

<i>I.1. Introduction</i>	<i>2</i>
<i>I.2. Présentation – partie I.....</i>	<i>2</i>
<i>I.2.1. Sécurité.....</i>	<i>2</i>
<i>I.2.2. Confort.....</i>	<i>3</i>
<i>I.2.3. L'effet esthétique.....</i>	<i>4</i>
<i>I.2.4. Coût et économique</i>	<i>4</i>
<i>I.2.5. Qualité</i>	<i>4</i>
<i>I.2.6. Durabilité.....</i>	<i>4</i>
<i>I.2.7. Les fissurations.....</i>	<i>5</i>
<i>I.3. Présentation – partie II.....</i>	<i>6</i>
<i>I.3.1. Implantation de l'ouvrage.....</i>	<i>6</i>
<i>I.3.2. Présentation du bâtiment.....</i>	<i>7</i>
<i>I.3.3. Dimensions en plan</i>	<i>9</i>
<i>I.3.4. Les actions et leurs combinaisons</i>	<i>10</i>
<i>I.3.5. Les méthodes de calcul.....</i>	<i>10</i>
<i>I.4. Conclusion.....</i>	<i>10</i>

**CHAPITRE II - CONCEPTION DE BATIMENT: SECURITE, CONFORT,
ESTHETIQUE ET ECONOMIQUE.**

<i>II.1. Introduction.....</i>	<i>2</i>
<i>II.2. Le confort dans un bâtiment.....</i>	<i>2</i>
<i>II.3. Le confort acoustique.....</i>	<i>2</i>
<i>II.3.1. Le son, qu'est-ce que c'est ?</i>	<i>2</i>
<i>II.3.2. Confort acoustique.....</i>	<i>3</i>
<i>II.4. Le confort thermique.....</i>	<i>4</i>
<i>II.4.1. Les vitrages</i>	<i>5</i>
<i>II.4.2. Les interactions entre les facteurs.....</i>	<i>5</i>
<i>II.4.3. Le relation: facteur solaire - transmission lumineuse</i>	<i>6</i>
<i>II.4.4. Quel coefficient de transmission lumineuse choisir ?.....</i>	<i>6</i>
<i>II.4.5. Le coefficient de transmission thermique "U".....</i>	<i>6</i>
<i>II.5. Le niveau et le type de bruit</i>	<i>7</i>
<i>II.6. Le choix d'un vitrage.....</i>	<i>7</i>
<i>II.7. Sécurité.....</i>	<i>9</i>
<i>II.8. L'effet esthétique</i>	<i>10</i>
<i>II.9. Le coût.....</i>	<i>11</i>
<i>II.10. Exemple numérique.....</i>	<i>12</i>

<i>II.11. Conclusion.....</i>	<i>19</i>
-------------------------------	-----------

CHAPITRE III - COUT, QUALITE ET DURABILITE DANS LA CONSTRUCTION EN BETON ARME

<i>III.1. Introduction.....</i>	<i>2</i>
<i>III.2. Le management, la qualité, le coût et la durabilité</i>	<i>2</i>
<i>III.3. Le Coût.....</i>	<i>3</i>
<i>III.4. La durabilité.....</i>	<i>4</i>
<i>III.5. La qualité</i>	<i>6</i>
<i>III.6. Exemples</i>	<i>7</i>
<i>III.6.1. Exemple no. 01.....</i>	<i>7</i>
<i>III.6.2. Exemple no. 02.....</i>	<i>9</i>
<i>III.7. Conclusion</i>	<i>11</i>

CHAPITRE IV - FISSURATION DANS LA CONSTRUCTION, CAUSES, CONSEQUENCES ET SOLUTIONS

<i>IV.1. Introduction.....</i>	<i>2</i>
<i>IV.2. Fissuration</i>	<i>2</i>
<i>IV.2.1. Définition.....</i>	<i>2</i>
<i>IV.2.2. Comment caractériser une fissure ?</i>	<i>2</i>
<i>IV.2.3. Les types des fissures</i>	<i>3</i>
<i>IV.3. Les cause</i>	<i>4</i>
<i>IV.3.1. Diagnostic et analyse des causes des fissurations</i>	<i>5</i>
<i>IV.4. Traitement des fissures.....</i>	<i>6</i>
<i>IV.4.1. Les fonctions du traitement</i>	<i>6</i>
<i>IV.4.2. Les méthodes du traitement.....</i>	<i>6</i>
<i>VI.5. Traitement par injection.....</i>	<i>9</i>
<i>IV.5.1. Critères de choix des produits d'injection</i>	<i>9</i>
<i>IV.5.2. Critères de choix des produits de cachetage.....</i>	<i>10</i>
<i>IV.6. Matériels à utiliser</i>	<i>11</i>
<i>IV.6.1. Malaxeurs.....</i>	<i>11</i>
<i>IV.6.2. Pompes et réservoirs d'injection.....</i>	<i>12</i>
<i>IV.6.3. Liaisons entre les pompes ou les réservoirs et les injecteurs.....</i>	<i>14</i>
<i>IV.6.4. Injecteurs (ou événements)</i>	<i>15</i>
<i>IV.7. Réalisation de l'injection</i>	<i>17</i>
<i>IV.8. Le fissure peu et très préjudiciable</i>	<i>18</i>
<i>IV.9. Exemples</i>	<i>19</i>
<i>IV.10. Conclusion.....</i>	<i>24</i>

PARTIE - II -

ETUDE COMPARATIVE ENTRE LA METHODE FORFAITAIRE ET LE CALCUL EXACT PAR ROBOT

CHAPITRE I - DESCENTE DE CHARGES ET COMBINAISON DE CHARGEMENT

<i>I.1. Introduction</i>	2
<i>I.2. Présentation des Eurocodes</i>	2
<i>I.3. Caractéristiques mécaniques des matériaux</i>	3
<i>I.3.1. Le Béton</i>	3
<i>I.3.2. Acier</i>	6
<i>I.4. Les hypothèses de calcul</i>	7
<i>I.5. Les unités</i>	7
<i>I.6. Les actions</i>	7
<i>I.7. Les charges permanentes</i>	8
<i>I.8. Les charges variables d'exploitation</i>	9
<i>I.9. Les charges accidentelles</i>	11
<i>I.10. Les charges climatiques</i>	12
<i>I.11. Les charges thermiques</i>	12
<i>I.12. Les combinaisons d'actions</i>	12
<i>I.12.1. But des états limites</i>	13
<i>I.12.2. Situation des projets</i>	14
<i>I.12.3. Les combinaisons</i>	14
<i>I.12.4. Application dans notre projet</i>	16

CHAPITRE II - LA POUTRE ENTRE LA METHODE FORFAITAIRE ET LE CALCUL EXACT

<i>II.1. Introduction</i>	2
<i>II.2. Poutre</i>	2
<i>II.3. Méthodes de calcul</i>	2
<i>II.4. Calcul manuelle de poutre</i>	3
<i>II.4.1. Calcul des moments</i>	3
<i>II.4.2. Calcul des efforts tranchants</i>	5
<i>II.4.3. Calcul des réactions d'appuis</i>	5
<i>II.5. Dimensionnement par logiciel – calcul exact</i>	5
<i>II.6. Comparaison des résultats</i>	9

CHAPITRE III - CALCUL D'UN PORTIQUE BIDIMENSIONNEL PAR METHODE MANUELLE ET EXACT.

<i>III.1. Introduction.....</i>	<i>2</i>
<i>III.2. Portique.....</i>	<i>2</i>
<i>III.3. Dimensionnement par méthode forfaitaire d'un portique</i>	<i>2</i>
<i>III.3.1. Portique sous forces horizontaux.....</i>	<i>2</i>
<i>III.3.2. Portique sous forces verticaux.....</i>	<i>7</i>
<i>III.4. Dimensionnement par Robot d'un portique.....</i>	<i>10</i>
<i>III.5. Comparaison entre méthode forfaitaire et exact dans le calcul d'un portique</i>	<i>12</i>

CHAPITRE IV - CALCUL D'UN PORTIQUE TRIDIMENSIONNEL PAR METHODE MANUELLE ET EXACT.

<i>IV.1. Introduction.....</i>	<i>2</i>
<i>IV.2. Poteaux.....</i>	<i>2</i>
<i>IV.3. Présentation de poteau.....</i>	<i>3</i>
<i>IV.4. Ferrailage d'un poteau – à base de la force calculé par logiciel:</i>	<i>4</i>
<i>IV.5. Ferrailage d'un poteau – à base de la force calculé manuel</i>	<i>6</i>
<i>IV.6. Comparaison des résultats entre forfaitaire – calcul exac</i>	<i>7</i>

PARTIE - III -

RESUME ET CONCLUSION

CHAPITRE I - RESUME ET CONCLUSION.

<i>I.1. Introduction</i>	<i>2</i>
<i>I.2. Partie I - Résumé</i>	<i>2</i>
<i>I.3. Partie II - Résumé.....</i>	<i>5</i>
<i>I.4. Conclusion Générale</i>	<i>6</i>

Bibliographie

PARTIE - IV -

ANNEXES

Introduction :

Le béton, de part son aspect économique (coût faible) et parce qu'il offre aux constructeurs une variété de formes, de teintes et d'aspects de plus importants, est le matériau le plus utilisé dans le monde de la construction avec beaucoup d'autres avantages comme par exemples. (Souplesse d'utilisation, Durabilité, Résistance au feu)

Le sujet de mon mémoire est « comparaison entre la méthode forfaitaire et la méthode exacte dans le calcul d'un bâtiment résidentiel ». En même temps, mon mémoire propose de nouveaux critères de la conception de la construction moderne en assurant sa durabilité.

Le but de ce mémoire est donc d'assurer la sécurité et le confort de l'ouvrage par un coût convenable en assurant un état économique du project. Comment peut-on assurer un ouvrage économique, en conserver la durabilité de construction ? Ainsi, plusieurs méthodes de calcul sont utilisées, parmi ces méthodes, la méthode forfaitaire et le calcul exact en utilisant un logiciel. Quelles sont les conditions d'application de la méthode forfaitaire? Est-ce-que la méthode forfaitaire est plus sécuritaire que la méthode de calcul informatique – Logiciel ? Et quel est le pourcentage de différence entre ces deux méthodes de calcul ?

Pour mener à terme ce travail, nous avons structuré le manuscrit de mémoire en 4 parties sous la forme suivante:

- Première Partie : « Présentation et conception d'un bâtiment » qui expose le contexte de notre mémoire suivant plusieurs caractéristiques : la sécurité, le confort thermique et acoustique, l'effet esthétique, le coût et l'économie, la qualité, la durabilité, les fissurations.
 - Chapitre I : « Présentation du Project » qui donne une idée générale de ce mémoire.
 - Dans le deuxième chapitre « Conception de bâtiment: sécurité, confort, esthétique et économique », nous exposons les facteurs principaux agissant sur la construction moderne. Nous présentons d'abord le confort du bâtiment. Nous dressons, par la suite, la sécurité demandée dans la construction. Nous présentons enfin le coût économique d'un bâtiment.

- Le troisième chapitre « Coût, Qualité et Durabilité dans la construction en béton armé » est fait selon une recherche bibliographique sur la relation entre le coût, la qualité et la durabilité dans la conception du bâtiment.
- Au quatrième chapitre « Fissuration dans la construction, causes, conséquences et solutions », nous développons les causes, les conséquences et les solutions de fissuration du béton.
- Deuxième Partie : « Etude comparative entre la méthode forfaitaire et le calcul exact par ROBOT » qui illustre l'implantation et la présentation du bâtiment, les actions agissantes et leur combinaison, des méthodes de calcul manuelle et en utilisant un logiciel des éléments structuraux et une étude comparative entre elles.
 - Chapitre I « Descente de charges et combinaison de chargement »
 - Chapitre II « La poutre entre la méthode forfaitaire et le calcul exact »
 - Chapitre III « Calcul d'un portique bidimensionnel par méthode manuelle et exact »
 - Chapitre IV « Calcul d'un portique tridimensionnel par méthode manuelle et exact »
- Troisième Partie : « Résumé Et Conclusions »
- Quatrième Partie : « Annexes »

Partie I :

Présentation et conception d'un bâtiment

- Chapitre I :

Présentation de Project.

- Chapitre II :

Conception de bâtiment: sécurité, confort, esthétique et économique.

- Chapitre III :

Coût, Qualité et Durabilité dans la construction en béton armé.

- Chapitre IV :

Fissuration dans la construction, causes, conséquences et solutions.

Chapitre I : Présentation du projet.

I.1. Introduction:

Mon projet consiste en deux parties tout à fait différentes l'une de l'autre dans la conception du bâtiment moderne tout en prenant en considération le part économique de l'ouvrage.

Dans la première partie, nous parlerons premièrement de la conception générale d'un bâtiment, de sa sécurité, de son confort, de sa forme esthétique et du coté économique. Deuxièmement, nous parlerons d'une conception qui doit satisfaire une qualité de construction qui assure la durabilité de l'ouvrage tout en respectant un temps d'exécution bien déterminé avec un coût économique. Troisièmement nous parlerons des fissurations qui perturbent la fonction et la durabilité de l'ouvrage, leurs causes, leurs conséquences et les solutions.

Dans la deuxième partie, nous exposerons la partie structurelle du bâtiment à étudier. Cette partie présente premièrement les charges agissante sur la structure (charges permanentes, charges d'exploitation,..) avec leur combinaison. Deuxièmement, nous présenterons une étude structurelle selon deux méthodes de calcul l'une forfaitaire et l'autre exact par logiciel suivante d'une étude comparative entre ces deux types de calcul.

Enfin, ce projet se termine par une conclusion de travail de deux parties étudiées précédemment.

I.2. Présentation – partie I:

La première partie de mon projet illustre la conception générale de la construction moderne neuve selon plusieurs critères: sécurité, confort, esthétique, coût-économique, qualité, durabilité et fissurations.

I.2.1. Sécurité:

L'un des caractères nombreux qui influent le bâtiment est la sécurité de l'ouvrage, d'une part, comporte d'abord la stabilité des éléments structuraux par l'utilisation des matériaux de bonne qualité et de mélange bien dosé, ainsi la sécurité contre les séismes par la réalisation de contreventement avec des murs refends, puis la sécurité contre l'incendie par la mise en œuvre des moyens immédiats d'extinction et des mesures relatives aux systèmes de sécurité. Tous ces types de sécurité sont liées à la conception des bâtiments.

D'autre part, un autre type de sécurité se lie aux façades extérieures du bâtiment. En effet, le monde moderne utilise des façades vitrées avec le choix des types de vitrages qui assureront la sécurité. Cependant, dans un bâtiment, il y a plusieurs risques d'effraction du vitrage. Donc, la sécurité se définit par la sécurité intérieure et extérieure dans la conception et la réalisation de l'ouvrage.

I.2.2. Confort:

Mon projet parle ainsi du confort dans un bâtiment qui se définit par le confort acoustique et le confort thermique.

Le confort acoustique :

Le bruit est une nuisance qui perturbe le confort acoustique du bâtiment. Il s'accompagne bien souvent d'effets négatifs (nervosité, sommeil difficile, fatigue, irritabilité) qui causent des problèmes de santé. Cependant, la correction acoustique est un traitement de la capacité d'absorption et de réflexion des parois en agissant sur leur texture et leur géométrie tandis que l'isolation acoustique est un traitement de la transmission du bruit au travers des parois, en agissant sur la structure même.

Donc, un confort acoustique a une forte influence sur la qualité de la vie quotidienne qui peut le diminuer en utilisant d'une part, des doubles murs du bâtiment avec un isolant intermédiaire et d'autre part, l'utilisation d'un vitrage à capacité d'empêcher la transmission des sons aériens provenant de l'extérieur.

Le confort thermique :

Le confort thermique est une notion difficile à cerner. Il dépend de plusieurs facteurs. D'une part, en hiver, l'isolation thermique a un rôle de limiter les déperditions calorifiques à travers le mur, de l'intérieur chauffé vers l'extérieur froid. D'autre part, en été, il s'agit d'assurer une protection des locaux contre les apports calorifiques de l'extérieur dus à l'ensoleillement. Donc dans les deux cas, cette protection dépend de la résistance thermique de la paroi qui détermine le flux thermique de l'extérieur à l'intérieur et vice-versa.

Ainsi mon projet expose l'utilisation de double vitrage qui attribue au confort thermique, il permet ainsi d'assurer le confort visuel et de gérer les apports solaires en toute saison en optimisant l'énergie disponible. On peut donc diminuer le passage du rayonnement infrarouge sans freiner le passage de la lumière.

I.2.3. L'effet esthétique :

On observe aujourd'hui dans la construction moderne que le verre est le matériau le plus fort utilisé en façade. Comme il est un matériau calme donc l'effet esthétique sera provoqué par des verres réfléchissants (qui réfléchissent la lumière provenant du milieu le plus lumineux) ou colorés qui sera parfois fortement influencés par l'environnement, l'orientation de la façade et la couleur des menuiseries. Donc, si on souhaite une uniformité de la façade pour un effet plus esthétique, il convient de placer côte à côte le même type de vitrage sans inverser les faces. Cela concerne tant la couleur et l'épaisseur.

I.2.4. Coût économique :

L'économie dans le bâtiment est un caractère principal qui peut être réalisé par un coût convenable tout en respectant une qualité recommandée. Il dépend de plusieurs facteurs dans l'ouvrage d'une part, des matériaux utilisés lors de la construction et d'autre part, des matériaux de finissage. En effet, le béton est moins cher que les autres matériaux de construction. Il correspond à un coût de mise en œuvre avantageux, ainsi le facteur coût intervient dans le choix du vitrage bien isolé qui permet de réaliser des économies de consommation d'énergie. En outre, du côté économique, on peut jouer sur l'épaisseur et le type du vitrage d'une façade à l'autre selon le type d'exposition de la face au vent.

Donc, dans ce cadre, il est nécessaire, avant de rejeter un vitrage à cause de son prix qui dépend de sa qualité, d'évaluer rapidement la rentabilité de ce vitrage par rapport au coût d'investissement.

I.2.5. Qualité :

La qualité, aujourd'hui, devient de plus en plus importante dans tous les domaines des activités concernant la vie de l'individu et de la société. Dans notre domaine de construction, le béton armé est un matériau de construction qui se fabrique à partir de composants hétérogènes mais complémentaires. La qualité du ciment est un gage important de celle du béton armé qui détermine sa résistance.

I.2.6. Durabilité :

Mon projet expose aussi un autre caractère plus intéressant dans le domaine de la construction. C'est la durabilité qui est une caractéristique essentielle pour les matériaux et les éléments de construction. En effet, le premier élément qui affecte cette durabilité est le

béton par sa performance mécanique requise à 28 jours associées éventuellement à un principe de dosage correct en ciment et une bonne compacité. Ces deux caractéristiques peuvent effectivement garantir une certaine durabilité du matériau béton et de la durée de service de l'ouvrage avec sa capacité à conserver les fonctions pour lesquelles elle a été conçue. Ainsi, le deuxième élément est la qualité de la conception, des matériaux et des produits utilisés dans la réalisation de l'ouvrage.

Donc, la durabilité d'un ouvrage ne concerne pas seulement les matériaux utilisés dans la construction mais aussi les éléments de confort selon le principe énergétique (qui suggère de concevoir des bâtiments bien isolés avec un éclairage et une ventilation bien maîtrisés), technique, visuel et thermique. On peut donc conclure que la prise en compte de cette durabilité permet de valider et de justifier la rentabilité de l'investissement.

I.2.7. Les fissurations :

La dernière idée qui sera posée dans la première partie du mon projet est la fissuration du béton et leur effet sur la durabilité de la construction. La fissuration apparaît après la construction lorsqu'une nouvelle vie du bâtiment commence. Elle se caractérise par son ouverture, son tracé, sa profondeur et son activité. Ainsi, il faut pouvoir faire la distinction entre deux types de fissuration : une fissure pathologique, c'est-à-dire qu'elle est le témoignage d'une « maladie », et une fissure pathogène qui peut engendrer une maladie. La différence entre ces 2 types de fissures dépend essentiellement de l'origine, de l'environnement et de l'ouverture de la fissuration.

En effet, les fissurations se manifestent dans les ouvrages quand ils sont soumis à des contraintes trop importantes ou quand les déformations qui les affectent sont bloquées, donnant ainsi naissance à des forces internes génératrices de fissures. Par suite, la surveillance des fissures ne suffit pas à établir les causes à l'origine de la fissuration. Il faut analyser la fissure et choisir le traitement qui remplit plusieurs fonctions (d'étanchéité, de remplissage et de mécanique). Ce traitement sera fait en fonction de leur origine, de leur importance et de leur activité ou non.

I.3. Présentation – partie II:

La deuxième partie de mon projet illustre une étude des éléments structuraux dans un bâtiment implanté à Alay. On commence par la définition des charges et la combinaison entre elles, puis on définit deux méthodes de calcul : l'une forfaitaire et l'autre exact suivant une comparaison entre ces deux types de méthodes, ensuite on conclure la méthode la plus sécuritaire de calcul.

En effet, la stabilité de l'ouvrage est en fonction de la résistance de différents éléments structuraux aux différentes sollicitations dont la résistance de ces éléments est en fonction du type de matériaux utilisés et de leurs dimensions et caractéristiques.

Donc pour le calcul des éléments constituant un ouvrage, on se base sur des règlements et des méthodes connues « Eurocode » qui s'appuie sur la connaissance des matériaux (béton et acier) et le dimensionnement et le ferrailage des éléments résistants de la structure.

I.3.1. Implantation de l'ouvrage:

Le terrain retenu pour recevoir mon projet se situe à « Alay » et précisément à « AL-Abadiyeh » dans un lot de terrain numéro 5960, comme illustre le plan suivant :



Figure I.1. Implantation de l'ouvrage.

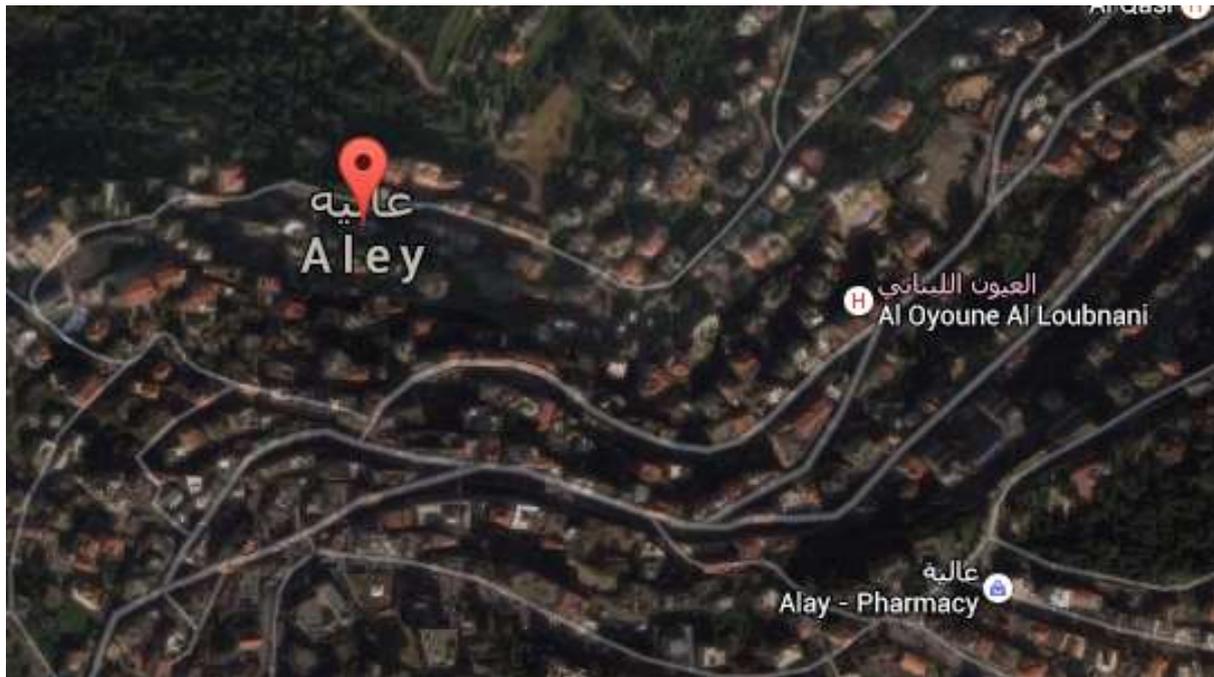


Figure I.1. Implantation de l'ouvrage.

I.3.2. Présentation du bâtiment:

Nous sommes chargés d'étudier un bâtiment résidentiel formé d'un sous-sol, d'un rez-de-chaussée et de huit étages.

La surface de chaque étage est de 421m². Le rez-de-chaussée est composé d'une cage d'escalier, d'une entrée de surface de 39m² et de deux appartements de surface 189m² et 193m² respectivement. Chaque appartement est formé de trois chambres, trois salles de bain, un salon, une cuisine et une salle polyvalente.

Les étages typiques de F01 à F07 sont formés de deux appartements chacun de 201 m², composé de trois chambres, trois salles de bain, un salon, une cuisine, une salle à manger et un séjour mais avec une cage d'escalier de 19m², tandis que le dernier étage est formé d'un seul appartement composé de trois chambres, cinq salles de bain, deux salons avec une salle à manger, une cuisine et un séjour.

La coupe suivante montre la hauteur totale du bâtiment et la hauteur de chaque étage :

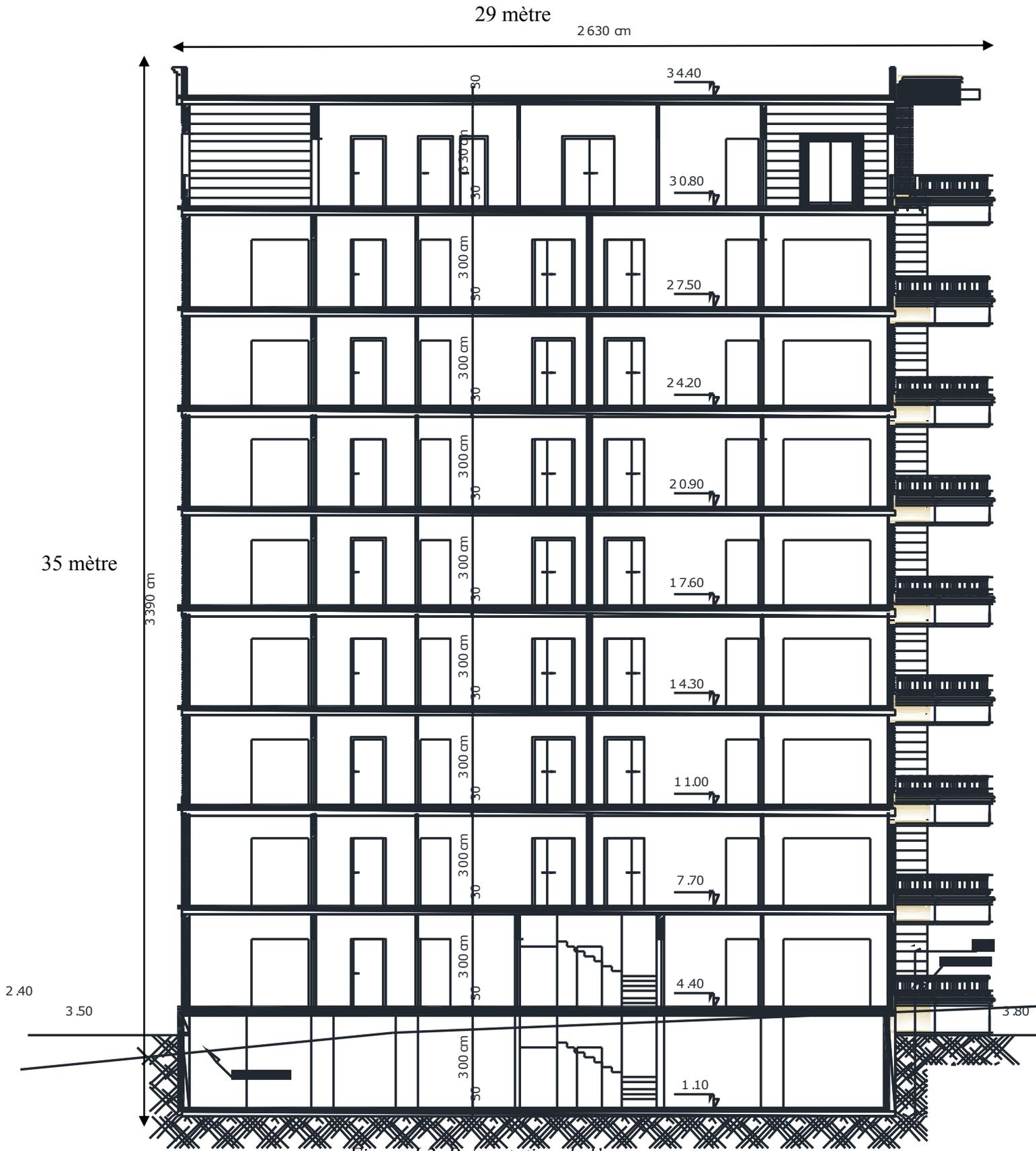


Figure 1.2. Présentation de l'ouvrage.

I.3.3. Dimensions en plan:

La structure se présente sous la forme suivante. Les dimensions en plan sont mentionnées dans la figure I.3 ci-après :

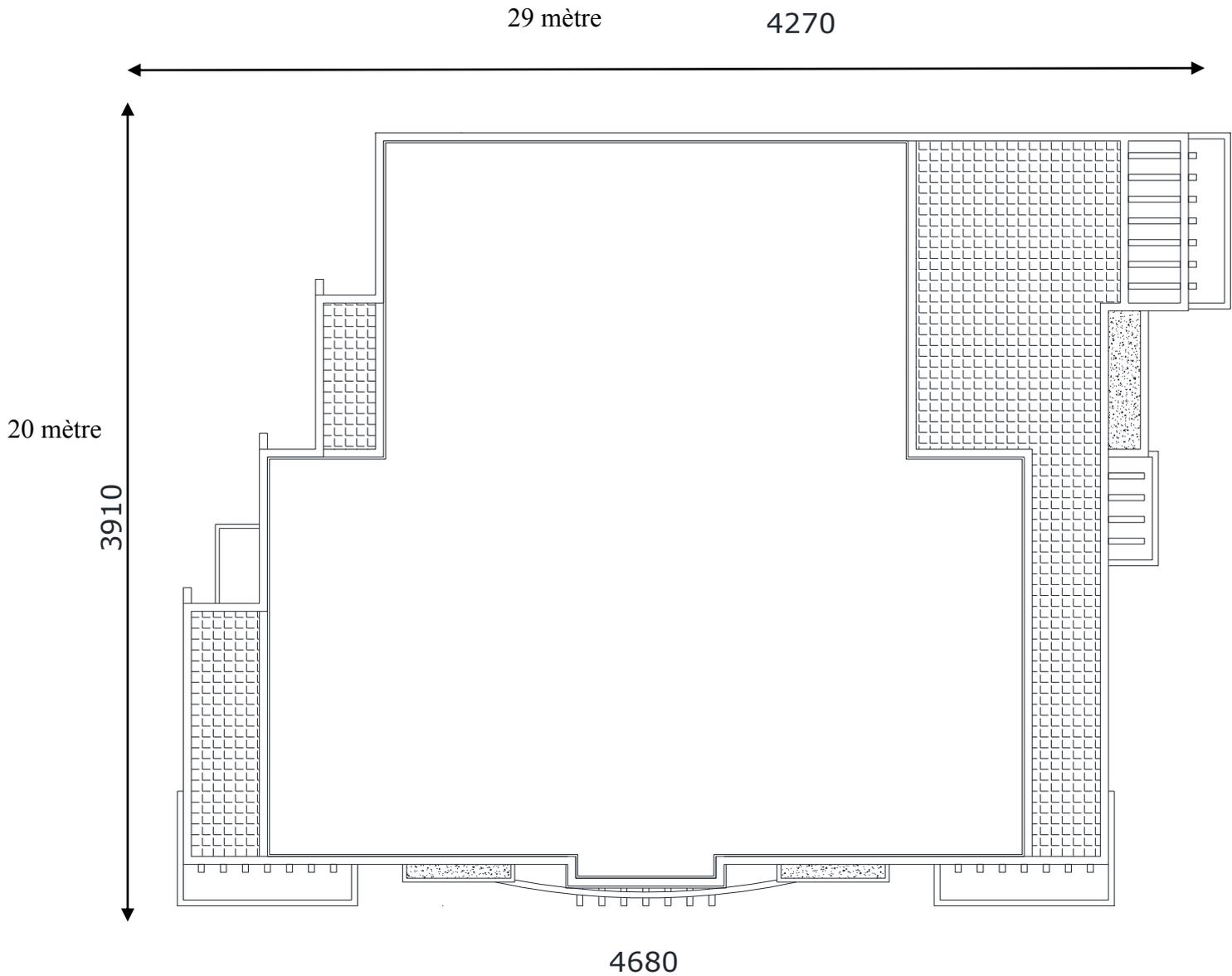


Figure I.3. Dimensions en plan

I.3.4. Les actions et leurs combinaisons:

On expose dans ce projet les actions principales agissant sur la structure qui doit résister à toutes les actions calculées selon l'Eurocode « 1 ». Ces actions se divisent en trois grandes parties : les actions permanentes (G), les actions variables (Q) et les actions accidentelles (A). D'abord, les charges permanentes sont les charges qui ne varient pas avec le temps, c'est-à-dire charges à longue durée. Ensuite, les charges d'exploitation qui sont en fonction de la catégorie et de l'usage du bâtiment. Il y a aussi des charges accidentelles qui sont des actions de durée très courte par rapport à la durée de vie de l'ouvrage et dont la probabilité d'occurrence est très faible. En plus, on a des actions climatiques comme le vent et la neige. Donc, ces charges doivent être déterminées pour chacune des situations de projet suite aux états limites concernés.

Une fois les actions déterminées, nous allons appliquer selon l'Eurocode les combinaisons d'actions associées à chaque état limite (ELU et ELS) afin de déterminer la plus défavorable.

I.3.5. Les méthodes de calcul :

Dans mon projet, nous présenterons une méthode de calcul selon l'Eurocode 2 c'est la méthode forfaitaire et l'autre est le calcul exact par logiciel « ROBOT » avec une étude comparative entre les résultats pour déterminer quelles méthodes sera la plus sécuritaire de calcul.

I.4. Conclusion :

A la fin de mon projet qui est un travail personnel, je fais une conclusion générale qui résume tout le travail cité précédemment qui concerne les effets du béton armé dans la construction, de la façon économique, de leur effet de sécurité – stabilité et de leur effet sur la durabilité de l'ouvrage. Cette conclusion présente la méthode de calcul la plus sécuritaire et la plus économique, avec une comparaison en informatique qui sera présenté par le logiciel.

Chapitre II :
Conception de bâtiment: sécurité, confort,
esthétique et économique.

II.1. Introduction:

Quatre éléments caractérisent la conception des bâtiments qui sont: sécurité, confort, esthétique et économique. La définition et les effets sur le bâtiment de ces caractères qui sont reliés entre eux seront traités dans ce chapitre.

Comment peut-on assurer un confort thermique et acoustique dans le bâtiment ? Et comment peut-on assurer un bâtiment économique avec toutes les conditions de sécurité ?

II.2. Le confort dans un bâtiment:

Le confort dans un bâtiment se définit par le confort acoustique et le confort thermique, le béton s'emploie bien à répondre simultanément à ces exigences, moyennant quelques précautions et les interactions entre acoustique et thermique se présente à divers endroits d'un bâtiment:

- Plancher intermédiaire : le béton confère une inertie lourde à cet élément tout en participant à la réduction de la transmission des bruits aériens d'un étage à l'autre.
- Façade : le béton utilisé en structure représente une masse exploitable dans la recherche de la réduction des bruits aériens extérieurs et à partir de la technique de double-mur on permet d'atteindre des niveaux acoustiques très intéressants. Dans tous les cas, l'emploi d'un isolant thermo-acoustique (laine de verre ou de roche, polystyrène souple) est à privilégier.

II.3. Le confort acoustique :

II.3.1. Le son, qu'est-ce que c'est ?

▪ Définition du son :

Le son pur est une vibration dans un milieu élastique (air, eau, matière solide) caractérisé par une fréquence (nombre de vibrations par seconde), une amplitude (niveau sonore ou volume du son) et une durée. A partir de la fréquence, on peut classer les sons en 3 catégories :

- Les sons graves (fréquence inférieure à 100Hz = basse fréquence)
- Les sons moyens (fréquence allant de 100 Hz à 2 kHz = moyenne fréquence)
- Les sons aigus (fréquence supérieure à 2 kHz = haute fréquence)

En acoustique du bâtiment, on considère un intervalle de fréquences comprises entre 100 Hz et 5 kHz. Tandis que, la sensibilité de l'oreille humaine moyenne va de 20 Hz à 20 KHz.

- Mesure du son :

Plus l'intensité acoustique augmente (ou diminue), et plus la sensation de force sonore augmente (ou diminue). Pour exprimer la sensation de force sonore engendrée par l'ensemble des intensités de sons possibles, on utilise une échelle logarithmique : le décibel (dB). Donc, le son se mesure en décibels (dB), à l'aide d'un « sonomètre » qui transforme l'énergie du son en tension électrique.

- Types de bruits en présence dans le bâtiment :

- Les bruits aériens intérieurs et extérieurs (sons qui naissent et se propagent dans l'air) : voix, musique, voitures, avions, etc.
- Les bruits d'impact (sons qui naissent au contact d'un élément constitutif du bâtiment et se propage au travers de celui-ci) : outils, etc.
- Les bruits générés par les équipements : ventilation, chaudière, etc.

II.3.2. Confort acoustique :

Le confort acoustique sera une nécessité encadrée par toutes les réglementations, le bruit est une nuisance qui perturbe le confort du bâtiment. Comment s'en prémunir ?

Au-delà de la réglementation, les qualités acoustiques d'un bâtiment résultent d'une diversité de facteurs qu'il convient de maîtriser. En effet, un confort acoustique a une forte influence sur la qualité de la vie quotidienne, par ailleurs un mauvais confort acoustique s'accompagne des effets négatifs – nervosité, sommeil difficile, fatigue, irritabilité – qui peuvent déclarer des problèmes sur la santé.

Donc, l'optimisation du confort acoustique à l'intérieur d'un bâtiment est une nécessité, pour cela des précautions sont à prendre en compte pour assurer ce confort.

- Les conditions d'un bon confort acoustique:

La réglementation fixe un langage et des valeurs, mais qu'entend-on par confort acoustique ? Dans la pratique, une ambiance sonore est dite de qualité si :

- elle n'est pas dangereuse pour l'oreille ;
- elle permet de percevoir facilement les sons ou bruits utiles et désirés ;
- elle permet de ne pas être dérangée par des sons ou bruits inutiles et non désirés.

- Paramètres et solutions

Le choix de la structure influe directement sur les qualités acoustiques d'un bâtiment. Ce choix tiendra compte des lois de transmission du bruit, mais aussi des contraintes thermiques. La solution retenue sera donc une synthèse des différents paramètres.

Donc, l'acoustique réunit un ensemble de paramètres qu'il faut évidemment maîtriser pour offrir au bâtiment les qualités attendues. En effet, les premiers facteurs concernent les voies de transmission des bruits sont:

- les transmissions directes (TD) par les parois opaques (façade, séparatif, toiture et plancher);
- les transmissions latérales (TL) par les parois liées à la façade, à la paroi séparative, à la terrasse ou au plancher ;
- les transmissions parasites (TP) par certains points singuliers (gaines techniques, VMC-ventilation mécanique contrôlée, entrées d'air, défauts d'exécution, etc.).

- Correction et isolation acoustique :

Le confort acoustique désire de réaliser, une correction et une isolation acoustique d'un bâtiment. D'une part, la correction acoustique est un traitement de la capacité d'absorption et de réflexion des parois en agissant sur leur texture, leur géométrie et les matériaux de revêtement. Et d'autre part, l'isolation acoustique est un traitement de la transmission du bruit au travers des parois, en agissant sur la structure même.

II.4. Le confort thermique

- La protection thermique:

Le confort thermique est une notion difficile à cerner, il est subjectif d'une personne à l'autre, d'une situation à l'autre et d'une heure ou d'une saison à l'autre.

- Confort Thermique d'hiver:

En hiver, c'est l'isolation thermique qui a pour rôle de limiter les déperditions calorifiques à travers mur, de l'intérieur chauffé vers l'extérieur froid. C'est la résistance thermique de la paroi qui caractérise l'importance du flux de chaleur à travers le mur. En d'autres termes, si on augmente la résistance thermique d'une paroi, on abaisse alors le flux de chaleur la traversant.

- Confort Thermique d'été:

En été, il s'agit d'assurer une protection des locaux contre les apports calorifiques de l'extérieur dus à l'ensoleillement. Cette protection est obtenue par des parois à forte inertie thermique et/ou par la mise en œuvre de protections solaires.

II.4.1. Les vitrages:

Les vitrages est une importante solution du bâtiment qui conserve les confort, la sécurité et l'esthétique. Ils sont des plusieurs types ils peuvent être simple, double, triple selon la situation et le cas d'utilisation, ces types peut divisés encore de vitrage trempé, verre recuit, ou feuilleté (feuilleté trempé ou feuilleté recuit).

Ainsi, un simple vitrage feuilleté a très souvent un affaiblissement acoustique supérieur à un double vitrage composé de verres identiques avec une lame d'air, mais il est moins isolant du point de vue thermique. Donc, des performances importantes sont obtenues avec des vitrages doubles comportant des verres feuilletés acoustiques.

Dans ce cadre le premier rôle d'un panneau vitré est:

- D'assurer le confort visuel et thermique.
- De gérer les apports solaires en toute saison en optimisant l'énergie disponible.

De ce point de vue, les vitrages sont caractérisés par 3 facteurs :

- Facteur lumineux : le coefficient de transmission lumineuse "TL"
- Facteur thermique : le coefficient de transmission thermique "U"
- Facteur énergétique vis-à-vis du soleil : le facteur solaire "FS"

II.4.2. Les interactions entre les facteurs :

A première vue, plus le facteur solaire d'un vitrage est bas, plus il est opaque au rayonnement solaire et donc moins il est transparent à la lumière. Donc, lorsque le facteur solaire diminue, le coefficient de transmission lumineuse devrait diminuer lui aussi. Mais en réalité, le rayonnement solaire est composé d'une moitié de lumière qui se transforme en chaleur et d'une moitié de rayonnement infrarouge qui apporte seulement de la chaleur.

Donc, et à partir des films spécifiques, on peut diminuer le passage du rayonnement infrarouge sans freiner le passage de la lumière en d'autre terme le FS diminuera, mais le TL restera presque intact.

II.4.3. Le relation: facteur solaire - transmission lumineuse

Les besoins de l'utilisateur varient selon les périodes de l'année et sont contradictoires. En effet :

- En hiver, on désire maximiser les gains solaires, et donc avoir une transparence maximale au rayonnement solaire (TL et FS élevés).
- Par contre, en été, on désire limiter au maximum les gains de chaleur (FS faible) qui sont la cause de surchauffe, tout en assurant un éclairage suffisant des locaux (TL élevé).

De plus, les vitrages absorbants sont teintés dans la masse, ceux de couleur bleue claire ou verte, ont un coefficient de transmission lumineuse plus élevé que les vitrages teintés traditionnels de couleur bronze ou grise mais ont un facteur solaire moins élevé que ces derniers.

Par contre, les vitrages absorbants sont moins efficaces contre le rayonnement solaire que les verres réfléchissants, c'est pourquoi ils ne sont pratiquement plus utilisés à l'heure actuelle.

II.4.4. Quel coefficient de transmission lumineuse choisir ?

Plus le facteur de lumière du jour est élevé, plus le temps d'utilisation des locaux avec la lumière naturelle est élevé donc plus la durabilité est conservée, limitant ainsi la consommation d'éclairage artificiel donc plus l'économie du bâtiment est assurée. En effet, pour choisir un coefficient de transmission lumineuse il y a des plusieurs valeurs qui varient d'un cas à l'autre et des nombreux facteurs interviennent telle la profondeur du local, le pourcentage de surface vitrée, l'orientation du local.... Et on peut constater que :

- Plus le coefficient de transmission lumineuse augmente, moins on consomme d'éclairage artificiel.
- Les locaux situés au Nord nécessiteront toujours plus d'éclairage artificiel que respectivement à l'Est, l'Ouest et Sud.

II.4.5. Le coefficient de transmission thermique "U" :

Un simple vitrage à un coefficient $U = 5,8 \text{ W/m}^2\text{K}$. On améliore son pouvoir isolant, c'est à dire on diminue son coefficient de transmission thermique U , par les interventions suivantes :

- Insertion de lames d'air entre des couches de verre dans le double vitrage pour donner U entre 2,8 et 1,9 [$\text{W/m}^2\text{K}$].

- Action sur les caractéristiques de la surface du verre dans le double vitrage à basse émissivité (= à haut rendement), pour donner de: $U = 1,6$ [W/m^2K]
- Remplacement de l'air entre les couches de verre par un mélange gazeux plus isolant dans le double vitrage de basse émissivité avec gaz (argon,...), pour donner U varie de 1,1 à 1,3 [W/m^2K].

Donc, pour diminuer le coefficient de transmission thermique « U » le facteur coût intervient dans le choix et le type du vitrage isolé qui permet de réaliser des économies d'énergie. Dans ce cadre et en première approximation, le supplément de prix au m^2 est rentabilisé en 6 ans.

En pratique:

- Le simple vitrage n'est plus utilisé en construction neuve comme en rénovation.
- Sans hésiter et dans tous les cas, nous recommandons le choix d'un plus faible coefficient de transmission thermique pour cela on utilise les doubles vitrages à basse émissivité.
- Le triple vitrage est de plus en plus utilisé selon la spécificité du projet, c'est un vitrage d'épaisseur et de poids importants, s'adaptant à des menuiseries spécifiques.

II.5. Le niveau et le type de bruit :

Le type et le niveau de bruit sont fonction de l'environnement dans lequel se trouve implanté le bâtiment où généralement ce sont les sites urbains et industriels qui posent le plus de problèmes pour le facteur acoustique et qui a d'influence sur le choix du vitrage, dans ce cas il faut d'utiliser un vitrage à une capacité d'empêcher la transmission des sons aériens provenant de l'extérieur est évaluée par son indice d'affaiblissement acoustique pondéré appelé **R_w** (dB).

II.6. Le choix d'un vitrage :

Des plusieurs facteurs mise en jeu lors d'un choix de type de vitrage comme le suivant:

▪ Contre l'effraction :

Les vitrages feuilletés constituent une bonne protection car ils résistent aux coups et lorsqu'ils se fissurent ils restent entiers sans sortir du châssis. Leur résistance est fonction du nombre de films et de l'épaisseur des verres, par exemple :

- Un nombre de films de PVB = 3, permet d'une protection contre le vandalisme non organisé.
- Un nombre de films de PVB = 4, elle permet d'une protection contre l'effraction organisée.
- Un nombre de films de PVB = 6, elle permet d'une protection de haut niveau.

- Contre les risques de blessure :

On recommande souvent d'utiliser un verre trempé car il se fragmente en petits morceaux non coupants ainsi, ils offrent de plus, une très bonne résistance aux chocs thermiques. Mais il faut savoir que les verres trempés ne peuvent plus être coupés, sciés ou percés après l'opération de trempé. Par contre la vitre n'offre plus aucune protection contre les chutes une fois cassée.

- Contre les risques de chute :

On utilisera exclusivement le verre feuilleté. En effet même si le verre se fissure, le film intercalaire maintient les morceaux en place évitant les blessures et la chute des occupants. Ainsi, si le verre doit résister aux chocs thermiques, il peut être trempé avant d'être feuilleté.

- Contre la destruction par balle « anti-balle »:

Il s'agit d'un domaine très spécialisé. Il est, dès lors, recommandé de consulter un spécialiste.

- Contre le feu :

Le comportement au feu est apprécié selon:

- la résistance au feu, c'est-à-dire le temps pendant lequel un élément de construction peut jouer le rôle qui lui est dévolu malgré l'action de l'incendie;
- la réaction au feu, c'est-à-dire la capacité du matériau à apporter un aliment permettant au feu de se développer et donc de présenter un certain degré d'inflammabilité.

La résistance au feu concerne surtout les vitrages intérieurs qui servent à empêcher la propagation du feu. En effet, les verres feuilletés classiques n'offrent aucune résistance au feu pour cela il existe des vitrages spéciaux résistants au feu qui sont les verres feuilletés avec

intercalaire intumescent ou avec gel aqueux et qui dépend ainsi de la durée du résister le coupe-feu (1 heure ou 2 heure).

II.7. Sécurité

▪ Qu'est ce que la sécurité ?

La sécurité exprime la stabilité de l'ouvrage dans le cas de séisme, et la stabilité du béton par sa performance mécanique requise à 28 jours associés éventuellement à un principe de dosage correct en ciment et une bonne compacité, qui sert à garantir une certaine durabilité du béton et de la durée de vie de l'ouvrage avec sa capacité à conserver les fonctions pour lesquelles elle a été conçue. La sécurité inclut :

- la prévention, dont l'objectif est d'assurer la sécurité des personnes, de limiter ou d'éviter les pertes des biens et, enfin, d'assurer l'engagement des secours et leur protection. Elle se lie à la conception des bâtiments.
- la prévision, qui vise à assurer, dès l'origine, la découverte d'un feu et la mise en œuvre immédiate des moyens d'extinction. Elle se matérialise par des mesures relatives aux systèmes de sécurité : alarmes, détecteurs, services de sécurité, etc. ;

▪ Prévention et prévision

Les effets de l'incendie peuvent être dévastateurs, tant pour les personnes que pour les biens, et les dommages affectant l'homme résultent de la fumée, des gaz, des flammes et de la chaleur.

En effet, le choix d'un vitrage de sécurité dépend du type de risque encouru. Et celui-ci dépend à son tour du niveau où on se trouve dans le bâtiment.

- Au rez-de chaussée, dans les bureaux et/ou les commerces, les risques seront :
 - risque de brise par tout type de projectiles,
 - risque de destruction par balle,
 - risque de blessure en cas de chute contre la glace,
 - risque d'effraction, que le verre devra retarder au maximum.

- Aux autres niveaux, dans les bureaux, les risques seront :
 - risque de blessure en cas de chute contre la glace,
 - risque de chute de personne au cas de vitrage descendant sous le niveau normal d'un garde-corps.

- Quelles sont les combinaisons possibles entre la sécurité et les autres performances ?

Les dispositions relatives à la sécurité sont bien sûr superposables à des dispositions lumineuses, acoustiques ou énergétiques. En effet, un film basse émissivité et/ou réfléchissant peut être ajouté au sein du double vitrage.

Ainsi, les caractéristiques de sécurité modifient peu l'aspect du vitrage par contre la présence de verre trempé ou feuilleté ne modifie pas la valeur du coefficient de transmission thermique. Cependant, le procédé de trempe modifie quelque peu l'aspect superficiel et les propriétés de réflexion du vitrage. En addition, le feuilletage du verre le rend plus bleuté, mais ne modifie pas ses propriétés énergétiques et lumineuses (un verre feuilleté offre un coefficient U pratiquement égal à un verre monolithique de la même épaisseur).

On remarque que les verres feuilletés de sécurité sont en général très efficaces contre le bruit. On peut estimer qu'un bon vitrage thermique feuilleté pourra assurer, à la fois, les fonctions acoustique, sécurité et thermique dans un site urbain très bruyant.

II.8. L'effet esthétique :

- Quel effet esthétique?

Aujourd'hui le verre est fort utilisé en façade, même comme matériau calme. On crée ainsi une continuité et un lissage parfait de la façade. Pour ces raisons, les vitrages réfléchissants ou absorbants sont fort utilisés. Ils assurent, en plus, une intimité totale intérieure et une protection contre le rayonnement solaire.

Donc, l'effet esthétique provoqué par des verres réfléchissants ou colorés sera parfois fortement influencés par l'environnement, l'état du ciel, l'orientation de la façade, la position de l'observateur, la présence de store, la couleur des menuiseries. Il est donc important de faire des études préalables, éventuellement même à l'aide de prototypes.

- Précautions

Le vitrage réfléchissant, en plus de réfléchir le paysage, réfléchit le soleil. Cela peut créer des éblouissements indésirés pour les bâtiments voisins. De plus, il diminue définitivement les apports de lumière naturelle à l'intérieur du local quelle que soit son orientation.

En effet, ces vitrages réfléchissent la lumière provenant du milieu le plus lumineux. Dès lors, le soir, c'est l'éclairage artificiel des locaux qui sera réfléchi vers l'intérieur, la vue vers l'extérieur ne sera alors plus possible.

- L'uniformité

D'une part, si on souhaite une uniformité de la façade, il convient de placer côte à côte le même type de vitrage sans inverser les faces pour conserver la même couleur avec la même réflexion. En effet, les épaisseurs de vitrages différentes nécessitent souvent des cadres différents.

D'autre part, pour un côté économique on peut jouer sur l'épaisseur du vitrage d'une façade à l'autre selon le type d'exposition de la force au vent (au Liban le vent est du côté sud-ouest) et pour plus de précision on peut utiliser plusieurs types avec des plusieurs épaisseurs de vitrage dans même façade au condition que le baies sera discontinue.

II.9. Le coût:

Le choix adéquat d'un vitrage peut fort diminuer les consommations d'énergie. Il est nécessaire avant de rejeter un vitrage à cause de son prix, d'évaluer rapidement la rentabilité de ce vitrage par rapport au coût d'investissement. En effet, le facteur qui augmente le coût est le choix et le type de vitrage qui définit par sa qualité la plus performante qui dépend sur l'épaisseur et la dimension de vitrage.

II.10. Exemple numérique :

1-Notre exemple consiste à calculer le bilan thermique hiver, les besoins en chauffage et la rentabilité économique d'une isolation thermique d'une construction courante au Liban, nous avons choisi d'étudier des surfaces de salles de cours d'une université.

Présentation des surfaces considérées:

Nature: une salle d'informatique et deux salles de cours ordinaires de surface $6 \times 8 \text{m}^2$ chacune , donc 144m^2 en total avec un couloir de $3 \times 20 \text{m}^2$ de surface , donc la surface totale à chauffer est de 204m^2 . Les salles 1 et 3 ont chacune 6 fenêtres de dimensions $1 \times 1.5 \text{m}^2$ chacune et la salle 2, 3 fenêtres de mêmes dimensions. Chaque salle peut contenir 40 personnes. NB: la salle informatique contient 40 ordinateurs, et toutes les salles sont éclairées par des néons.

Lieu: Beyrouth, Liban

Conditions thermiques de base en hivers :

a- Conditions intérieures: Humidité relative: 50% Température : 20°C

b- Conditions extérieures: Humidité relative: 70% Température : 5°C

A noter aussi que les bilans thermiques hiver sont des bilans de nuit, l'ensoleillement n'est pas pris en compte.

En ce qui concerne la ventilation, au Liban elle est de type naturel. Dans la majorité des cas, il n'y a pas d'entrée d'air spécifique au niveau des fenêtres et porte-fenêtre.

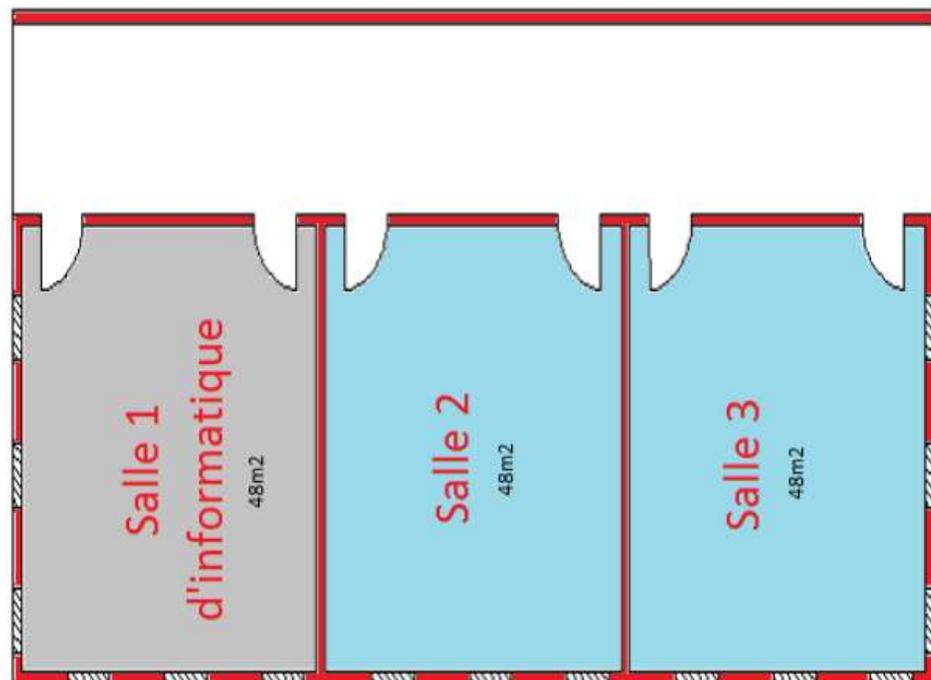


Figure II.1. Les plans des salles

2-Matériaux de construction : plâtre de 2cm d'épaisseur de l'intérieur et l'extérieur et mur en parpaing de 20cm d'épaisseur avec des revêtements rocheux de 5cm d'épaisseur pour les murs extérieurs. La dalle est de 30 cm d'épaisseur, en béton armé avec 2 cm de plâtre (sur la surface inférieure) et 2cm de sable, 2cm de mortier et 2cm de carrelage (sur la surface supérieure). Les fenêtres sont à simple vitrage en verre de 4mm d'épaisseur.

Calcul de l'U_{tr}:

Donc en sommant les résistances thermiques, on obtient R_{tot} (avec R_i + R_e = 0.17) on obtient U_{tr} = 1/R_{tot}.

Pour le mur intérieur :

$$R_{\text{plaster}} = \text{Epaisseur/Conductivité} = 0.02/0.46 = 0.04 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$R_{\text{parpaing}} = \text{Epaisseur/Conductivité} = 0.2/1.1 = 0.2 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$R_{\text{mur intérieur}} = 0.17 + 0.04 + 0.2 + 0.04 = 0.45 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$U_{\text{tr mur intérieur}} = 1/R_{\text{mur intérieur}} = 1/0.45 = 2.22 \text{ W/m}^2 \text{ K}$$

Pour le mur extérieur :

$$R_{\text{plaster}} = \text{Epaisseur/Conductivité} = 0.02/0.46 = 0.04 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$R_{\text{parpaing}} = \text{Epaisseur/Conductivité} = 0.2/1.1 = 0.2 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$R_{\text{revêtement}} = \text{Epaisseur/Conductivité} = 0.05/2.9 = 0.02 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$R_{\text{mur extérieur}} = 0.17 + 0.04 + 0.2 + 0.04 + 0.02 = 0.47 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$U_{\text{tr mur extérieur}} = 1/R_{\text{mur extérieur}} = 1/0.47 = 2.12 \text{ W/m}^2 \text{ K}$$

Pour la dalle:

$$R_{\text{plaster}} = \text{Epaisseur/Conductivité} = 0.02/0.46 = 0.04 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$R_{\text{dalle BA}} = \text{Epaisseur/Conductivité} = 0.3/1.75 = 0.17 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$R_{\text{mortier+sable}} = \text{Epaisseur/Conductivité} = 0.04/1.15 = 0.03 \text{ m}^2\text{K/W}$$

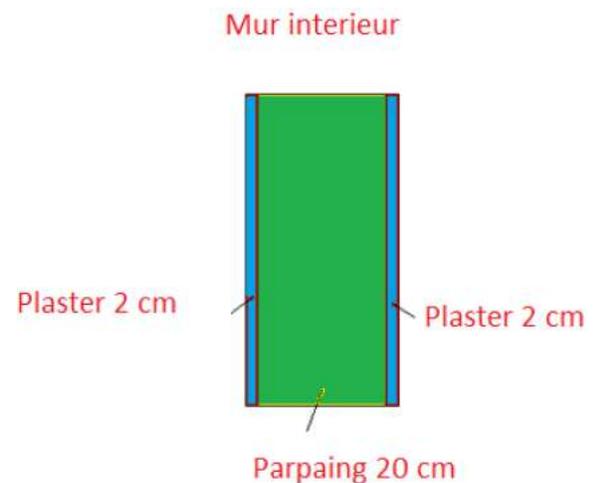


Figure II.2. Structure du mur

intérieur

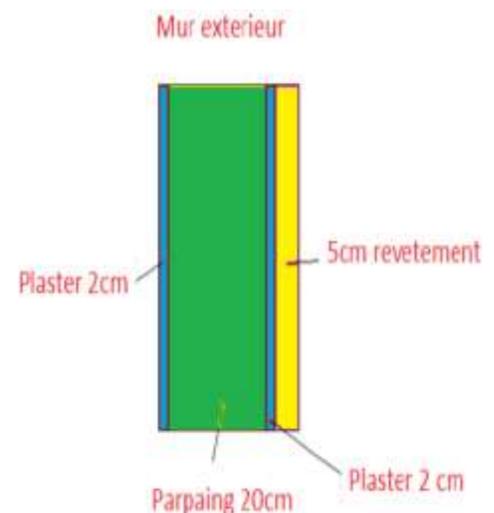


Figure II.3. Structure du mur extérieur

$$R_{\text{carrelage}} = \text{Epaisseur/Conductivité} = 0.02/2 = 0.01 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$R_{\text{dalle}} = 0.17+0.04+0.17+0.03+0.01 = 0.42 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$U_{\text{tr dalle}} = 1/ R_{\text{mur extérieur}} = 1/0.42 = 2.38 \text{ W/m}^2 \text{ K}$$

$$U_{\text{tr vitrage simple 4mm d'épaisseur}} = 5.8 \text{ W/m}^2 \text{ K}$$

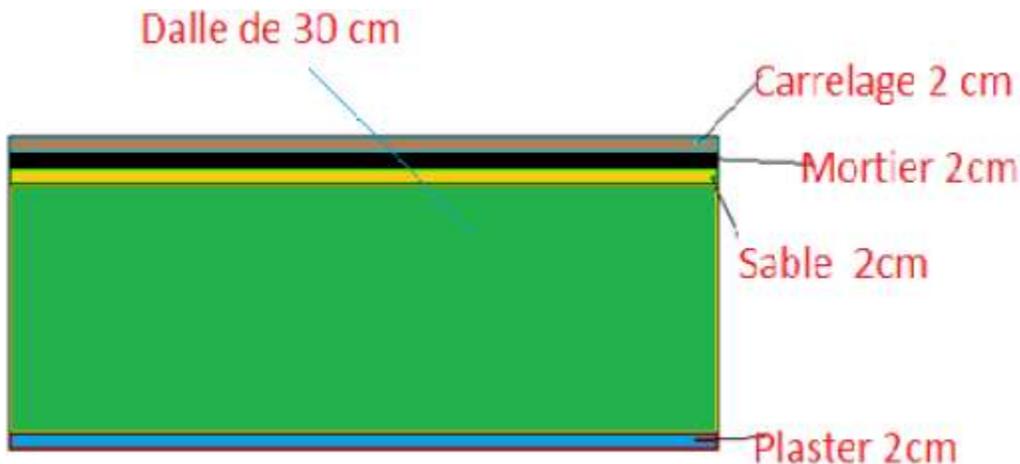


Figure II.4.
Structure de la dalle

3-Les besoins en chauffage sont obtenus d'après le bilan thermique hiver :

Déperditions - Apports= Besoins en chauffage

1) déperditions = débits de fuite à travers les parois des murs et des fenêtres et des dalles.

$$Q_{\text{fuite}} = \Sigma (U \times A \times (T_o - T_i)) \text{ Watts Avec, } 1\text{W} = 0.86\text{kCal/h}$$

U_{tr} = Coefficient de transmission thermique globale (W/m².K)

A = Surface (m²)

T_o = Température extérieure = 5°C

T_i = Température intérieure = 20°C

Pour les murs extérieurs, on a un périmètre total de 41m [(2*(20+8))-15] et une hauteur de 3m, alors les infiltrations à travers ces murs seront de:

$$Q_{\text{fuite murs extérieur}} = 2.12 \times 41 \times 3 \times (20-5) = 3911 \text{ W} = 3500 \text{ kCal/h}$$

On a 15 fenêtres en total, de dimensions 1x1.5 m², alors les infiltrations à travers ces fenêtres seront de:

$$Q_{\text{fuite fenêtres}} = 5.8 \times 15 \times 1 \times 1.5 \times (20-5) = 1960 \text{ W} = 1690 \text{ Kcal/h}$$

Pour les dalles supérieure et inférieure, on a une surface de 210m² pour chacune alors les infiltrations à travers ces dalles seront de:

$$Q_{\text{fuite dalles}} = 2.38 \times 210 \times 2 \times (20-5) = 14994\text{W} = 13000\text{kCal/h}$$

2) apports = chaleur des occupants, équipements, et éclairage.

Chaleur des occupants: Soit 50 kCal/h chaleur dégagée par une personne.

$$Q_{\text{occupants}} = \text{nombre} \times (Q/\text{Personne}) = 40 \times 50 = 2000\text{kCal/h}$$

Chaleur des équipements : Soit 50 kCal/h chaleur dégagée par ordinateur.

$$Q_{\text{équipements}} = \text{nombre} \times (Q/\text{ordinateur}) = 40 \times 50 = 2000\text{kCal/h}$$

Chaleur de l'éclairage: soit 5W/m² chaleur dégagée par l'éclairage.

$$A = \text{Surface des salles (m}^2\text{)} = 147\text{m}^2, Q_{\text{éclairage}} = A \times W/\text{m}^2 = 147 \times 5 = 735 \text{ W} = 630 \text{ kCal/h}$$

En total, le bilan sera :

$$\text{Déperditions} = 3500 + 1690 + 13000 = 18190\text{kCal/h}$$

$$\text{Apports} = 2000 + 2000 + 630 = 4630\text{kCal/h}$$

$$\text{Besoins en chauffage} = 18190 - 4630 = 13560\text{kCal/h}$$

$$\text{Donc le bilan thermique hiverné} = 13560\text{kCal/h} = 15500\text{W}$$

Consommation d'énergie relative au chauffage :

On aura recours au chauffage statique à eau chaude qui est un des modes de chauffage les plus utilisés au Liban. Le corps de chauffe sera le radiateur.

Le radiateur choisi : h = 69cm - 4sections Capacité calorifique par élément = 135 kCal /hr et espace entraxe entre les éléments = 6.5cm. Donc le nombre d'éléments de radiateur = bilan/135 = 13560/135 = 100éléments

On les répartit, en mettant 4 radiateurs de 10 éléments dans la salle 1 et 2 et 2 radiateurs de 10 éléments dans la salle 3. Donc en total il nous faut 10 radiateurs.

Pour la source d'eau chaude on considère des pompes à chaleur de rendement égal à 3 (en hiver).

Hypothèses :

- Rendement pompes à chaleur = 3 (en hiver)
- Durée moyenne de chauffage=96 jours/an et 5h/jour
- Facteur de simultanéité =0.8

	Surface	Puissance thermique	Puissance électrique	Taux d'utilisation		F.sim	Energie électrique
Chauffage	m ²	W	W	Jours	h/Jours	%	Wh/m ²
	210	15500	5200	96	5	0.8	9300

Tableau II.1. Consommation d'énergie relative au chauffage

Rendement = $P_{\text{utile}}/P_{\text{consommée}} = 3 = 15500/P_{\text{consommée}}$. $P_{\text{électrique consommée}} = 5200\text{W}$. La consommation énergétique due au chauffage est importante, donc on a intérêt de se recourir à l'étude de la construction améliorée en tenant compte de toutes les améliorations disponibles sur le marché libanais dans le but de diminuer la consommation énergétique totale.

4-Isolation du bâtiment:

Un isolant thermique est un matériau ayant une faible conductivité thermique. Ce type de matériau a pour caractéristique de freiner les échanges de chaleur entre l'intérieur et l'extérieur d'un bâtiment. Concrètement, les matériaux isolants évitent les fuites de chaleur vers l'extérieur en hiver. Dans le choix d'un isolant, il est également important de tenir compte de sa toxicité éventuelle, de son épaisseur et de son coût. Après une recherche dans le marché des isolants, on a décidé d'utiliser « Extruded Polystyrene (XPS) Rigid Foam Insulation ». Cet isolant d'épaisseur 2.5cm est placé verticalement contre les murs pour l'amélioration des parois opaques. Le mode d'isolation utilisé est l'isolation de l'intérieur, car c'est plus facile à mettre en œuvre et moins cher à l'investissement.

$$\lambda_{\text{XPS}}=0.026\text{W/m.K}, \text{ donc } R_{\text{XPS}}=0.025/0.026=0.96$$

$$R_{\text{total mur extérieur avec isolation}}=0.47+0.96=1.43 \text{ m}^2.\text{K/W}$$

$$\text{Donc } U_{\text{tr}} \text{ totale mur extérieur avec isolation}=1/1.43 = 0.7 \text{ W/m}^2.\text{K}$$

$$Q_{\text{fuite murs extérieur avec isolation}} = 0.7 \times 41 \times 3 \times (20-5) = 1290 \text{ W} = 1110 \text{ kCal/h}$$

Aussi isolant la dalle en appliquant le XPS de 2.5 cm d'épaisseur.

$$R_{\text{XPS}}=0.025/0.026=0.96, \text{ donc } R_{\text{dalle isolée}}=0.42+0.96=1.38\text{m}^2.\text{K/W}$$

U_{tr} dalle isolée = $1/1.38 = 0.72W/m^2.K$

Q dalle avec isolation = $0.72 \times 210 \times 2 \times (20-5) = 4540W$
 =3900kCal/h

5- si on remplace le simple vitrage par un double vitrage
 le nouveau U_{tr} double vitrage= $2.2W/m^2.K$

Q fuite des fenêtres = $2.2 \times 15 \times 1 \times 1.5 \times (20-5) = 740 W$
 = 640 Kcal/h

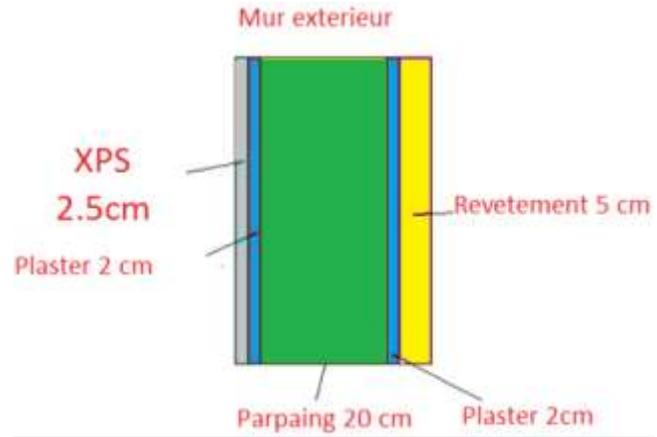


Figure II.5. Mur extérieur avec isolation

6-7-8- Nouveaux besoins en chauffage :

Avec isolation: Déperditions= $1110+3900+640=5650kCal/h$

Apports= $2000+2000+630=4630kCal/h$

Besoins en chauffage= $5650-4630=1020kCal/h$

Donc le bilan thermique avec isolation = $1020kCal/h=1160W$

	Surface	Puissance thermique	Puissance électrique	Taux d'utilisation		F.sim	Energie électrique
				Jours	h/Jours		
	m ²	W	W			%	Wh/m ²
Chauffage avant l'isolation	210	15500	5200	96	5	0.8	9300
Chauffage après l'isolation	210	1160	386.67	96	5	0.8	696

Tableau II.2. Consommation d'énergie avant et après l'isolation

Economies dues à cette amélioration :

Après avoir recalculé le flux de fuite suite à l'amélioration, on aboutit à l'économie sur la puissance thermique et électrique. En plus, comme dans le cas de la construction courante, on détermine la période de chauffage par : 96 jours de chauffage par an avec 5h/jour, et un facteur de simultanéité de 0.8. D'où on aboutit à l'économie en énergie électrique en hiver et par suite à l'économie en énergie totale. Toutes ces économies sont dressées dans le tableau suivant:

	économie sur la	économie sur la	économie sur l'énergie électrique
Chauffage	Puissance thermique	Puissance électrique	
	= 15500 – 1160 = 14340 W	= 5200 – 386.67 = 4813.33 W	= 9300 – 696 = 8604 Wh

Tableau II.3. Economie sur l'énergie électrique

Maintenant, on calcule l'économie sur la facture électrique pour l'EDL et pour le générateur du quartier :

économies sur la facture électrique		
Chauffage	EDL	Générateur
	850 \$	2600 \$

Tableau II.4. Economie sur la facture électrique-chauffage

On calcule le coût total représentant le prix d'achat et le surcoût de l'isolation pour arriver à calculer le temps de retour de cette amélioration.

Isolation	Epaisseur (m)	Surface (m ²)	Prix unitaire (\$/m ²)	Prix total (\$)
Mur	0.025	=41x3 = 123	8.3	1021
Roof	0.025	210	8.3	1743
Total :				2764

D'où on aboutit au temps de retour en considérant les deux tarifs de l'EDL et du générateur :

EDL : = 2764/850 = 3.5 ans et GEN : = 2764/2600 = 1 an

En ce qui concerne le double vitrage :

	Simple vitrage	Double vitrage
Flux de fuite des fenêtres (hiver)	11564 W	10725 W

Tableau II.5. Flux de fuite des fenêtres simple et double vitrage

D'où on aboutit à l'économie sur la puissance thermique et électrique. Et en tenant compte qu'on a 96 jours/an de chauffage durant 5h/jour et un facteur de simultanéité de 0.8, on aboutit à l'économie en énergie électrique :

	économie sur la	économie sur la	économie sur l'énergie électrique
Flux de fuite des fenêtres (hiver)	Puissance thermique	Puissance électrique	
	= 11564 – 10725 = 839 W	= 839/3 = 280 W	151 Wh

D'où l'économie sur la facture électrique :

économies sur la facture électrique		
	EDL	Générateur
Flux de fuite des fenêtres (hiver)	16 \$	46 \$

Tableau II.6. Economie sur la facture électrique-flux de fuite

Sachant que le coût du double vitrage choisi est de 160\$/m² et celui du vitrage simple 125\$/m², en tenant compte du prix des fenêtres de simple vitrage et de celui des fenêtres de double vitrage, le surcoût du double vitrage est équivalent à $= 35 \times 1 \times 1.5 \times 15 = 787.5\$$.

Donc le temps de retour EDL : $787.5/16 = 50$ ans et GEN : $787.5/46 = 17$ ans.

Après avoir effectué une propre étude sur une construction courante à Beyrouth, il est clair que des améliorations bien faites à cette construction présentent des bénéfices économiques importants.

- Isolation : l'isolation présente l'économie la plus importante en consommation d'énergie électrique, donc une bonne isolation est un besoin dans notre construction.
- Double vitrage : le double vitrage possède le temps de retour le plus grand mais on ne perd rien si on le fait partie de notre amélioration. En plus, le double vitrage nous offre une isolation sonore.

II.11. Conclusion :

Comme nous l'avons vu à travers d'exemple précédent, la performance thermique du bâtiment est essentielle pour le confort des utilisateurs. Il est important donc d'intégrer ces préoccupations dès la conception des bâtiments en respectant une règle d'or : le confort thermique et le confort acoustique qui doivent être étudiés en même temps. Donc, la consultation de spécialistes est donc recommandée très en amont du projet, elle facilite le choix des meilleures solutions techniques à mettre en œuvre.

Chapitre III :
Coût, Qualité et Durabilité dans la
construction en béton armé.

III.1. Introduction:

En addition à ces éléments que nous le traitons dans le chapitre précédent : sécurité, confort, esthétique et économique. Il y a des autres éléments qui ont des effets principaux à la conception et dans la construction où ce chapitre illustre la notion de la durabilité, le coût et la qualité avec leur effet sur un bâtiment.

Comment peut-on assurer ces quatre éléments dans une construction rigide ? Et quelles sont les facteurs qui affectent ces éléments ?

III.2. Le management, la qualité, le coût et la durabilité:

Le management est la principale étape pour assurer une construction rigide en respectant les caractères de coût, qualité et par suite la durabilité. En effet un management est un processus par lequel des résultats sont obtenus de façon efficace et performante, via et avec autrui.

En effet, l'industriel *„Henri Fayol’* énonce les cinq principales activités exercées par le manager, regroupées sous l'expression « processus de management » : *„il s'agit de prévoir, d'organiser, de commander, coordonner et contrôler’*. Les ouvrages les plus répandus sur le sujet traitent tous de ce processus de management généralement ramené à quatre phases : planifier, organiser, diriger et contrôler.

Premièrement, la planification est une phase de processus de management englobant la définition d'objectifs, l'élaboration d'une stratégie et le développement de plans pour coordonner les activités.

Deuxièmement, l'organisation ainsi est une phase de processus de management consistant à déterminer les tâches devant être effectuées, qui doit s'en charger, comment regrouper les missions, qui rend des comptes à qui et le niveau auquel les décisions sont prises.

Direction est la troisièmement phase de processus de management comprenant la motivation des personnes, l'administration des activités des autres collaborateurs, le choix du canal de communication le plus probant et des messages le plus percutants ainsi que la résolution des conflits.

Et finalement la quatrième phase de processus est le contrôle de management visant à surveiller les performances, à les comparer avec les objectifs et à corriger tout écart éventuel.

Donc, une qualité, une durabilité avec un coût convenable seront assurés en appliquant les quatre processus précédents pour une construction durable et rigide.

III.3. Le Coût :

L'indice de coût de la construction est un indice permettant d'apprécier l'évolution des prix des bâtiments neufs à usage principal d'habitation, il est calculé chaque trimestre. Cependant, une analyse des coûts de cycle de vie est un outil d'aide à la décision économique qui permet de différencier les projets d'investissement en comparant les coûts totaux engendrés par différentes options pendant la durée de vie prévue d'un ouvrage ou d'un projet.

D'abord, un bâtiment est construit pour une durée de vie très longue, au cours de laquelle différents frais de maintenance et d'exploitation, viendront renchérir considérablement le coût initial de l'opération. C'est pourquoi la notion de coût global a été créée, permettant ainsi d'évaluer un bâtiment non pas seulement sur le coût de construction mais également sur les coûts de fonctionnement tout au long de sa vie. Alors, la période d'analyse doit correspondre au cycle de vie complet de l'ouvrage, c'est à dire de sa réalisation à sa démolition.

Donc, l'objectif de la détermination du coût global du bâtiment est de connaître les futurs coûts d'utilisation pour les prévoir, afin d'optimiser les dépenses d'investissement au regard des dépenses futures. En effet, la norme ISO définit notamment deux concepts avec deux périmètres de coûts associés :

- le coût global ("life-cycle cost") qui inclut l'ensemble des coûts supportés par le maître d'ouvrage et les utilisateurs,
- le coût global étendu ("whole life cost") qui comprend une liste plus large des coûts et bénéfices, incluant des aspects financiers et fiscaux, des éléments intangibles liés aux impacts de la construction, la qualité d'usage, l'activité de l'organisation, engendrées par le projet.

Alors, le coût global comprend le coût de construction, d'exploitation, de maintenance et de fin de vie de l'ouvrage. En effet, pour chaque opération, ces coûts apparaissent à différents moments dans le cycle de vie de l'ouvrage et il n'est donc pas convenable de les comparer directement.

Enfin, la conception est un procédé plus complexe que la vérification, car le concepteur doit choisir la forme, les dimensions et l'armature parmi un éventail de possibilités de façon à réduire au minimum le coût de la réalisation tout en respectant les critères suivants:

- le respect des plans architecturaux,
- le respect des normes,
- La faisabilité technique.

La conception d'un système ou d'une ossature entière constitue donc le travail d'une équipe pluridisciplinaire maîtrisant à la fois les aspects théoriques de calcul et les contraintes pratiques d'exécution.

III.4. La durabilité:

Une durabilité est une caractéristique essentielle pour les matériaux et les éléments de construction. Cette affirmation sera facilement acceptée par les personnes concernées, tandis que la définition de la durabilité pourra faire l'objet de discussions.

Premièrement, la durabilité de l'ouvrage caractérise sa capacité à conserver les fonctions d'usage, pour lesquelles il a été conçu (fonctionnement structurel, sécurité, confort des usagers), et à maintenir son niveau de fiabilité et son aspect esthétique dans son environnement, avec des frais de maintenance et d'entretien aussi réduits que possible.

Ensuite, la durabilité du maintien de ses fonctions doit être assortie d'une durée, temps minimal et raisonnable pour lequel l'ouvrage est conçu, qui est appelé la durée de service de l'ouvrage (ou durée d'utilisation de projet). La prise en compte de cette durabilité permet de valider et de justifier la rentabilité de l'investissement.

En plus, le critère de durabilité doit être notamment vérifié par le choix de la classe de résistance de béton. Il est statistiquement toujours vérifié pour répondre avant tout au besoin de résistance imposé par le choix de classe de résistance de béton.

Ainsi, le premier élément qui affecte la durabilité dans la construction est le béton par sa performance mécanique requise à 28 jours associés éventuellement à un principe de dosage correct en ciment et une bonne compacité, ces deux prescriptions pouvaient effectivement garantir une certaine durabilité du matériau béton.

En addition, la conception d'une construction durable est liée ainsi d'un principe énergétique et technique, ces principes suggèrent de concevoir des bâtiments compacts et bien isolés, où l'éclairage (naturel et artificiel) et la ventilation (naturelle ou parfois mécanique, niveau d'infiltration) sont bien maîtrisés. En effet de nombreux dispositifs architecturaux permettent de renforcer les gains gratuits dont peut bénéficier le bâtiment. (Apports solaires, protection du vent, géothermie...)

Cependant, le bâtiment doit offrir un confort thermique et visuel à ses occupants, la température de confort s'obtient par la moyenne de la température de l'air et de celle des parois. Il est donc important d'éviter les parois froides, inconfortables.

À l'extérieur, il est aussi important de prévoir des zones ensoleillées (protégées du vent) pour les périodes hivernales et la mi-saison, et des zones d'ombre en plein été. Le confort visuel dépend de la quantité de lumière et de la qualité des vues offertes aux occupants. Il est aussi important de considérer la qualité de la vue offerte au voisinage et surtout l'ombre qu'on pourrait lui porter. (Figure III.1, III.2 et III.3)

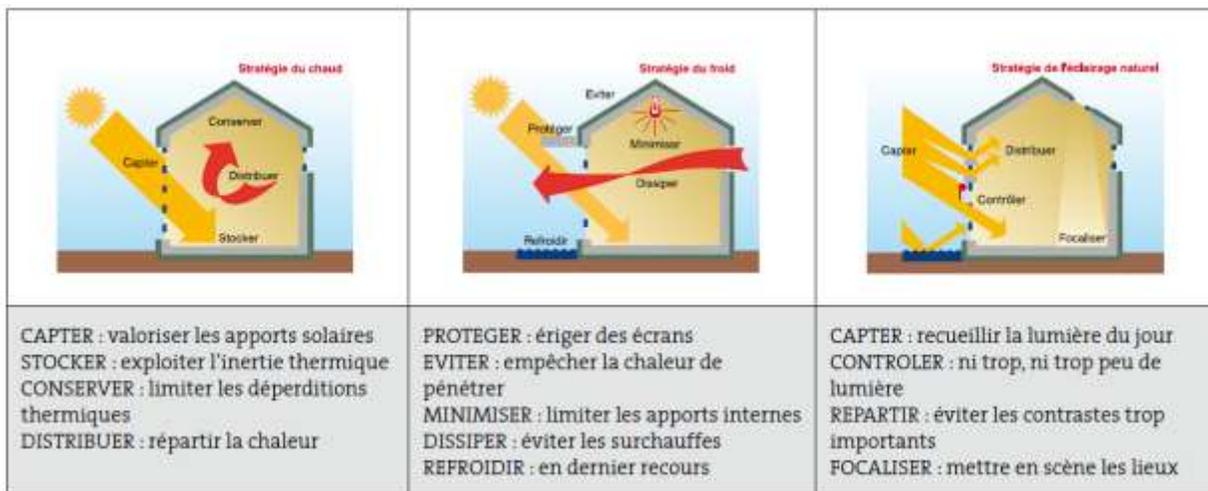


Figure III.1 : Stratégie du chaud en période hivernale.

Figure III.2 : Stratégie du froid en période estivale.

Figure III.3 : Stratégie de l'éclairage naturel

Donc, la durabilité d'un ouvrage ne concerne pas les matériaux utilisés dans la construction mais elle concerne ainsi les éléments des confort selon les principes énergétiques, technique, visuel, et thermique qui nous les étudions dans le chapitre précédent on peut conclure donc que la sécurité, le confort, l'économique, servent d'assurer une durabilité du l'ouvrage.

III.5. La qualité:

La qualité aujourd'hui devient de plus en plus importante dans tous les domaines des activités d'organisations et dans toutes les sphères de la vie d'individu et de la société. Les entreprises investissent beaucoup d'argent pour améliorer la qualité, où une qualité est un concept qui ne peut pas être mesuré sur une échelle de temps.

1. Le management de la qualité :

Le management de la qualité se définit par l'ensemble des activités qui permettent l'orientation et le contrôle d'une structure dans le domaine de la qualité. Par définition le management de la qualité inclut les activités d'assurance qualité, d'amélioration de la qualité, de contrôle de la qualité, de maîtrise de la qualité, de planification de la qualité, etc. On retrouve dans cette définition les grands thèmes du management.

2. Tendances et orientations des sciences modernes du management de la qualité :

Nous suggérons l'idée que les sciences modernes du management de la qualité sont liées à la culture humaine et que leurs fondements sont d'une importance primordiale pour la croissance, le développement et l'amélioration de la personnalité.

Au cours de l'histoire, la définition de la qualité a évolué et changé. « *A. Shewhart (1989)* » fut l'un des premiers, à s'intéresser à l'introduction et au développement de la gestion de la qualité. Ensuite, tout comme dans l'œuvre d'Aristote (384– 322 avant JC), il envisage la qualité selon deux perspectives liées: la part objective et la part subjective de la qualité. D'une part, la première approche envisage la qualité comme une réalité objective indépendante de l'existence de l'homme. D'autre part, et par contre l'approche subjective considère que nos pensées, nos sentiments et nos sens sont le résultat d'une réalité objective.

En effet, le béton armé est un matériau de construction qui se fabrique à partir de composants hétérogènes mais complémentaires où, la qualité du ciment est un gage important de celle du béton armé, dont elle détermine en partie de la résistance. Face à cela, le béton présente aussi des qualités qui le rendent intéressant dans son usage : on découvre qu'il est notamment résistant au feu, imputrescible, et qu'il correspond à un coût de mise en œuvre avantageux. Pour certains, ces atouts constituent des raisons suffisantes de persévérer pour l'inscrire parmi les

techniques de construction. Donc, le béton armé est convenable par ses caractéristiques à la conception sociale et égalitaire, rationnelle, de l'architecture moderne.

III.6. Exemples:

III.6.1. Exemple no. 01:

On a des plusieurs choix de la construction du bâtiment, certainement un de ces choix sont plus défavorables de l'autre. Durant la construction du bâtiment on a deux méthodes de construire l'une traditionnelle et l'autre moderne. Quelles sont ces deux méthodes ?

D'abord, la première méthode de construction est la méthode traditionnelle en d'autre terme c'est la construction qui s'appuie sur les principaux éléments de construction c'est-à-dire des fondations, colonnes, poutres et dalles avec les éléments de fermeture tout-à-tour l'ouvrage qui sont les murs extérieurs formées des maçonneries d'épaisseur 10 cm, et d'une menuiserie forme de vitrage de 6mm d'épaisseur.

Ensuite, la deuxième méthode de construction est la méthode moderne en d'autre terme c'est la construction qui sera conforme avec les règles d'art moderne de la construction. Ces règles comprennent en addition aux éléments structuraux principaux de constructions un double mur extérieur d'épaisseur 25cm formé par deux couches des maçonneries d'épaisseur 10cm séparés par une lame d'air de 5cm, et d'une menuiserie forme de double vitrage d'épaisseur par exemple 24mm constitue de deux vitrage de 6mm d'épaisseur avec une lame d'air de 12mm.

Dans ces deux cas, une comparaison thermique propose les paramètres suivants :

q'' : rapport de transfert d'énergie par unité en W/h.

q'''' : rapport d'un flux thermique de transfert d'énergie par surface en W/m².

K : conductivité thermique de matériaux en W/m k.

A : la surface = aire en m².

ΔT : différence de température.

ΔL : l'épaisseur de matériaux à étudier en m.

Avec ; $q'' = K A \frac{\Delta T}{\Delta L}$, $q'''' = \frac{q''}{A}$

Si nous sommes en hiver avec une température extérieur de 5°C et une autre intérieur de 25°C, et avec la conductivité thermique d'un mur de maçonneries est K = 0.72 W/m k, d'un air K= 0.025 W/m k, et d'un verre K = 1.1 W/m k. avec H_{hauteur du mur} = 3.3m.

Pour plus de comparaison exact il faut de prendre la même épaisseur de mur et du verre l'une d'épaisseur continue et l'autre d'épaisseur comprend d'air intermédiaire.

- Le premier cas donne le suivant (Epaisseur mur=25cm, et Epaisseur verre=2.4cm de la fenêtre de 2 m de largeur et 1.5m de hauteur)

$q''_{mur} = K A \frac{\Delta T}{\Delta L} = 0.72 \times (3.3 \times 1) \times (25-5)/0.25 = 190.1 \text{ W/h}$, Et $q''' = 190.1/3.3 = 57.6 \text{ W/m}^2$ par heure.

$q''_{verre} = K A \frac{\Delta T}{\Delta L} = 1.1 \times (2 \times 1.5) \times (25-5)/0.024 = 2750 \text{ W/h}$, Et $q''' = 2750/(2 \times 1.5) = 916.67 \text{ W/m}^2$ par heure.

- Le deuxième cas donne le suivant (Epaisseur mur=25cm formé de deux blocks de maçonneries de 10cm d'épaisseur avec une lame d'air de 5cm d'épaisseur, et Epaisseur verre=2.4cm formé de double vitrage de 6mm d'épaisseur avec une lame d'air de 12mm d'épaisseur avec une fenêtre de 2 m largeur x 1.5m hauteur)

$q''_{mur} = \frac{\Delta T}{R_{total}}$, avec $R_{total} = \frac{\Delta L}{K \cdot A}$, $R_{total} = R_{mur} + R_{air} + R_{mur}$

Avec $R_{mur} = 0.1/(0.72 \times 3.3) = 0.042$ Et $R_{air} = 0.05/(0.025 \times 3.3) = 0.61$,

Donc $R_{total} = 0.042 + 0.61 + 0.042 = 0.694$, $q''_{mur} = \frac{(25-5)}{0.694} = 28.82 \text{ W/h}$ Et $q''' = 28.82/3.3 = 8.73 \text{ W/m}^2$ par heure.

$q''_{verre} = \frac{\Delta T}{R_{total}}$, avec $R_{total} = \frac{\Delta L}{K \cdot A}$, $R_{total} = R_{verre} + R_{air} + R_{verre}$

Avec $R_{verre} = 0.006/(1.1 \times 2 \times 1.5) = 0.0018$ Et $R_{air} = 0.012/(0.025 \times 2 \times 1.5) = 0.16$,

Donc $R_{total} = 0.0018 + 0.16 + 0.0018 = 0.164$, $q''_{verre} = \frac{(25-5)}{0.164} = 122 \text{ W/h}$

Et $q''' = 122 / (1.5 \times 2) = 40.67 \text{ W/m}^2$ par heure.

Alors,

Les cas	Première cas		Deuxième cas	
Les flux thermique	Simple mur (25cm)	Simple vitrage (24mm)	Double mur (25cm= 10cm mur + 5cm air + 10cm mur)	Double vitrage (24mm= 6mm verre + 12mm air + 6mm verre)
q'' (W/h)	190.1	2750	28.82	122
q''' (W/m ² par heure)	57.6	916.67	8.73	40.67

Tableau III.1. Différence entre simple / double mur et vitrage.

Donc, du part économique le coût de double mur sera augmenté de 50% que seul du simple mur. Ainsi, le coût de simple vitrage d'épaisseur 6mm est 12 dollars/m² tandis que le coût de double vitrage est 30 dollars/m² c'est-à-dire il augmente de 60% que seul de simple vitrage.

Alors, ces deux critères ont augmenté le coût durant la construction de 55%, et par ailleurs ils serrent à la réduction de coût de consommation d'énergie comme on a déjà vue dans le chapitre précédent.

III.6.2. Exemple no. 02 :

Un autre exemple, si on utilise un béton avec un dosage incorrect de ciment, de sable, de gravier et de l'eau de but de réduire le coût initial, on peut réduire le coût dans la première phase ainsi on réduire le durée de vie de l'ouvrage contrairement à une dosage suffisante du béton qui permet d'augmenter le durée de vie de l'ouvrage c'est-à-dire la durabilité.

Dosage béton :

Pour le béton dit „standard” tous usages : il faut le doser à 350kg de ciment par mètre cube de béton. Ce dosage s'obtient très facilement par la règle des 1-2-3 : pour remplir la bétonnière, mettre 1 seau de ciment, 2 seaux de sable, et 3 seaux de graviers.

Dosage de l'eau : la quantité d'eau d'une gâchée est, en litres, égale à la moitié de la valeur du poids du ciment : 350 kg de ciment = 175 L d'eau.

Volume du béton en m ³	Ciment en Kg	Eau en L	Sable en Kg	Gravier en Kg
1	350	175	630	1200

Tableau III.2. Dosage de 1 m³ du béton.

Le tableau suivant montre le dosage en volumes de sable, graviers, eau par rapport au volume de ciment et au type d'utilisation :

Produit	Volume de ciment	Volume de sable	Volume de graviers	Volume d'eau
Béton pour fondations.	1	2.5	3.5	1/2

Béton tous usages linteaux, poteaux	1	2	3	1/2
Mortier	1	4	0	1/2

Tableau III.3. Le dosage en volume de sable, graviers et l'eau par rapport au ciment.

Quantité à acheter pour la fabrication du béton et du mortier : Dosage en masse pour obtenir 1 m³ de produit :

Produit	Masse de ciment (sacs de 35 kg)	Masse de sable	Masse de graviers
Béton pour fondations.	300 kg (8,6 sacs)	720 kg (0,52 m ³)	1165 kg (0,73 m ³)
Béton tous usages linteaux, poteaux	350 kg (10 sacs)	680 kg (0,49 m ³)	1175 kg (0,74 m ³)
Mortier	400 kg (11,4 sacs)	1400 kg (1 m ³)	0

Tableau III.4. Dosage en masse pour 1 m³ de produit.

L'ordre de grandeur pour les prix est :

- 8 \$ le sac de ciment
- 35 \$ la tonne de sable livrée (dépend de la quantité achetée et du lieu de livraison)
- 30 \$ la tonne de graviers livrée (dépend de la quantité achetée et du lieu de livraison)

D'une part, pour 1 m³ du béton avec un dosage correct on a besoin de 350Kg de ciment, 680Kg de sable et 1175Kg de graviers. Donc, le prix de 1 m³ est égale a :

$$1 \text{ m}^3 = (10 \text{ sacs} \times 8\$) + (680 \times 35 / 1000) + (1175 \times 30 / 1000) = 80 + 23.8 + 35.25 = 139.05 = 140 \$$$

D'autre part, un dosage incorrect de but de réduire de coût ou de but de voler le client se fait par exemple en utilisant 8 sacs du ciment avec 550Kg de sable et de 950Kg de graviers avec une exagération de la quantité d'eau utilisés. Donc, le prix de 1 m³ sera :

$$1 \text{ m}^3 = (8 \text{ sacs} \times 8\$) + (550 \times 35 / 1000) + (950 \times 30 / 1000) = 64 + 19.25 + 28.5 = 111.75 = 112 \$, \text{ par ailleurs } 20\% \text{ du prix doit être conservé dans ce cas.}$$

Donc, un dosage incorrect n'affecte pas seulement le coût il affecte ainsi la qualité et par suite la durabilité en d'autre terme la durée de la vie de l'ouvrage, qui se traduit sur la performance mécanique et structurelle du béton.

De même le dosage en ciment est limité à 400 kg/m³ de béton en place. Au-delà le ciment et l'eau seraient en trop forte concentration dans le béton. Cela aurait pour effet de produire des fissures (retrait) ce qui nous étudions dans le chapitre suivant.

III.7. Conclusion:

On peut conclure que la qualité, le coût, et la durabilité fait une relation triangulaire dans une construction. Où un coût suffisant se réagit avec une bonne qualité pour maintenir la durabilité.

De ce chapitre on peut ouvrir la porte au chapitre suivant qui parle de la fissuration de leur cause, de leur type et des solutions pour le traiter. Face à cela est-ce-que la fissuration du béton dans la construction affecte leur durabilité ?

Chapitre IV :
Fissuration dans la construction, causes,
conséquences et solutions.

IV.1. Introduction:

Une fois les travaux terminés, une nouvelle vie du bâtiment commence, Par conséquent, il faut étudier et analyser les pathologies de l'ouvrage avant tous travaux. Ces pathologies peuvent être classées selon les 4 familles suivantes:

- Les dégradations d'ordre structurel.
- Les déformations.
- Les dégradations.
- **Les fissurations.**

Dans ce chapitre nous nous focaliserons sur les fissurations, leur repérage, leur suivi, leur analyse et enfin leur traitement.

IV.2. Fissuration:

IV.2.1. Définition:

Deux types de fissuration s'apparait dans la construction l'une attaque le béton et l'autre attaque les maçonneries. Quelles sont les caractères des fissures ? Quelles sont les causes des fissurations ? Quelles sont leurs conséquences ? Et comment peut- on les traiter ?

IV.2.2. Comment caractériser une fissure ?

Une fissure peut-être caractérisée par 4 éléments :

- Son ouverture : C'est la largeur entre les lèvres qui peut être évaluée à l'œil nu et peut se mesurer avec précision à l'aide d'un fissuromètre ;
- Son tracé : C'est le développé de la fissure visible, sur toutes les surfaces de la structure ;
 - Orientation
 - Position sur l'élément structurel
- Sa profondeur : selon son caractère traversant ou non, la fissure peut être qualifiée de différentes façons :
 - Fissure de surface : fissure qui ne traverse pas l'épaisseur de la structure. L'ouverture dans ce cas est maximum en surface et nulle au sein du matériau.
 - Fissure traversant : fissure visible sur au moins 2 faces de la structure.
 - Fissure aveugle : fissure traversant mais non accessible d'un ou plusieurs côtés de la structure.

- Son activité :
 - Fissure passive ou morte : fissure dont l'ouverture ne varie plus dans le temps, quelles que soient les conditions de température ou de sollicitation de l'ouvrage, car leur cause a disparue ou est devenue négligeable.
 - Fissure active : fissure qui varie dans le temps en fonction des gradients thermiques, des sollicitations de l'ouvrage ou des défauts d'exécution, et des tassements.

IV.2.3. Les types des fissures :

Selon ses caractéristiques, une fissure peut être classée en plusieurs types :

- Microfissure : fissure très fine au tracé plus ou moins régulier et le plus souvent discontinu et à l'ouverture inférieure à 0,2 mm. Elle peut évoluer jusqu'à former un réseau.
- Faïençage : craquelure superficielle des peintures, vernis, enduits et béton, sous forme de fins réseaux de microfissures de largeur inférieure à 0.2mm, disposées en mailles régulières fermées, de quelques cm de cote. Le faïençage traduit un retrait (évaporation de l'eau contenue dans le liant) superficiel trop important ou trop rapide, mais n'a qu'un inconvénient esthétique.
- Fissure : fente visible affectant la surface d'une maçonnerie, d'un dallage, etc. par convention, la fissure mesure 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. 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 de mouvements du sol.
- Lézarde : longue fente qui a la forme d'un zigzag avec une ouverture supérieure à 2 mm. Elle traduit généralement soit un mouvement du terrain ou bien un tassement de ce dernier, soit un manque ou rupture de chaînage.

Le tableau suivant montre ces types des fissures :

Type de fissure	Taille des fissures (mm)	Remarques
Micro fissure	< 0.2mm fissure très fines et superficielles	Infiltration douce de l'eau au niveau de l'enduit pouvant provoquer le décollement de l'enduit
Fissure fine	Entre 1 et 2 mm	Il faut vérifier la stabilité de ces fissures en fonctions du temps. réparer les fissures qui n'évolueraient pas au futur (fissures passives), et chercher les causes des propagations des fissures pour stabiliser ainsi celles qui tendent à évoluer dans le temps (les fissures actives)
Grosse fissure ou lézard	> 2 mm	Les causes sont souvent structurelles, il est nécessaire d'envisager le problème de construction dans ce cas.

Tableau IV.1. Types des fissures selon leur dimension

IV.3. Les cause :

Les ouvrages ou éléments d'ouvrages fissurent quand ils sont soumis à des contraintes trop importantes ou quand les déformations qui les affectent (retrait, dilatation thermique) sont bloquées, donnant ainsi naissance à des forces internes génératrices de fissures.

- Fissures caractéristiques des cassures dites du béton frais
- Fissures due à une insuffisance de résistance à la flexion d'une poutre en béton précontraint.
- Fissuration due à une alcali-réaction du piedroit d'une culée.
- Le tassement du béton ;
- Les différentes formes de retrait ; plastique – endogène – de séchage – thermique.
- Les mouvements de la structure ;
- L'application de charges imprévues ;
- La nature des granulats utilisés.

Les photos qui suivent donnent des exemples de fissures et leurs causes :



Figure IV.1. Fissures caractéristiques des cassures dites du béton frais.

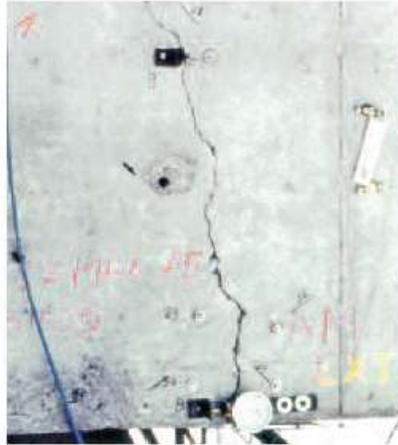


Figure IV.2. Fissures dues à une insuffisance de résistance à la flexion d'une poutre en béton précontraint



Figure IV.3. Fissuration due à une alcali-réaction du piédroit d'une culée

Bien que tous les bétons présentent certaines fissurations, leur propagation peut être aggravé par une mauvaise conception ou des pratiques de construction inappropriées telles que:

- L'absence ou la réalisation inadéquate de joints;
- La préparation inadéquate de l'infrastructure;
- L'utilisation d'un béton avec un affaissement élevé sans réducteur d'eau ou l'ajout excessif d'eau au chantier ;
- La finition inappropriée;
- Une mauvaise évaluation des conditions climatiques (vents, température du béton et de l'air ambiant, humidité relative;)
- L'absence ou la réalisation inadéquate de la cure.

IV.3.1. Diagnostic et analyse des causes des fissurations :

Dans le cas d'une fissure, il faut pouvoir faire la distinction entre une fissure pathologique, c'est-à-dire qu'elle est le témoignage d'une « maladie », et une fissure pathogène qui peut engendrer une maladie. La différence entre ces 2 types de fissures dépend essentiellement de l'origine, de l'environnement et de l'ouverture de la fissuration:

- fissure témoignant un désordre – pathologique :
 - Infiltration d'eau et épisode de gel
 - Sol argileux
 - Affaissement et effondrement souterrain

- Instabilité de l'assise de la construction
- Accident et sinistre.
- Fissure engendrant un désordre – pathogène :
 - Fissures parallèles aux aciers, conduisant à une corrosion rapide de ceux-ci, et à la destruction progressive des structures ;
 - Fissures permettant des infiltrations d'eau dans des ouvrages qui sont destinés à être étanches ou à contenir des fluides (liquides ou gaz) ;
 - Fissures mettant en cause la stabilité des ouvrages en affaiblissant progressivement la résistance mécanique des éléments structuraux, et conduisant à l'effondrement final ;

La surveillance des fissures ne suffit pas à établir les causes à l'origine de la fissuration. Donc il faut procéder à une analyse de la structure qui englobe le cadre spatial et temporel de l'établissement de la fissure.

IV.4. Traitement des fissures :

IV.4.1. Les fonctions du traitement :

Le traitement des fissures doit remplir plusieurs fonctions :

- une fonction d'étanchéité, en obstruant la fissure de façon à empêcher la pénétration de tout corps étranger et en particulier l'eau.
- une fonction de remplissage, l'espace vide est alors rempli par un matériau adhérent ou non, déformable ou non.
- une fonction mécanique, le matériau injecté rétablit alors le monolithisme de la structure, ses caractéristiques sont élevées et il adhère aux surfaces.

IV.4.2. Les méthodes du traitement :

Le traitement d'une fissure ou d'un ensemble des fissures en fonction de leur origine, de leur importance, de leur accessibilité, de leur activité ou non (fissures actives ou mortes) est de but de reconstitution de la continuité du matériau, d'étanchéité à l'air, d'étanchéité à l'eau sans ou sous pression, peut être recherché parmi trois techniques.

- Traitement des fissures par calfeutrement : consiste à colmater sur une certaine profondeur les fissures par un produit souple (mastic ou mortier), voire rigide pour rétablir une étanchéité à l'air ou à l'eau ou pour empêcher la pénétration de matières solides. Il s'applique donc aux fissures qui ne mettent pas en jeu la résistance de la structure. Il est bien adapté, par exemple, aux fissures des dallages industriels.



Figure IV.4. Calfeutrement de fissures à l'aide d'un mortier à base de liants hydrauliques.

Figure IV.5. Calfeutrement d'une fissure à l'aide d'un mastic à base de liants organiques.

- Traitement des fissures par pontage et protection localisée : Ce type de traitement consiste à mettre en surface du béton fissuré d'un produit souple adhérent à la surface du support (revêtement, feuille préfabriquée) qui laisse les fissures libres de mouvements. En plus il assure l'étanchéité et l'imperméabilité de l'élément. Il s'applique donc aux fissures qui ne mettent pas en jeu la résistance de la structure. Il est bien adapté, par exemple, à certaines fissures des balcons d'habitation quand elles ne compromettent pas la stabilité de ceux-ci... Donc, pour éviter une rupture du pontage, celui-ci ne doit pas être adhérent à proximité de la fissure (c'est ce que l'on appelle la rupture d'adhérence).

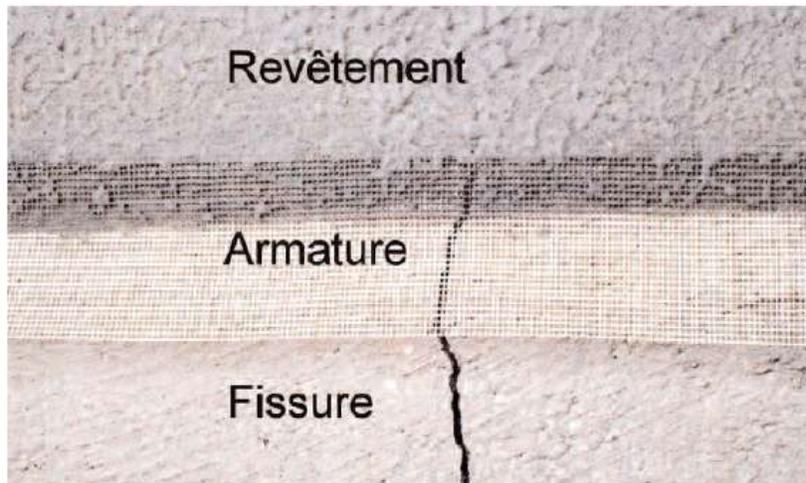


Figure IV.6. Pontage d'une fissure avec incorporation d'une armature (d'après un document, Sika relatif au Kika Top 107).

- Traitement des fissures par injection : Ce type de traitement est le plus important, nous allons le détailler ultérieurement, il consiste à faire pénétrer dans des fissures un produit susceptible de créer une liaison mécanique et /ou une étanchéité. Il ne s'applique normalement qu'aux fissures injectables, c.-à-d. dont l'ouverture est au moins comprise entre 0,1 et 0,2 mm. Puis, un cachetage se fait qui a pour but d'obturer provisoirement une fissure pendant l'injection afin de contenir le liquide injecté dans la fissure jusqu'à sa prise.

Méthode de traitement de fissure :	Fonction du traitement :			Domaine d'application :
	Étanchéité	Remplissage	Mécanique	
Par calfeutrement	X			Il s'applique aux fissures qui ne mettent pas en jeu la résistance de la structure. Il est bien adapté, par exemple, aux fissures des dallages industriels.
Par pontage et protection localisée	X			Il s'applique aux fissures qui ne mettent pas en jeu la résistance de la structure. Il est bien adapté, par exemple, à certaines fissures des balcons d'habitation quand elles ne compromettent pas la stabilité de ceux-ci...

Par injection	X	X	X	Il ne s'applique normalement qu'aux fissures injectables, c.-à-d. dont l'ouverture est au moins comprise entre 0,1 et 0,2 mm.
---------------	---	---	---	---

Tableau IV.2. Méthode de traitement.

IV.5. Traitement par injection :

Le traitement des fissures par injection sert à introduire dans les fissures du béton un produit afin de créer une liaison mécanique et d'étanchéité. De cette manière, il y a une action indirecte du traitement vis-à-vis de la corrosion des armatures. Par contre, cette méthode n'est idéale qu'en cas de fissures ayant des ouvertures de dimensions comprises entre 0.1 et 0.2mm. En plus l'injection des fissures ne peut redonner à la structure sa résistance mécanique, sauf dans les cas les plus simples. En pratique, elle est le plus souvent suivie par l'application d'autres techniques de réparation complémentaires, qui rendront à l'ouvrage sa résistance structurelle.

IV.5.1. Critères de choix des produits d'injection :

Le choix des produits d'injection comporte deux parties : le choix du produit à injecter proprement dit, et le choix du produit de cachetage des fissures qui permet d'obturer les lèvres des fissurations durant l'injection pour qu'elles contiennent le produit injecté jusqu'à sa prise.

Le produit d'injection doit être adapté aux spécificités du travail à exécuter. Les différents facteurs à prendre en compte :

- la géométrie des fissures ;
- l'activité ou non des fissures (fissures dites actives ou mortes) ;
- l'état du support ;
- la présence d'eau libre ou sous pression ;
- la tenue sous les sollicitations imposées à l'ouvrage ;
- Les délais imposés pour la remise en service de l'ouvrage,
- Etc.

Le choix des produits est lié à la typologie des défauts à remplir (qu'il s'agisse de fractures, de fissures, ou de réseaux capillaires) mais reste aussi étroitement lié à la méthode de mise en

œuvre choisie. C'est-à-dire que le choix des produits est fonction de la taille des interstices à remplir et de la dimension et de la forme des composants du produit injectable.

Par exemple les produits d'injection en présence d'eau sans ou sous pression peuvent être classés en deux grandes catégories :

- les produits hydrophiles ;
- les produits hydrophobes.

Certains produits hydrophiles, tels que certains gels, peuvent, en absence d'humidité, subir une perte importante de volume malheureusement, non réversibles. D'autres produits, dits hydrogonflants, ont les mêmes inconvénients.

Donc, les produits d'injection peuvent être d'une part de produits liquides tel-que les résines époxydes, les résines polyuréthanes, les résines de méthacrylate de méthyle, les résines polyacrylamides qui sont utilisables pour stopper des venues d'eau avant l'injection (il faut de rappelé que ces produits sont classés toxiques),.... et d'autre part de produits en phase aqueuse et suspension tel-que les coulis de ciment à base de ciment surbroyés (les coulis ainsi obtenus peuvent s'injecter dans des fissures fines), les coulis à base de silicates, les coulis à base de polyuréthanes gonflants pour stopper les venues d'eau,....etc.

En résumé, il est possible de choisir, soit des produits prêts à l'emploi normalisés certifiés ou non, soit des produits fabriqués sur le chantier, alors non normalisés.

IV.5.2. Critères de choix des produits de cachetage :

Le cachetage des fissures fait appel aux produits pâteux suivants à base de :

- résines époxydes ;
- résines polyester ;
- mastics polyuréthanes ;
- mastics de silicones ;
- mortier,
- Etc.

Lorsque les fissures à injecter sont actives, pendant la durée de mise en place des injecteurs qui est souvent de plusieurs jours, il est parfois impossible de stabiliser leur ouverture. C'est le cas, par exemple, lorsqu'il y a obligation de maintenir l'ouvrage en service. Le produit de cachetage doit donc être suffisamment souple pour absorber les mouvements des lèvres des fissures. L'expérience

montre qu'il suffit de disposer un cordon épais pour éviter tout décollement ou fissuration du cordon.

À la fin de l'injection, après durcissement du produit d'injection, les cordons de cachetage doivent être enlevés. Il est donc nécessaire de choisir un produit qui garantit une parfaite étanchéité tout en restant facile à enlever.

Figure IV.7. fissure en cours de cachetage (photo Freyssinet).



IV.6. Matériels à utiliser:

Les matériels à utiliser pour l'injection des fissures :

- les malaxeurs ;
- les pompes ou les réservoirs d'injection ;
- les liaisons entre les pompes et les injecteurs ;
- les injecteurs ou événements.

IV.6.1. Malaxeurs

Les produits d'injections sont en général à base de plusieurs composants (par exemple, une base et un durcisseur pour les résines époxydes, un mélange de liants hydrauliques et d'additions auquel il faut ajouter de l'eau ou un composant liquide, etc.). Il faut donc utiliser un malaxeur pour fabriquer le mélange qui sera ensuite introduit dans le matériel d'injection proprement dit.

Figure IV.8. Début du mélange résine et durcisseur (photo Freyssinet).



IV.6.2. Pompes et réservoirs d'injection

Suivant la nature du produit d'injection et les caractéristiques des fissures, il est possible d'utiliser plusieurs types de matériels comme les suivants:

- les pompes pour mono-composant;
- les pompes pour bi-composants;
- les pots à pression;
- les seringues et les pistolets;
- les réservoirs à simple pression gravitaire.

Les pompes, qu'elles soient pour des produits mono-composants ou bi-composants, sont essentiellement utilisées pour injecter de forts volumes de produits sous de gros débits.

Les pots à pression, les seringues, pistolets et réservoirs gravitaires malgré leur aspect rustique et leur faible technicité sont les meilleurs outils pour injecter les fissures sèches dont l'ouverture ne dépasse pas 1 à 2 millimètres.

- Cas des pompes pour mono-composants :

Ces pompes sont utilisées pour les injections des produits à base de liants hydrauliques ou pour des produits à plusieurs composants pré-mélangés avant leur introduction dans la pompe.

D'une part ces pompes peuvent être à basse-pression (pompes à air comprimé et à membrane). Elles sont utilisées, très couramment pour l'injection des résines et des produits visqueux, tels que des coulis ou des mortiers, mais dans de larges fissures.

D'autre part ces pompes peuvent être à haute-pression (pompes à pistons, à engrenages ou à membranes). Ce type de pompe est utilisé pour l'injection de fissures fines (< 0.3 mm) et lorsque cela est nécessaire (par exemple, présence d'eau sous pression) pour montrer leur efficacité.

- Cas des pompes pour bi-composants :

Ces pompes, toujours à haute-pression (entre 5 et 25 MPa soit de 50 à 250 bars), permettent à la fois de réaliser le mélange et d'injecter les fissures. Elles comportent deux pompes distinctes (une pour chaque composant, c'est-à-dire la base et le durcisseur). Le mélange s'effectue près du point d'injection dans un « pistolet mélangeur ».

Ces pompes permettent d'injecter de fortes quantités de produit mais leur réglage est délicat. Elles ne sont pas utilisées pour l'injection des petites fissures car il faut un débit important pour que le mélange puisse correctement s'effectuer. Elles sont utilisées en cas de fortes venues d'eau.

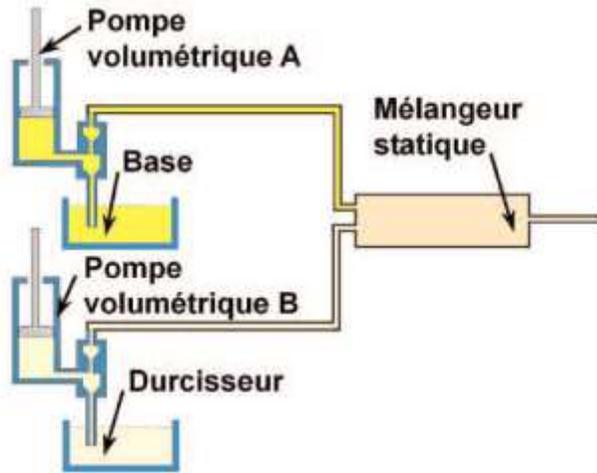


Figure IV.9. Principe de fonctionnement d'une pompe pour produits bicomposants.

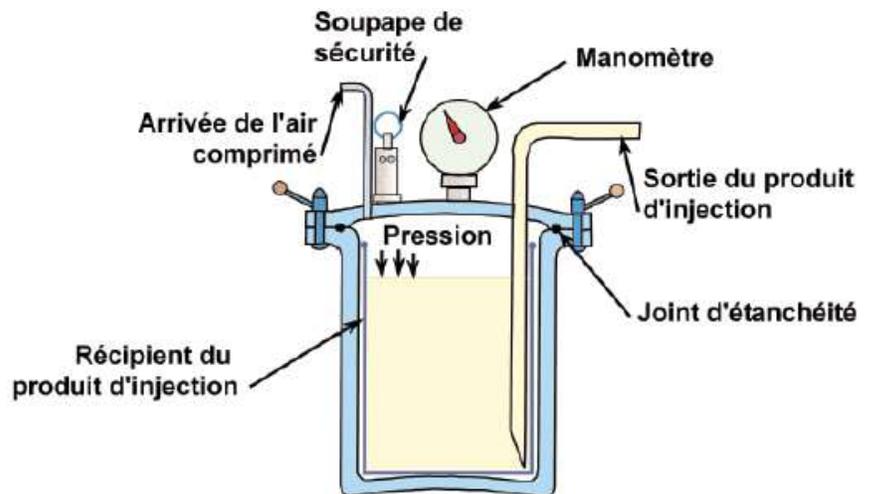


Figure IV.10. Utilisation d'un pistolet injecteur (d'après un document du procédé Concrecive MBT).

- Cas des pots à pression

Après mélange des composants, le récipient dans lequel se trouve le produit à injecter est introduit dans le pot à pression, où la mise en pression du pot peut être effectuée avec une bouteille d'air comprimé ou avec une pompe à main qui chasse le produit dans les flexibles qui relient le pot à pression aux injecteurs, il ainsi doit être muni d'un manomètre dont la fiche d'étalonnage date de moins de trois mois.

Figure IV.11. Principe de fonctionnement d'un pot à pression



- Cas des seringues ou pistolets:

Pour les injections de très petites quantités de produit, il est souvent fait appel à des seringues ou des pistolets manuels qui contiennent le produit à injecter.

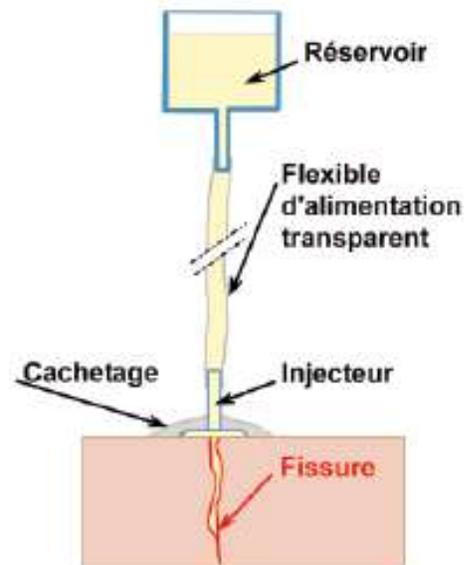


Figure IV.12. Injection manuelle.

- Cas des réservoirs à simple pression gravitaire

Les injections se faisant le plus souvent à faible pression, il est possible d'utiliser des réservoirs placés à faible hauteur au-dessus des injecteurs ou événements où l'écoulement du produit d'injection se fait alors par simple effet gravitaire, dans ce cas le réglage du débit d'injection est très difficile.

Figure IV.13. Principe de fonctionnement d'un réservoir à simple pression gravitaire.



IV.6.3. Liaisons entre les pompes ou les réservoirs et les injecteurs

La liaison entre les pompes ou les réservoirs et les injecteurs est assurée par des flexibles qui doivent être compatibles avec les injecteurs utilisés et la pression d'injection. De plus, le matériau des flexibles doit être compatible chimiquement avec le produit d'injection. Donc, les raccords entre les différents éléments (pompes ou pot à pression ou réservoir et les événements) doivent être parfaitement étanches.

Les types de flexibles utilisés sont les suivants:

- Tuyaux translucides pour les produits à base de résines synthétiques (thermodurcissables) injectés sous faible pression, ce qui permet de suivre la progression du produit et donc le bon déroulement de l'opération ;
- Tuyaux en caoutchouc ou en élastomère armés ou non (suivant la pression) pour les autres produits d'injection.

Figure IV.14. Flexible transparent et T de connexion (photo Freyssinet).



IV.6.4. Injecteurs (ou événements)

L'injecteur sert à introduire le produit d'injection dans la fissure, il permet alors de contrôler le cheminement du produit dans la fissure, il existe deux catégories d'injecteurs :

- les injecteurs collés ;
- les injecteurs forés.

Injecteurs collés

Pour avoir une longueur maximale de contact entre l'injecteur et la fissure, ces injecteurs, qui sont appelés « injecteurs plats » ou « injecteurs cavaliers », sont constitués d'un tube et d'une platine préformée allongée, ainsi le produit de cachetage assure leur collage à la surface de l'élément à injecter. Ces injecteurs collés sont utilisés exclusivement :

- Si la pression d'injection ne dépasse pas 0,5 MPa (5 bars). En général, elle est voisine de 0,1 à 0,2 bars ;
- Si le débit d'injection est faible.



Figure IV.15. Autres types d'injecteurs collés (photo Poineau).

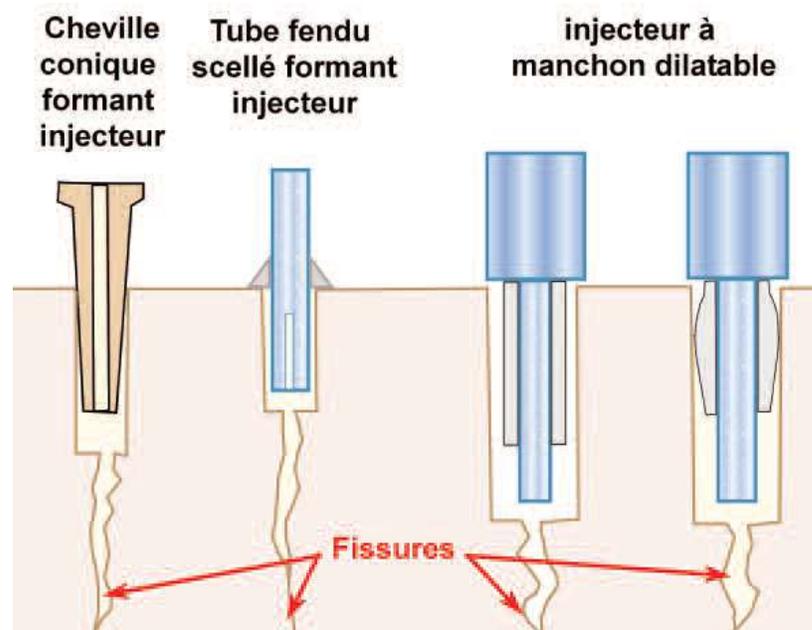


Figure IV.16. Injecteur plat ou cavalier (photo Freyssinet).

Injecteurs forés

Les injecteurs forés sont disposés dans des trous forés avec un marteau perforateur, ces injecteurs peuvent être constitués d'un tube dont l'extrémité placée dans le forage est munie d'un manchon en caoutchouc qui est associé à un dispositif d'écrasement, cet ensemble permet d'obtenir l'étanchéité et éviter les fuites entre le forage et le tube, ils peuvent être utilisés pour des injections nécessitant de gros débits et des pressions dépassant 0,5 MPa (5 bars).

Figure IV.17. Différents modèles d'injecteurs forés.

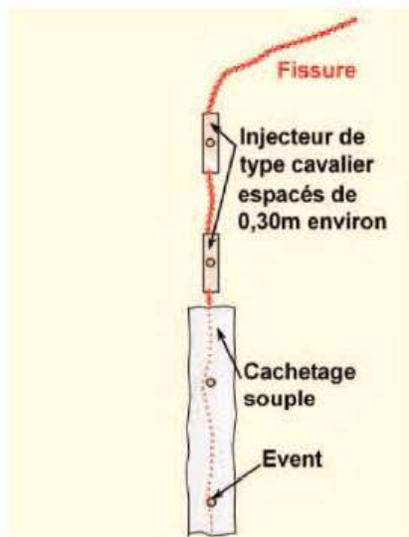


IV.7. Réalisation de l'injection

Le traitement par injection comporte trois phases principales. La première c'est la préparation du support. Dans cette phase on relève les défauts du support et on nettoie les fissures. Cette phase est importante pour éviter toute salissure de gêner l'injection.



Figure IV.18. Nettoyage d'une fissure par une brosse métallique.

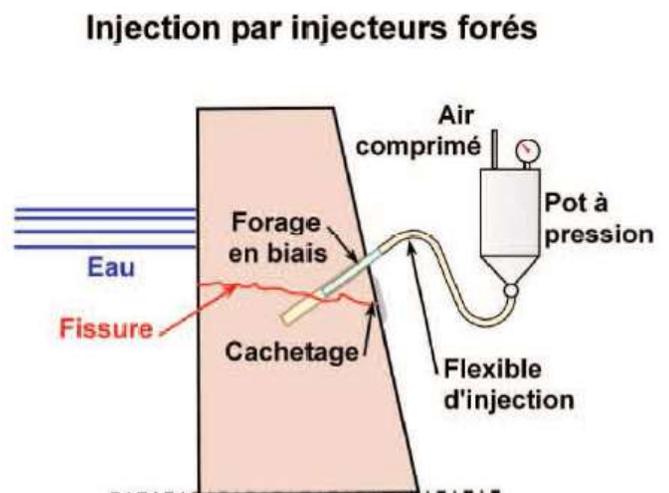


La deuxième phase est la préparation de l'injection. D'abord, on met en place les injecteurs, puis on utilise des injecteurs collés sur la fissure lorsque la fissure est entièrement accessible, ensuite la fissure est cachetée extérieurement par des produits de cachetage.

Figure IV.19. Détail de mise en place d'évents collés.

La troisième phase à ce niveau est l'exécution de l'injection, on utilise des injecteurs forés pour une procédure délicate, la fissure sera obturée par les débris du forage, ce qui facilite ensuite son nettoyage et de chasser l'eau, enfin et après fin de l'injection les trous sont généralement rebouchés.

Figure IV.20. Principe d'injection avec des injecteurs forés.



IV.8. Le fissure peu et très préjudiciable:

Le contrôle de la fissuration futuriste est pratiquement nécessaire pour éviter les grandes fissurations, et pour assurer une bonne utilisation en cas d'ouvrages qui remplissent une fonction d'étanchéité, comme par exemple les murs de soutènement, les fondations en contact avec le sol d'un bâtiment, ... Dans ce cas, on cherche une meilleure répartition des fissures moins nombreuses, qui ont des petites dimensions. Pour cela on considère la fissuration comme très préjudiciable, et dans ce concept, on a deux limites à respecter :

- La limite de compression sur le béton : $\sigma_{bc} = 0.6 \cdot f_{c28}$
- La limite d'ouverture des fissures qui consiste à limiter la contrainte de traction sur les aciers en cas de service.

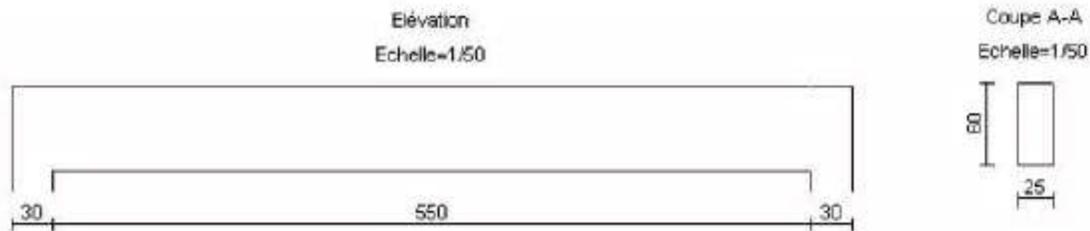
En considérant des fissurations très préjudiciables, on limite la contrainte de traction des armatures à une valeur $\sigma_s = 0.8 \cdot \xi$, fonction du critère de fissuration.

$$\text{Avec : } \xi = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{2}{3} f_e \\ \max(0.5 f_e ; 110 \sqrt{\eta * f_{tj}}) \end{array} \right.$$

$$\text{Avec, } \eta = \left\{ \begin{array}{l} 1 \quad \text{Pour les aciers ronds lisses} \\ 1.3 \quad \text{Pour les HA} < 6\text{mm} \\ 1.6 \quad \text{Pour les HA} > 6\text{mm} \end{array} \right.$$

Cette limite σ_s entre dans les calculs des aciers, lors du dimensionnement en béton armé. Elle augmente alors la valeur des armatures minimales à mettre en place, pour parvenir ainsi à contrôler les fissures qui peuvent apparaître dans le futur.

Après un exemple de calcul entre deux cas de fissuration l'une peu préjudiciables et l'autre très préjudiciables (paragraphe suivante) nous constatons bien qu'en calculant suivant l'état de fissuration très préjudiciable, nous avons obtenu une section plus grande d'armatures, ce qui argumente alors le choix de cet état dans les dimensionnements des structures exposées aux milieux agressifs, ou aux intempéries. Nous soulignons également que la fissuration non préjudiciable du béton est un phénomène normal et inévitable sous sollicitations normales de service.

IV.9. Exemples :**Exemple #01:**

Pour mieux comprendre le concept de l'état limite de service, nous prendrons dans ce qui suit un exemple de calcul pour une poutre rectangulaire en béton armé. L'exemple est le suivant:

Données :

Sollicitations : on a une charge uniformément répartie sur toute la travée de la poutre, avec :

$$P_g = 18 \text{ KN/ml} + \text{ poids propres}$$

$$P_q = 24 \text{ KN/ml}$$

Matériaux utilisés :

$$\text{Béton : } f_{c28} = 25 \text{ MPa}$$

$$\text{Acier : } f_e = 500 \text{ MPa}$$

Résultats :

Sollicitations : on résulte par $M_{ser} = 173 \text{ KN.m}$

$$\text{Compression maximale du béton : } \sigma_{bc} = 0.6 * f_{c28} = 0.6 * 25 = 15 \text{ MPa}$$

Cas de fissuration peu préjudiciable:

Dans ce cas la limite σ_s est égale à ξ ; on obtient :

$$\xi = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{2}{3} f_e \\ \max(0.5 f_e ; 110 \sqrt{\eta * f_{tj}}) \end{array} \right. = \min \left\{ \begin{array}{l} 333.33 \\ \max(250, 201.63) \end{array} \right. = 250 \text{ MPa}$$

$$\text{Position de l'axe neutre : } \alpha_1 = \frac{15 \sigma_{bc}}{15 \sigma_{bc} + \sigma_s} = \frac{15 * 15}{15 * 15 + 250} = 0.474$$

Moment résistant M_{rb} :

$$\begin{aligned} M_{rb} &= \frac{1}{2} \alpha_1 \left(1 - \frac{\alpha_1}{3}\right) * b_0 * d^2 * \sigma_{bc} = 0.5 * 0.474 * \left(1 - \frac{0.474}{3}\right) * 0.25 * 0.54^2 * 15 \\ &= 0.218 \text{ MN.m} \end{aligned}$$

Avec hauteur utile $d = 0.9 * h = 0.54 \text{ m}$

On a alors : $M_{ser} = 173 \text{KN.m} < M_{rb} = 218 \text{KN.m}$, donc pas d'acier comprimés.

Calcul des armatures :

$$Z_b = d \left(1 - \frac{\alpha_1}{3}\right) = 0.54 * \left(1 - \frac{0.474}{3}\right) = 0.455 \text{m}$$

$$\text{Donc, } A_{ser} = \frac{M_{ser}}{Z_b * \sigma_s} = \frac{0.173}{0.455 * 250} = 15.21 \text{ cm}^2$$

$$\text{Armatures minimales : } A_{min} = 0.23 * \frac{f_{t28}}{f_e} * b_0 * d = 1.3 \text{ cm}^2 < 15.21 \text{ cm}^2 \text{ ok}$$

Cas de fissuration très préjudiciable:

En faisant le même calcul nous obtenons :

$$\xi = 0.8 * \min \left[\begin{array}{l} \frac{2}{3} f_e \\ \max(0.5 f_e ; 110 \sqrt{\eta * f_{tj}}) \end{array} \right] = 0.8 * \min \left[\begin{array}{l} 333.33 \\ \max(250, 201.63) \end{array} \right] = 200 \text{ MPa}$$

$$\text{Position de l'axe neutre : } \alpha_1 = \frac{15 \sigma_{bc}}{15 \sigma_{bc} + \sigma_s} = \frac{15 * 15}{15 * 15 + 200} = 0.529$$

Moment résistant M_{rb} :

$$\begin{aligned} M_{rb} &= \frac{1}{2} \alpha_1 \left(1 - \frac{\alpha_1}{3}\right) * b_0 * d^2 * \sigma_{bc} = 0.5 * 0.529 * \left(1 - \frac{0.529}{3}\right) * 0.25 * 0.54^2 * 15 \\ &= 0.238 \text{ MN.m} \end{aligned}$$

Avec hauteur utile $d = 0.9 * h = 0.54 \text{m}$

On a alors : $M_{ser} = 173 \text{KN.m} < M_{rb} = 238 \text{KN.m}$, donc pas d'acier comprimés.

Calcul des armatures :

$$Z_b = d \left(1 - \frac{\alpha_1}{3}\right) = 0.54 * \left(1 - \frac{0.529}{3}\right) = 0.445 \text{m}$$

$$\text{Donc, } A_{ser} = \frac{M_{ser}}{Z_b * \sigma_s} = \frac{0.173}{0.445 * 200} = 19.44 \text{ cm}^2$$

$$\text{Armatures minimales : } A_{min} = 0.23 * \frac{f_{t28}}{f_e} * b_0 * d = 1.3 \text{ cm}^2 < 19.44 \text{ cm}^2 \text{ ok}$$

Après cet exemple de calcul entre deux cas de fissuration l'une peu préjudiciables et l'autre très préjudiciables nous constatons bien qu'en calculant suivant l'état de fissuration très préjudiciable, nous avons obtenu une section plus grande d'armatures.

Dans cet exercice, je m'appuie sur les travaux de J. Pais dans le travail « Béton Armé » Chapitre « Dimensionnement en flexion simple » p. 61 à 63

Exemple #02:

Quelle méthode du traitement de fissuration on choisit pour traiter le cas suivant ? Si on a un ouvrage avec des fissurations dans le mur qui sont de type pathologique (fissure témoignant un désordre), due à l'instabilité de l'assise de la construction.

On calcul d'abord l'ouverture de fissure par l'expression suivante qui sert à calculer le type de fissure et la méthode de traitement convenable:

$$w_k = s_{r,max} \cdot (\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm})$$

Avec :

- $s_{r,max}$: est l'espacement maximal des fissures
- ϵ_{sm} : est la déformation moyenne de l'armature de béton armé sous la combinaison de charges considérée, incluant l'effet des déformations imposées et en tenant compte de la participation du béton tendu.
- ϵ_{cm} : est la déformation moyenne du béton entre les fissures.

La différence des déformations moyennes $\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}$

$$\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm} = \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{ct,eff}}{\rho_{p,eff}} (1 + \alpha_e \cdot \rho_{p,eff})}{E_s} \geq 0.6 \frac{\sigma_s}{E_s}$$

Où :

Paramètre :	Définition :
σ_s	la contrainte dans les armatures de béton armé tendues, en supposant la section fissurée.
E_s	est la valeur de calcul du module d'élasticité de l'armature,
$\alpha_e = E_s/E_{cm}$	E_{cm} est le module d'élasticité sécant du béton
$f_{ct,eff} = f_{ctm}$	la valeur moyenne de la résistance en traction du béton au moment où les premières fissures sont supposées apparaître
$\rho_{p,eff} = (A_s + \zeta_1 \cdot A'_p)/A_{c,eff}$	<ul style="list-style-type: none"> – A_s : l'aire de la section des armatures de béton armé – A'_p : l'aire de la section des armatures de précontrainte (pré-tension ou post-tension) dans $A_{c,eff}$ – $A_{c,eff}$: est l'aire de la section effective de béton tendu autour des armatures de béton armé ou de précontrainte, ayant pour hauteur, $h_{c,ef}$, où $h_{c,ef}$ est la plus petite des valeurs suivantes : $2,5(h -$

	<p>d), $(h - x)/3$ ou $h/2$.</p> <ul style="list-style-type: none"> - ξ_1 : est le rapport de la capacité d'adhérence des armatures de précontrainte à la capacité d'adhérence des armatures de béton armé, corrigé du rapport de leurs diamètres : $\xi_1 = \sqrt{\xi \cdot \frac{\phi_s}{\phi_p}}$ - ξ:le rapport de la capacité d'adhérence des armatures de précontrainte à la capacité d'adhérence des armatures de béton armé, - Φ_s : le diamètre de la plus grosse armature passive - Φ_p : est le diamètre équivalent de l'armature de précontrainte $\Phi_p = 1,6 \cdot \sqrt{AP}$ (pour les paquets, où AP est l'aire de la section des armatures de précontrainte), $\Phi_p = 1,75 \cdot \Phi_{wire}$ (pour les monotorons de 7 fils), $\Phi_p = 1,20 \cdot \Phi_{wire}$ (pour les monotorons de 3 fils), où Φ_{wire} est le diamètre du fil. - k_t : est un facteur dépendant de la durée de la charge, $k_t = 0,6$ (un chargement de courte durée) et $k_t = 0,4$ (un chargement de longue durée).
--	---

Tableau IV.3. La différence des déformations moyennes $\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}$

L'espacement maximal des fissures $s_{r,max}$:

<p>Lorsque les armatures adhérentes sont disposées dans la zone tendue avec un entraxe suffisamment faible (espacement $\leq 5(c + \Phi/2)$), l'espacement final maximal des fissures $s_{r,max}$ peut être calculé comme indiqué ci-après : $S_{r,max} = K_3c + K_1K_2K_4\sigma / \rho_{p,eff}$</p>	
Paramètre :	Définition :
Φ	le diamètre des barres. Lorsque plusieurs diamètres de barres sont utilisés dans une même section, il convient de retenir un diamètre équivalent Φ_{eq} . Dans le cas d'une association de barres de différents diamètres (n_1 barres de diamètre $\Phi_1 + n_2$ barres de diamètre Φ_2 , on retient un diamètre de barres équivalent : $\Phi_{eq} = n_1\Phi_1 + n_2\Phi_2$)
c	l'enrobage des armatures longitudinales

$\rho_{p,eff}$	voir la différence des déformations moyennes dans le tableau ci-dessus.
k_1	un coefficient qui tient compte des propriétés d'adhérence des armatures adhérentes: $k_1 = 0,8$ (pour les barres à haute adhérence) et $k_1 = 1,6$ pour les armatures ayant une surface effectivement lisse (armatures de précontrainte, par exemple).
k_2	un coefficient qui tient compte de la distribution des déformations: $k_2 = 0,5$ en flexion et $k_2 = 1,0$ en traction pure. Des valeurs intermédiaires de k_2 peuvent être utilisées dans le cas d'une traction excentrée ou pour certaines zones localisées : $k_2 = (\varepsilon_1 + \varepsilon_2)/(2\varepsilon_1)$ Où : ε_1 est le plus grand et ε_2 le plus petit allongement relatif en fibre extrême, la section étant supposée fissurée.
k_3	un Paramètre Déterminé au niveau National. $k_3 = 3.4$ si $c \leq 25\text{mm}$ et $3.4 \times \sqrt[2/3]{\left(\frac{c}{25}\right)}$ si $c > 25\text{mm}$
k_4	un Paramètre Déterminé au niveau National ($k_4 = 0,425$)
Lorsque l'espacement des armatures adhérentes excède $5(c + \Phi/2)$, ou lorsqu'il n'y a pas d'armatures adhérentes à l'intérieur du béton tendu, on peut définir une limite supérieure à l'ouverture des fissures en admettant un espacement maximal des fissures : $s_{r,max} = 1,3(h - x)$	
Paramètre :	Définition :
h	la hauteur totale de la section droite.
x	la profondeur de l'axe neutre.

Tableau IV.4. L'espacement maximal des fissures $s_{r,max}$

On propose que $w_k = 2\text{mm}$. Après le calcul de l'ouverture on détermine que les fissures sont des fissures fins, et on peut déterminer la méthode de traitement par injection en utiliser de malaxeur pour faire le mélange de base avec un durcisseur pour les résines polyuréthane qui ont des avantages suivantes: il est moins cher, il est plus facile à utiliser et à injecter, il remplit les fissures plus larges et il est flexible, par contre il est un inconvénient qu'il n'est pas un matériel de réparation de structure.(Si le fissure sera au niveau de dalle on utilise de l'époxy qui fait un soudure très solide, il est un produit plus fort que le béton, par contre il est plus cher que les autres produit, il est moins efficace si les fissures sont humides, et le béton peut fissurer à nouveau si le mur bouge encore).

Ce mélange sera ensuite introduit dans un réservoir à simple pression gravitaire et il se relie par un tuyau translucide en utilisant un injecteur collé qui sont moins cher que les autres matériaux.

IV.10. Conclusion :

La fissuration des éléments en béton armé est normale et peut difficilement être évitée. Dans la plupart des cas, on peut certes admettre l'apparition de fissures, mais chercher à en limiter l'ouverture, de façon à ce qu'elles ne portent pas préjudice au bon fonctionnement ou à la durabilité de la structure ou encore qu'elles ne rendent pas son aspect inacceptable.

D'une part, par la réalisation de ce travail nous avons eu l'opportunité d'accroître nos connaissances dans le domaine du traitement. En outre, nous avons appris plusieurs moyens pour protéger le béton contre la fissuration.

D'autre part, il existe des autres méthodes de protection dans le cas de fissures actives en particulier tel-que les méthodes de renforcement. En fait, il faut renforcer les zones fissurées, surtout celles qui comportent des fissures actives, pour empêcher ces dernières de réapparaître ou de s'aggraver en fonction du temps.

Enfin, il est vraiment très intéressant de faire des études expérimentales pour voir jusqu'à quelles limites reste profitable le comportement du béton armé pré-fissuré après son traitement et son renforcement. Tout en mettant en compte la durée de vie des matériaux de renforcement et l'influence de leur vieillissement sur le béton après un certain temps. Ces études pourraient permettre d'améliorer la tenue du béton et, pourquoi pas, la découverte d'une nouvelle formule ou d'un nouveau matériau moins soumis aux fissures.

Partie II :

Etude comparative entre la méthode forfaitaire et le calcul exact par ROBOT

- Chapitre I :

Descente de charges et combinaison de chargement.

- Chapitre II :

La poutre entre la méthode forfaitaire et le calcul exact

- Chapitre III :

Calcul d'un portique bidimensionnel par méthode manuelle et exact.

- Chapitre IV :

Calcul d'un portique tridimensionnel par méthode manuelle et exact.

Chapitre I : Descente de charges et combinaison de chargement.

I.1. Introduction:

La première partie de ce mémoire traite les facteurs qu'il faut prendre en considération lors de la construction d'un ouvrage en tenant compte la sécurité, le confort, l'économique, l'esthétique, le coût, la durabilité, la qualité et la fissuration.

Après avoir réalisés les premières étapes de la conception on passe à la seconde étape qui est l'utilisation de l'ouvrage, on peut définir dans ce chapitre les actions, les sollicitations et leurs combinaisons.

I.2. Présentation des Eurocodes :

Les Eurocodes sont un ensemble d'une soixantaine de normes européennes, d'application volontaire, destinées à harmoniser les méthodes de calcul utilisables pour vérifier la stabilité et le dimensionnement des différents éléments constituant des bâtiments ou des ouvrages de génie civil, quels que soient les types d'ouvrages ou de matériaux.

Les 9 Eurocodes structuraux sont :

- EN 1990 Eurocode 0: Bases de calcul des structures,
- EN 1991 Eurocode 1: Actions sur les structures,
- EN 1992 Eurocode 2: Calcul des structures en béton,
- EN 1993 Eurocode 3: Calcul des structures en acier,
- EN 1994 Eurocode 4: Calcul des structures mixtes acier-béton,
- EN 1995 Eurocode 5: Calcul des structures en bois,
- EN 1996 Eurocode 6: Calcul des ouvrages en maçonnerie,
- EN 1997 Eurocode 7: Calcul géotechnique,
- EN 1998 Eurocode 8: Calcul des structures pour leur résistance aux séismes,
- EN 1999 Eurocode 9: Calcul des structures en aluminium.

Les Eurocodes structuraux :

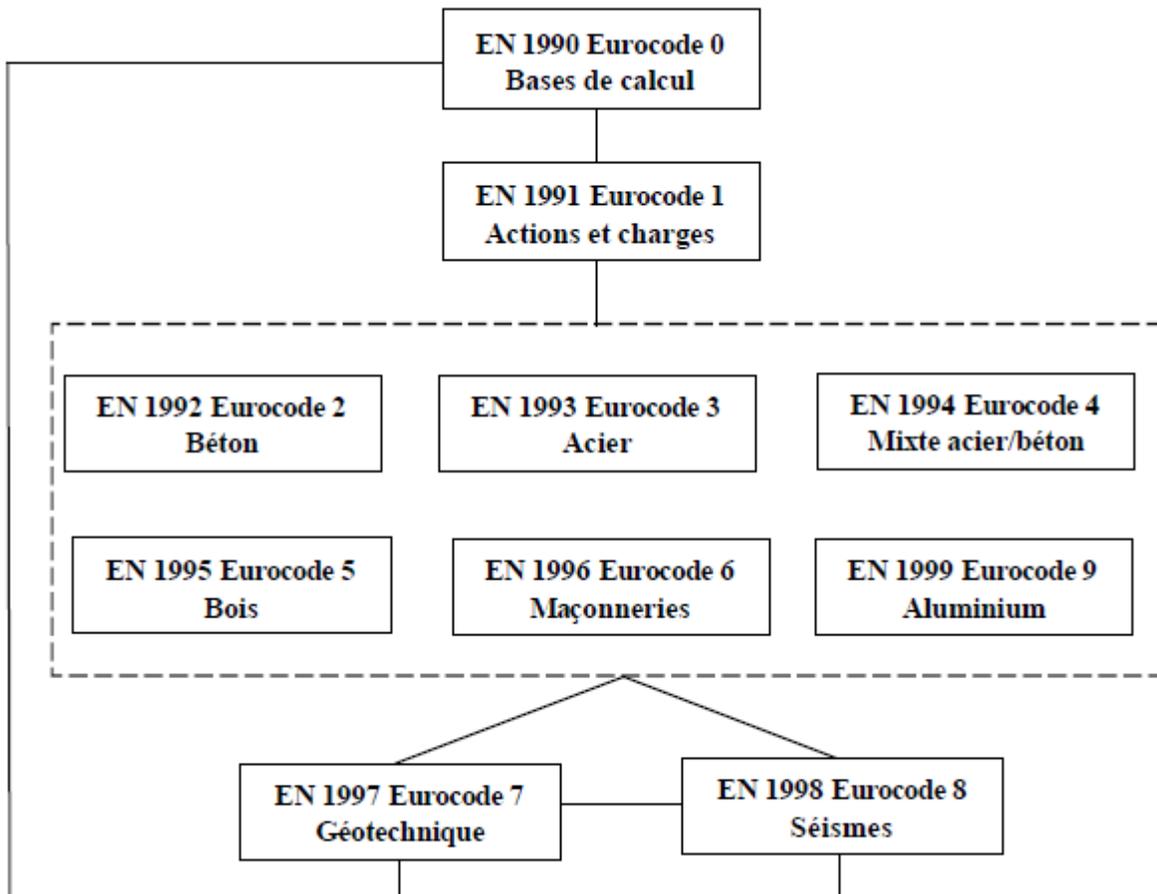


Figure I.1. Présentation des Eurocode.

I.3. Caractéristiques mécaniques des matériaux :

Les caractéristiques des matériaux utilisés dans la construction seront conformes aux règles techniques de conception et de calcul des structures en béton armé de l’Eurocode 2.

I.3.1. Le Béton:

Le rôle fondamental du béton dans une structure est de reprendre les efforts de compression.

Les matériaux composant le béton :

On appelle béton un matériau constitué par un mélange de :

a. Ciment:

Le ciment joue le rôle d'un liant. Sa qualité et ses particularités dépendent des proportions de calcaire et d'argile, ou de bauxite (*Minéraux d'aluminium – voire la liste d'un glossaire*) et de la température de cuisson du mélange.

b. Granulats:

Les granulats comprennent les sables et les pierrailles:

b.1. Sables:

Les sables sont constitués par des grains provenant de la désagrégation des roches. La grosseur de ses grains est généralement inférieure à 5mm. Un bon sable contient des grains de tout calibre, mais doit avoir d'avantage de gros grains que de petits.

b.2. Gravier:

Les graviers constitués par des grains rocheux dont la grosseur est généralement comprise entre 5 à 30 mm. Ils peuvent être extraites du lit de rivière (matériaux roulés) ou obtenues par concassage de roches dures (matériaux concassés).

Classe de résistance à la compression :

La résistance en compression du béton est désignée par des classes de résistance liées à la résistance caractéristique mesurée sur cylindre f_{ck} ou sur cube $f_{ck,cube}$,

f_{ck} = Résistance caractéristique en compression du béton, mesurée sur cylindre à 28 jours

$f_{ck,cyl}$ = la résistance en compression du béton mesurée sur cylindre

$f_{ck,cube}$ = la résistance en compression du béton mesurée sur cube.

Les résistances de calcul du béton sont :

– en compression : $f_{cd} = \frac{\alpha_{cc} f_{ck}}{\gamma_c}$

– en traction : $f_{cd} = \frac{\alpha_{ct} f_{ctk0.05}}{\gamma_c}$

Avec;

$f_{ctk 0,05} = 0.7 f_{ctm}$, résistance caractéristique à la traction (fractile 5%) avec f_{ctm} est la valeur moyenne de la résistance en traction directe du béton,

γ_c coefficient partiel relatif au béton,

α_{cc} et α_{ct} coefficients = 1

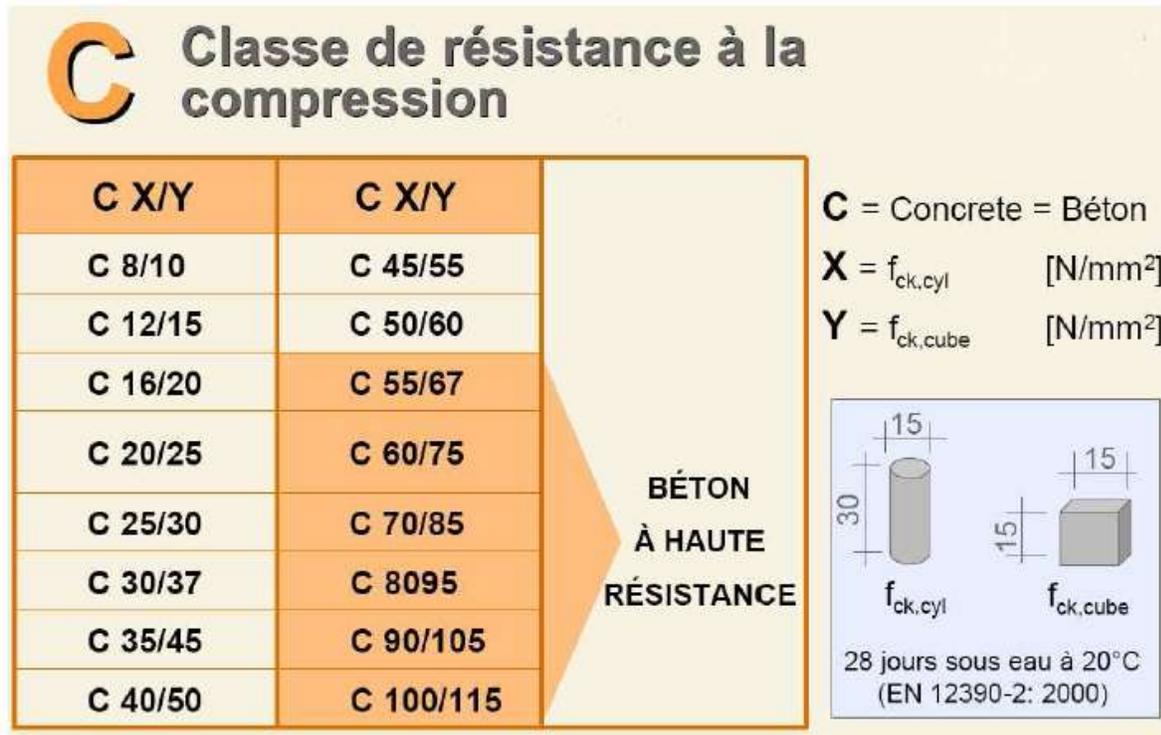


Figure I.2. Classe de résistance à la compression du béton.

Situations de projet	γ_c (béton)	γ_s (acier de béton armé)	γ_s (acier de précontrainte)
Durable Transitoire	1,50	1,15	1,15
Accidentelle	1,20	1,00	1,00

Tableau I.1. Coefficients partiels relatifs aux matériaux

Classes de résistance	C 12/15	C 16/20	C20/25	C 25/30	C30/37	C 35/45	C 40/50	C 45/55	C 50/60
f_{ck} (N/mm ²)	12	16	20	25	30	35	40	45	50
$f_{ck,cube}$ (N/mm ²)	15	20	25	30	37	45	50	55	60
f_{cd} (N/mm ²)	6.8	9.1	11.3	14.2	17	19.8	22.7	25.5	28.3
f_{ctm} (N/mm ²)	1.6	1.9	2.2	2.6	2.9	3.2	3.5	3.8	4.1
E_{cm} (N/mm ²)	27000	29000	30000	31000	33000	34000	35000	36000	37000
ϵ_{cu3} (10-3)	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5
ϵ_c (10-3)	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75
Contrainte d'adhérence de calcul f_{bd} (N/mm ²) (Adh.améliorée)	1.7	2	2.3	2.7	3	3.3	3.8	4.1	4.4

Tableau I.2. Caractéristiques mécaniques propre au béton.

Caractéristiques mécaniques propres au béton :

f_{ck} = Résistance caractéristique en compression du béton, mesurée sur cylindre à 28 jours

$f_{ck,cube}$ = la résistance en compression du béton mesurée sur cube.

f_{cd} = Valeur de calcul de la résistance en compression du béton

f_{ctm} = Valeur moyenne de la résistance en traction directe du béton

E_{cm} = Module d'élasticité sécant du béton

ϵ_{cu} = Déformation relative ultime du béton en compression

ϵ_c = Déformation relative en compression du béton

f_{bd} = Contrainte ultime d'adhérence

1.3.2. Acier :

L'acier est un alliage du fer et du carbone en faible pourcentage, leur rôle est de résister aux efforts de traction, de cisaillement et de torsion.

Limite élastique: $f_{yk} = 500$ MPa (S500)

Module de Young : 200 000 MPa

Contrainte de calcul ELU = $f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s = 435$ MPa

Avec $\gamma_s = 1,15$ (sauf actions accidentelles: $\gamma_s = 1$)

1.4. Les hypothèses de calcul:

Les hypothèses de calcul adoptées pour cette étude sont :

- La résistance caractéristique en compression du béton, $f_{ck} = 30\text{MPa}$
- Valeur de calcul de la résistance en compression du béton, $f_{cd} = 17\text{MPa}$
- Le module d'élasticité instantané de béton est : $E = 33\,000\text{Mpa}$.
- Limite élastique d'acier: $f_{yk} = 500\text{MPa}$ (S500)
- Contrainte de calcul d'acier $f_{yd} = 435\text{MPa}$

1.5. Les unités :

Le choix des unités est primordial pour la bonne réalisation des calculs. Afin de ne pas faire d'erreur dans les applications numériques, nous conseillons vivement de toujours utiliser les unités internationales pour mener les calculs. C'est ce que nous avons fait systématiquement dans cet ouvrage :

- Force : Newton (N)
- Contrainte : Pascal (Pa)
- Moment : N.m
- Longueur : mètre (m)

1.6. Les actions :

Le dimensionnement des structures consiste, premièrement, à calculer les actions agissant sur celle-ci, ce calcul sera basé sur l'Eurocode 1 où les actions sur la structure peuvent être sous forme de forces ponctuelles, linéaires et réparties.

En général, les actions se divisent en trois grandes parties :

- les actions permanentes (G), sont composées du poids propre de l'ouvrage, (structure, couverture, plancher, cloison, ...) et d'éventuels équipements fixes.
- les actions variables (Q), sont composées des surcharges d'exploitation sur les planchers, charges climatiques, ou toute autre action de courte durée.
- les actions accidentelles (A), telles que le feu, la neige accidentelle et les risques de choc ou d'explosion, dans certain cas on a des actions sismiques accidentelles.

I.7. Les charges permanentes :

Les charges permanentes c'est les charges qui ne varient pas avec le temps c.-à-d. charges à long durée, ils concernent donc le poids propre de la construction (Dead Load) qui peut être déterminé a partie du poids volumique des matériaux. Prenant l'exemple suivant de calcul des charges permanentes, en tenant compte des hypothèses suivantes :

- Plancher nervuré de hauteur égale à 25 cm,
- Le poids volumique moyen du plancher (béton et corps creux) est égal à $\gamma=22\text{KN/m}^3$.
- Le carrelage est composé de :
 - 5cm de sable sec ($\gamma=17\text{KN/m}^3$),
 - 2cm de mortier ($\gamma=22\text{KN/m}^3$),
 - 3cm de carrelage en marbre ($\gamma=23,5\text{KN/m}^3$).
- Les partitions :
 - L'épaisseur des partitions est égale à 10 cm ($\gamma =15\text{KN/m}^3$).
 - L'épaisseur de l'enduit est égale à 1.5cm de chaque côté du mur $\gamma=22\text{KN/m}^3$.
 - La longueur totale des murs en plan est égale à 96 ml.

Calcul de G:

Matériaux	Epaisseur (m)	Poids volumique (KN/m^3)	Poids total (KN/m^2)
béton et corps creux	0.25	22	= $0.25 \times 22 = 5.5$
Sable	0.05	17	= $0.05 \times 17 = 0.85$
Mortier	0.02	22	= $0.02 \times 22 = 0.44$
Carrelage	0.03	23.5	= $0.03 \times 23.5 = 0.705$
Partition	0.1	15	= $0.1 \times 15 = 1.5$
Enduit	0.015	22	= $0.015 \times 22 \times 2 = 0.66$
G total :			= 9.655

Tableau I.3. Calcul de G.

Donc, le poids propre pour plancher est $5,5 \text{ KN/m}^2$, pour ensemble de carrelage est 1.995 KN/m^2 , pour les murs avec enduit est 2.16 KN/m^2 , Alors $G_{\text{total}} = 9,655 \text{ KN/m}^2$.

D'après cet exemple on peut déterminer le charge permanente (charge répartie) par m^2 , puis on peut le transformer au charge ponctuelle en multiplier cette valeur par le surface du plan étudié, c.-à-d. l'unité se développe de KN/m^2 à KN .

I.8. Les charges variables d'exploitation:

Les charges d'exploitation sont fonction de la catégorie et de l'usage du bâtiment, il y a des plusieurs catégories ont des plusieurs usages, dans les plupart des cas les surfaces devant supporter différentes catégories de charges, le dimensionnement doit considérer le cas de charge le plus critique.

En effet, l'Eurocode « 1 » présente des tableaux montrent les plusieurs catégories avec leur usage avec des exemples suite aux situations de projet dans lesquelles les charges d'exploitation agissent, un de ces tableaux est correspondant aux surfaces des bâtiments résidentiels, sociaux, commerciaux ou administratifs doivent être classées selon leur usage spécifique, comme indiqué dans le Tableau suivante :

Catégories	Usage spécifique	Exemples
A	Habitation, résidentiel	Pièces des bâtiments et maisons d'habitation ; chambres et salles des hôpitaux Chambres d'hôtel et de foyers : cuisines et sanitaires
B	Bureaux	
C	Lieux de réunion (à l'exception des surfaces des catégories A, B et D)	C1 : Espaces équipés de tables etc. par exemple: écoles, cafés, restaurants, salles de banquet, salles de lecture, salles de réception. C2 : Espaces équipés de sièges fixes, par exemple: églises, théâtres ou cinémas, salles de conférence, amphithéâtres, salles de réunion, salles d'attente. C3 : Espace ne présentant pas d'obstacles à la circulation des personnes, par exemples: salles de musée, salle d'exposition etc. et accès des bâtiments publics et administratifs, hôtels, hôpitaux, gares. C4 : Espaces permettant des activités physiques, par

		exemple : dancing, salles de gymnastique, scènes. C5 : Espaces susceptibles d'accueillir des foules importantes, par exemple : bâtiments destinés à des événements publics tel que salles de concert, salle de sport y compris tribunes, terrasses et aires d'accès, quais de gare.
D	Commerces	D1 : Commerce de détails courants D2 : Grands magasins

Tableau I.4. Catégories d'usage.

Suite à ce tableaux on peut de choisir la catégorie d'étude suivant le but d'usage et à partir de la catégorie choisir on peut d'évaluer la charge d'exploitation en utilisant le tableau suivant :

Catégorie de la surface chargée	q_k (KN/m ²)	Q_k (KN)
Catégorie A		
- Planchers	1.5	2.0
- Escaliers	2.5	2.0
- Balcons	3.5	2.0
Catégorie B	2.5	4.0
Catégorie C		
- C 1	2.5	4.0
- C 2	4.0	4.0
- C 3	4.0	4.0
- C 4	5.0	7.0
- C 5	5.0	4.5
Catégorie D		
- D 1	5.0	5.0
- D 2	5.0	7.0

Tableau I.5. Charges d'exploitation sur les planchers, balcons et escaliers dans les bâtiments.

Dans ce tableau, on peut voir que la norme définit une charge répartie appliquée et une charge ponctuelle qui devra être appliquée en considérant un impact de 5*5cm.

En prenant ainsi le même exemple que le choisir pour le calcul de la charge permanente dans la partie précédente, en effet le bâtiment est de type résidentiel (plancher) le choix de charge d'exploitation Q, se fait selon l'EC1 schématiser dans le tableau ci-dessus : $Q = 1,5 \text{ KN/m}^2$.

Réduction des valeurs caractéristiques de Q :

Un coefficient de réduction α_A peut être appliqué aux valeurs q_k , donc il est possible de réduire les valeurs de charges en fonction des aires portées par l'élément considère, où statiquement il est improbable que toutes les surfaces reprendre par l'élément soient chargées simultanément au maximum. Cette réduction n'est possible que pour des surfaces d'exploitation, de ce part l'EC 1 définit deux coefficients réducteurs:

- Coefficient réducteur horizontale α_A : applicable aux plancher et aux toitures uniquement pour les catégories A, B, D, F et I (voir l'annexe #05) :

$$\alpha_A = 0.77 + \frac{A_0}{A} \leq 1$$

Avec: A correspond à la surface chargée, et $A_0 = 3.5 \text{ m}^2$.

- Coefficient réducteur vertical α_n : pour les poteaux et les murs, uniquement pour les catégories A, B et F (voir l'annexe #05), il s'applique à toute la charge des niveaux situés au-dessus, n est le nombre d'étage (>2) au-dessus des éléments structuraux chargés et de la même catégorie.

$$\alpha_n = 0.5 + \frac{1.36}{n} \text{ pour la surface de catégorie A}$$

$$\alpha_n = 0.7 + \frac{0.8}{n} \text{ pour la surface de catégorie B ou F.}$$

I.9. Les charges accidentelles:

C'est sont des actions de durée très courte par rapport à la durée de vie de l'ouvrage et dont la probabilité d'occurrence est très faible telles que le feu, la neige accidentelle, les risques de choc ou d'explosion, et des actions sismiques accidentelles.

I.10. Les charges climatiques:

Ainsi, on a des actions climatique c.-à-d. vent et neige, par exemple une augmentation de vitesse du vent et d'un taux de neige tombé dans une région par habitude ils ont des valeurs moyenne dans ce cas ces actions sera accidentelle.

Donc, une étude parfait sera lorsque on fait la prévision de ces effets accidentelles en réfère au document représente les paramètres climatiques enregistrées pour au moins 50 ans.

I.11. Les charges thermiques:

En addition aux charges citées au-dessus il y a des charges thermiques qui ont des effets de dilatation ou de retrait selon la différence de la température, ils sont dépendent des conditions climatiques, de l'orientation, sa masse totale, des finitions, chauffage, ventilation et l'isolation thermique. Donc, la première étape pour diminuer ces effets thermiques sur la construction est de réaliser du joint de dilatation.

Ces charges est plus dangereux dans les pays du l'équateur qui ont de température très élevés dépasse celle de capacité des matériaux de construction, donc au Liban ce type de charge est moins important car il est un climat modéré et la température ne dépasse pas un degré normale.

I.12. Les combinaisons d'actions :

Lors de l'étude et de l'exécution d'une structure l'ingénieur doit satisfaire des exigences fondamentales tel-que :

- Toute structure doit être conçue et réalise de sorte que :
 - elle résiste à toutes les actions.
 - elle reste adaptée à l'usage pour lequel elle a été conçue.
- La durabilité est défini tel-que :
 - la structure doit être projetée de sorte que sa détérioration pendant la durée d'utilisation n'abaisse pas ses performances.
- Un état limite c'est une propriété de la structure qui doit satisfaire.

Une fois les actions déterminées, nous allons appliquer les combinaisons d'actions associées à chaque état limite afin de déterminer la plus défavorable. On distingue deux états limites:

- ELU (Etat Limite Ultime)

- ELS (Etat Limite de Service)

Chaque système de combinaison est basé sur le même principe, une charge permanente (G) avec une ou plusieurs charges variables où lorsqu'on a plusieurs charges variables à combiner, on définit toujours une action variable de base et des actions variables d'accompagnement. Les facteurs de pondération de ces différentes actions dépendent de l'état limite considéré.

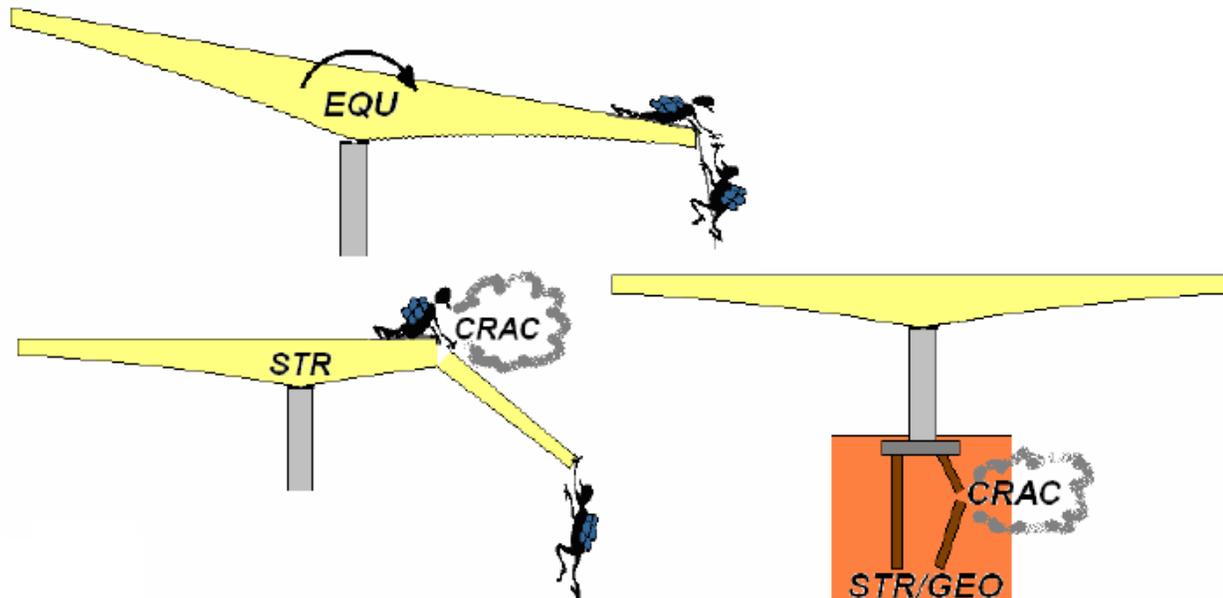


Figure I.3. Exemples des cas présentant des désordres au niveau : EQU, STR et GEO.

I.12.1. But des états limites:

Le premier état limite, l'ELU a pour but d'assurer :

- la résistance de la structure (STR)
- L'équilibre de la structure (EQU)
- Le non dépassement de la résistance du sol (GEO)

Le second état limite l'ELS sert à assurer le confort des personnes (vibrations) et à limiter les déformations à la fois pour le confort visuel, mais également pour le second œuvre (le vitrage par exemple). Il ne faut pas négliger cet état, souvent dimensionnant.

I.12.2. Situation des projets:

Une situation de projet est un ensemble de conditions physiques représentant les conditions réelles qui se produisent au cours d'une certaine durée pendant laquelle les données de fiabilité peuvent être considérées comme constantes. Alors, Les charges permanentes et les charges d'exploitation concernées doivent être déterminées pour chacune des situations de projet suite ainsi aux états limite concernées.

Aux états limites ultime on définit des situations :

- durables ou transitoire
 - Durable: c'est les conditions d'utilisation normale.
 - Transitoire: c'est les conditions temporaires applicable à la structure, par exemple: lors de son exécution et lors de sa réparation.
- accidentelle: c'est les conditions exceptionnelles applicable à la structure ou à son exposition, par exemple: des incendies, explosions ou des chocs.
- sismique: l'Eurocode 8 explique cette situation.

En ce qui concerne l'état limite de service, ils ne sont pas associés à une situation de projet, comme c'est le cas pour les états limites ultimes ils sont plutôt associés à des conséquences:

- les combinaisons caractéristiques pour les situations irréversibles,
- les combinaisons fréquentes utilisées pour les effets réversibles,
- les combinaisons quasi-permanentes pour réversibles avec influence sur l'aspect et la durabilité à long terme.

I.12.3. Les combinaisons:

Les combinaisons d'actions consistent à additionner chaque action en les pondérant. Cette pondération est fixée en fonction de la durée d'action des charges variables (coefficient ψ) et également afin d'avoir une marge de sécurité (coefficient γ).

En effet, les coefficients ψ_0, ψ_1, ψ_2 , viennent pondérer les valeurs des actions variables d'accompagnement en fonction de leur durée d'action, ils sont présentés dans le tableau I.6.

- Les combinaisons d'actions aux ELU:

- Situation de projet durable ou transitoire :

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{K,j} + \gamma_{Q,1} Q_{K,1} + \sum_{i \geq 1} \gamma_{Q,i} Q_{K,i} \psi_{0,i}$$

- Situation de projet accidentelle :

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{K,j} + A_d + (\Psi_{1,1} \text{ ou } \Psi_{2,1}) Q_{K,1} + \sum_{i \geq 1} Q_{K,i} \Psi_{2,i}$$

- Situation de projet sismique :

$$\sum_{j \geq 1} G_{K,j} + A_{Ed} + \sum_{i \geq 1} Q_{K,i} \Psi_{2,i}$$

- **Les combinaisons d'actions aux ELS :**

- Combinaison caractéristique (situation irréversible) :

$$\sum_{j \geq 1} G_{K,j} + Q_{K,1} + \sum_{i \geq 1} Q_{K,i} \Psi_{0,i}$$

- Combinaison fréquente :

$$\sum_{j \geq 1} G_{K,j} + \Psi_{1,1} Q_{K,1} + \sum_{i \geq 1} Q_{K,i} \Psi_{2,i}$$

- Combinaison quasi-permanente :

$$\sum_{j \geq 1} G_{K,j} + \sum_{i \geq 1} Q_{K,i} \Psi_{2,i}$$

Avec :

G_k est la valeur caractéristique d'une charge permanente ;

Q_k est la valeur caractéristique de l'action variable dite de base – dominante ;

$\Psi_{0,i} Q_{K,i}$ Est la valeur de combinaison d'une action variable d'accompagnement ;

$\Psi_{1,1} Q_{K,1}$ Est la valeur fréquente d'une action variable ;

$\Psi_{2,1} Q_{K,i}$ Est la valeur quasi permanente d'une autre action variable ;

A_d : action accidentelle ;

A_{Ed} : action sismique ;

$\gamma_{G,j} = 1.35$, est le coefficient partiel sur l'action permanente j ;

$\gamma_{Q,1} = 1.5$ et $\gamma_{Q,i} = 1.5$, est le coefficient partiel sur l'action variable dominante et d'accompagnement i ;

Charges	Ψ_0	Ψ_1	Ψ_2
Catégorie A	0.7	0.5	0.3
Catégorie B	0.7	0.5	0.3
Catégorie C	0.7	0.7	0.6

Catégorie D	0.7	0.7	0.6
.....

Tableau I.6. Les coefficient d'accompagnement, Ψ_0, Ψ_1, Ψ_2 .

Exemple :

On continue avec le même exemple que le prendre dans les paragraphes précédentes, et après le calcul de charge permanente $G_{\text{total}} = 9,655 \text{ KN/ m}^2$ (paragraphe I.7) et le charge d'exploitation $Q = 1,5 \text{ KN/m}^2$ (paragraphe I.8) et comme c'est un projet durable la combinaison sera:

$$P_u = \sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{K,j} + \gamma_{Q,1} Q_{K,1} + \sum_{i \geq 1} \gamma_{Q,i} Q_{K,i} \Psi_{0,i}$$

Et comme il n'y a pas des actions variables d'accompagnement on alors:

$$\text{ELU : } P_u = 1.35 * G_{\text{total}} + 1.5 * Q = 1.35 * 9.655 + 1.5 * 1.5 = 15.284 \text{ KN/m}^2.$$

$$\text{ELS : } P_u = G_{\text{total}} + Q = 9.655 + 1.5 = 11.155 \text{ KN/m}^2.$$

I.12.4. Application dans notre projet:

Données :

Un bâtiment résidentiel formé de 9 étages, de hauteur à nu entre 2 dalles consécutives égale à 3.6m au RDC, 3.3m aux autres étages et 3.9 pour le dernier étage. Un plancher nervuré (qui porte dans un seul sens) avec corps creux et des poutres noyées, de hauteur égale à 25 cm.

- Le poids volumique moyen du plancher (béton et corps creux) est égal à 22KN/m3.
- Le carrelage est composé de :
 - 5cm de sable sec ($\gamma=17\text{KN/m}^3$),
 - 2cm de mortier ($\gamma=22\text{KN/m}^3$),
 - 3cm de carrelage en marbre ($\gamma=23,5\text{KN/m}^3$).
- Les partitions :
 - L'épaisseur des partitions est égale à 10 cm. Le poids volumique est égal à 15KN/m3.
 - L'épaisseur de l'enduit est égale à 1.5cm de chaque côté du mur. $\gamma=22\text{KN/m}^3$.
- La longueur totale des murs en plan est égale à 181 ml. Les murs sont supposés répartis uniformément sur toute la surface, sauf celle de l'escalier et l'ascenseur.

- Pour la charge d'exploitation : bâtiment résidentiel (plancher), selon l'EC1.

Déterminer les charges permanentes, la charge d'exploitation et la combinaison aux ELU et ELS?

Résultat :

Calcul de G et Q :

a- Calcul de G :

- P.P. du plancher : $0,25 \times 22 = 5,5 \text{ KN/m}^2$.

- Carrelage : $0,05 \times 17 + 0,02 \times 22 + 0,03 \times 23,5 = 1,995 \text{ KN/m}^2$.

- Partition :

- Surface nette = $421 - 39 = 382 \text{ m}^2$

- Poids des murs avec enduit : $181 \times 3,6 \times 0,1 \times 15 + 181 \times 3,6 \times 0,015 \times 2 \times 22 = 1407,46 \text{ KN}$.

- Alors pour les murs de partition = $1407,46 / 382 = 3,69 \text{ KN/m}^2$.

Alors **$G \text{ total} = 11,185 \text{ KN/m}^2$** .

b- Calcul de Q :

$$Q = 1,5 \text{ KN/m}^2 \text{ (Tableau I.5).}$$

Combinaison :

c- Aux ELU :

$$P_u = 1,35 \cdot G + 1,5 \cdot Q$$

$$P_u = 1,35 \cdot 11,185 + 1,5 \cdot 1,5$$

$$= 17,35 \text{ KN/m}^2,$$

d- Aux ELS :

$$P_u = G + Q$$

$$P_u = 11,185 + 1,5$$

$$= 12,68 \text{ KN/m}^2$$

Donc, les surfaces d'influence sont les charges surfaciques qui sont affectées en fonction des surfaces de planchers attribuées à chaque élément porteur (refend, poutre, poteau,...). Et suivant cette surface d'influence de l'élément étudié on peut le multiplier par P_u d'état ultime.

Chapitre II :

La poutre entre la méthode forfaitaire et

le calcul exact

II.1. Introduction:

Les poutres sont armées par des aciers principaux longitudinaux qui sont destinés à reprendre les efforts de traction dus à la flexion, et des aciers transversaux qui sont destinés à reprendre l'effort tranchant, ces aciers transversaux sont resserrés quand l'effort tranchant est important (sur les appuis) et plus espacés quand l'effort tranchant est faible (au milieu de poutre).

Cette étude de cas détaille le dimensionnement des armatures longitudinales et transversales d'une poutre rectangulaire hyperstatique en béton armé, conformément à l'Eurocode 2 et selon un logiciel de calcul, suite d'une étude comparative entre les deux résultats.

II.2. Poutre :

Dans l'architecture moderne du XXe siècle les poutres sont des éléments de béton armé coulés sur place avec leur ferrailage, puis dans la deuxième moitié du XXe siècle, des poutres préfabriquées, coulées au sol hors-place. Ainsi, les poutres précontraintes, pourvues de câbles de précontraintes incorporés et tendus avant la prise du béton, sont souvent utilisées lorsqu'il est nécessaire d'atteindre de grandes portées ou de supporter d'importantes charges.

D'une manière générale on peut définir les poutres comme étant des éléments porteurs horizontaux, on a deux types de poutres l'une sont les poutres principales qui reçoivent les charges transmises par les solives (poutrelles) et les répartie aux poteaux sur lesquels ces poutres reposent, et l'autre sont les poutres secondaires qui reliant les portiques entre eux pour ne pas basculées.

II.3. Méthodes de calcul:

Plusieurs méthodes sont utilisées pour calculer les moments dans une poutre telle-que la méthode forfaitaire et la méthode de Caquot qui sont expliqué successivement ci-dessous :

La méthode forfaitaire:

La méthode forfaitaire s'applique dans les cas où :

1. Les charges d'exploitation sont modérées c'est-à-dire vérifient $Q_B \leq 2.g$ ou $Q_B \leq 5 \text{ KN/m}^2$.
2. La fissuration non préjudiciable,
3. Les éléments de plancher ont une même inertie dans les différentes travées,

4. Les portées successives vérifient le rapport compris entre 0.8 et 1.25 : $0,8 \leq \frac{l_i}{l_{i-1}} \leq 1,25$ et $0,8 \leq \frac{l_i}{l_{i+1}} \leq 1,25$

Si l'une de ces conditions n'est pas satisfaite \Rightarrow méthode de CAQUOT

La méthode de Caquot:

La méthode de Caquot s'applique pour le calcul des poutres supportant des planchers dont les charges d'exploitation sont relativement élevées : $Q_B > 2G$ ou $Q_B > 5 \text{ KN/m}^2$.

La méthode consiste à calculer les moments sur appuis d'une poutre continue en considérant uniquement les travées qui encadrent l'appui considéré. Cette méthode est donc une « méthode de continuité simplifiée » car le moment fléchissant sur un appui ne dépend que des charges sur les travées qui lui sont adjacentes.

II.4. Calcul manuelle de poutre :

II.4.1. Calcul des moments :

Présentation de poutre :

1. Poutre continue a 2 travées,
2. Longueur = 9m,

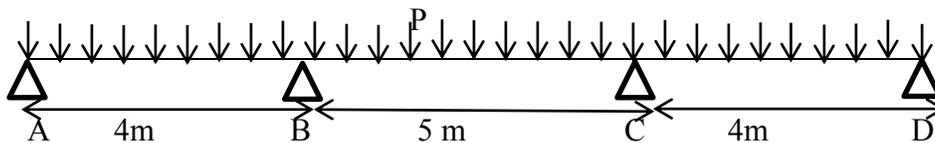


Figure II.1. Présentation de la poutre

Les charges :

$G \text{ total} = 11,185 \text{ KN/m}^2$ et $Q = 1.5 \text{ KN/m}^2$. (Déjà calculer dans le chapitre I)

Condition d'appliquer de la méthode forfaitaire :

1. $Q < 2 \cdot G$; $1.50 < 2 \cdot 11.185$ et $Q < 5000 \text{ N/m}^2$; $1500 < 5000$
2. Moments d'inertie transversal sont les mêmes dans les différentes travées ;
3. Les portées successives sont compris dans un rapport entre 0.8 et 1.25 ($0.8 < 5/4 < 1.25$) ;
4. Fissuration non préjudiciable.

Calcul par méthode forfaitaire :

$$q_u = 1,35g + 1,5q = 1.35 * 11.185 + 1.5 * 1.5 = 17.35 \text{ KN/m}^2$$

$$\text{Largeur d'influence} = 3.73\text{m donc, } q_u = 17.35 \text{ KN/m}^2 * 3.73\text{m} = 64.72\text{KN/m.}$$

Moments isostatiques : $M_0 = PL^2/8$

- Travée 1 : $M_{01} = (64.72 \times 4^2)/8 = 129.44 \text{ kN.m}$
- Travée 2 : $M_{02} = (64.72 \times 5^2)/8 = 202,25 \text{ kN.m}$
- Travée 3 : $M_{03} = (64.72 \times 4^2)/8 = 129.44 \text{ kN.m}$

Moment sur appui intermédiaire :

- $M_B \geq \text{Max}(0,50M_{01}; 0,50M_{02}) = 0.5 \times \text{Max}(129.44; 202,25) = 101.125 \text{ kNm}$
- $M_C \geq \text{Max}(0,50M_{02}; 0,50M_{03}) = 0.5 \times \text{Max}(202,25; 129.44) = 101.125 \text{ kNm}$

Moment sur appui de rive : on considère $M_A = M_D = 0$

Moment en travée: $\alpha = 0.12$, On a : $1+0.3\alpha = 1 + 0.3(0.12) = 1.036 > 1.05$

$$\text{Donc ; } M_{t1} = \frac{1.2+0.3\alpha}{2} M_{0t1} = \frac{1.2+0.3(0.12)}{2} M_{0t1} = 0.618 M_{0t1}$$

$$M_{t2} = \frac{1+0.3\alpha}{2} M_{0t2} = \frac{1+0.3(0.12)}{2} M_{0t2} = 0.518 M_{0t2}$$

On a $1,05M_0 < (1+0,3\alpha) M_0 = 1,15 M_0$, les valeurs des moments à retenir peuvent donc se déduire du tableau suivant :

Travée AB	Travée BC	Travée CD
$M_{t1} + \frac{M_B}{2} \geq 1.05 M_{01}$ $M_{t1} \geq 1.05 \times 129.44 - \frac{101.125}{2} =$ 85.35 KN.m	$M_{t2} + \frac{M_B + M_C}{2} \geq 1.05 M_{02}$ $M_{t2} \geq 1.05 \times 202,25 -$ $\frac{101.125 + 101.125}{2} = 105.17 \text{ KN.m}$	$M_{t3} + \frac{M_C}{2} \geq 1.05 M_{03}$ $M_{t3} \geq 1.05 \times 129.44 - \frac{101.125}{2} =$ 85.35 KN.m
$M_{t1} \geq \frac{1.2+0.3\alpha}{2} M_{01} = 80 \text{ KN.m}$	$M_{t2} \geq \frac{1+0.3\alpha}{2} M_{02} =$ 104.76 KN.m	$M_{t3} \geq \frac{1.2+0.3\alpha}{2} M_{03} = 80 \text{ KN.m}$
Donc, $M_{t1} \geq 85.35 \text{ KN.m}$	Donc, $M_{t2} \geq 105.17 \text{ KN.m}$	Donc, $M_{t3} \geq 85.35 \text{ KN.m}$

Tableau II.1. Les moments aux travées selon le calcul forfaitaire.

II.4.2. Calcul des efforts tranchants :

- Sur l'appui de rive:

$$V_{\text{Adroite}} = \frac{P_u L}{2} - \frac{(MB+MA)}{L} = \frac{64.72 \times 4}{2} - \frac{101.125}{4} = 104.16 \text{ KN}$$

$$V_{\text{Dgauche}} = -V_{\text{Adroite}} = -104.16 \text{ KN}$$

- Sur l'appui intermédiaire :

$$V_{\text{Bgauche}} = -\frac{P_u L}{2} - \frac{(M2+M1)}{L} = -\frac{64.72 \times 5}{2} - \frac{101.125}{5} = -182.03 \text{ KN}$$

$$V_{\text{Bdroite}} = -V_{\text{Bgauche}} = 182.03 \text{ KN}$$

II.4.3. Calcul des réactions d'appuis :

Connaissant les efforts tranchants au droit des appuis intermédiaires, on peut en déduire facilement les réactions d'appuis correspondantes :

$$\text{On a : } R_i = V_{i+1} - V_i$$

$$R(A) = 104.16 \text{ KN.}$$

$$R(B) = 182.03 + 182.03 = 364.06 \text{ KN.}$$

$$R(C) = 182.03 + 182.03 = 364.06 \text{ KN.}$$

$$R(D) = 104.16 \text{ KN.}$$

II.5. Dimensionnement par logiciel – calcul exact:

Le même exemple qui a traité précédemment de la façon manuel à partir de la méthode de Caquot doit être traité du nouveau à l'aide d'un logiciel « Robot » pour déterminer la différence entre les deux résultats.

D'abord on réalise la poutre sur le logiciel et on présente la charge permanente et la charge d'exploitation, puis on définit la combinaison entre ces 2 types des charges selon l'Eurocode, comme indique dans les figures ci-dessous :

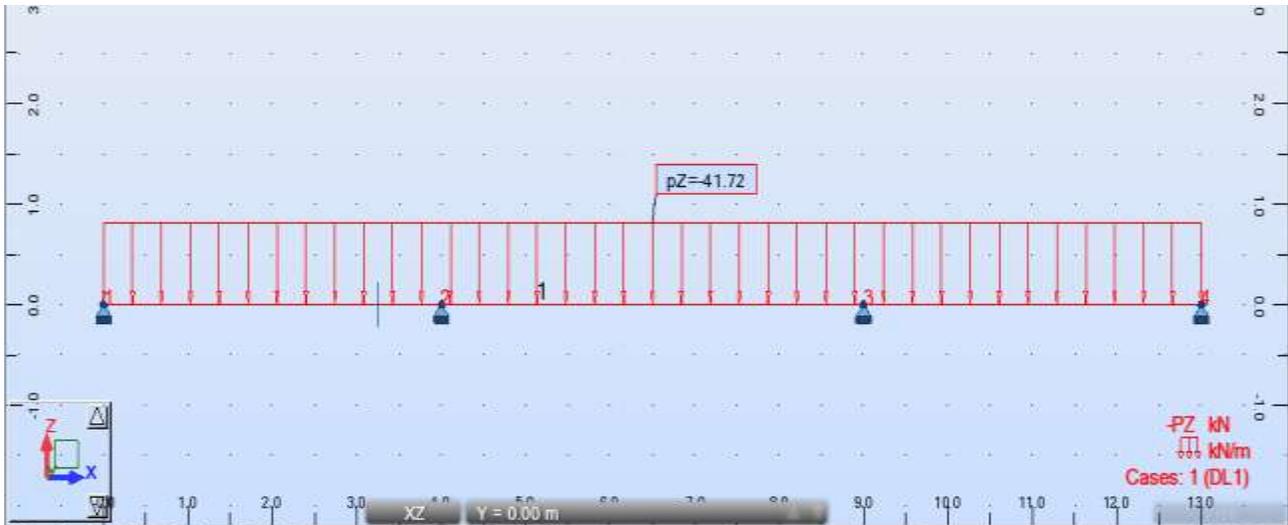


Figure II.2. Présentation de la charge permanente

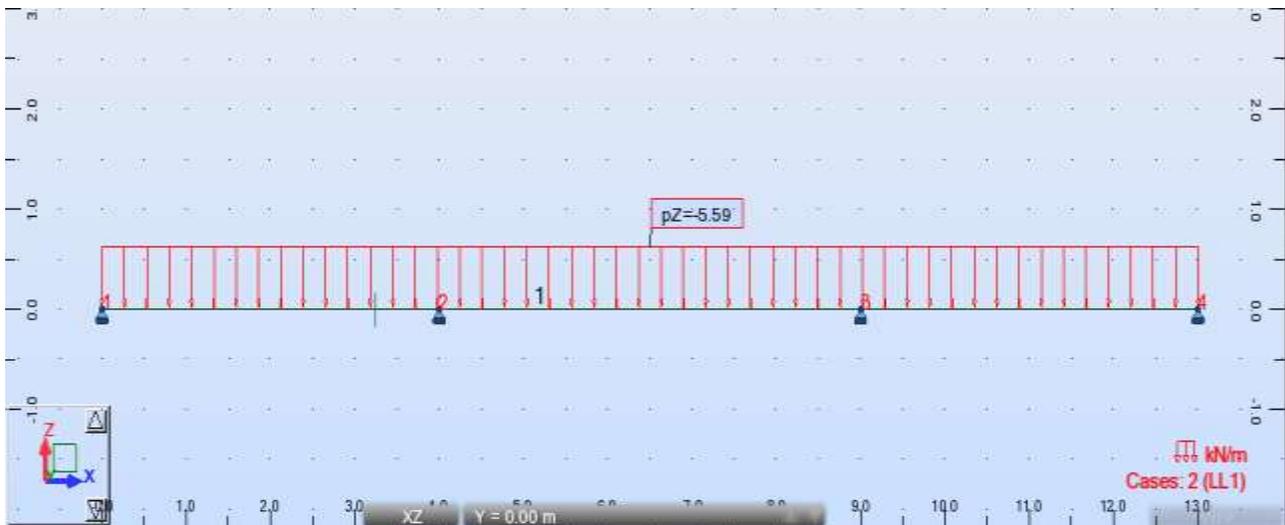


Figure II.3. Présentation de la charge d'exploitation

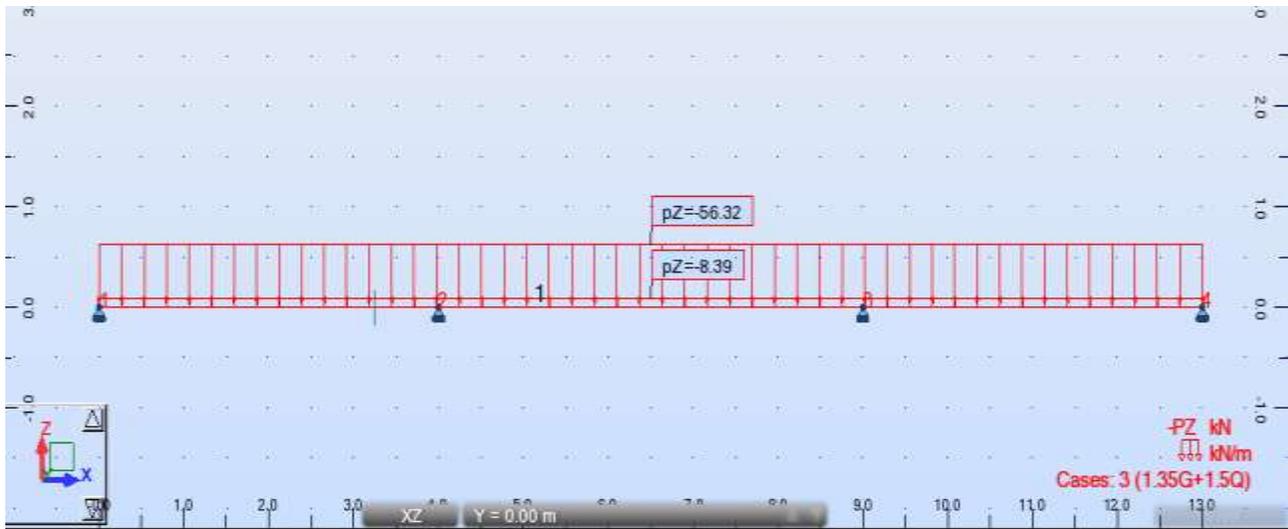


Figure II.4. Présentation de la combinaison de la charge 1.35 G+1.5Q

Node	X (m)	Y (m)	Z (m)	Support
1	0.0	0.0	0.0	Pinned
2	4.00	0.0	0.0	Pinned
3	9.00	0.0	0.0	Pinned
4	13.00	0.0	0.0	Pinned
*				

Tableau II.2. Présentation des nœuds

Ensuite, on fait le calcul pour déterminer les réactions d'appuis, les efforts tranchants et les moments fléchissant comme indique successivement dans les figures ci-dessous :

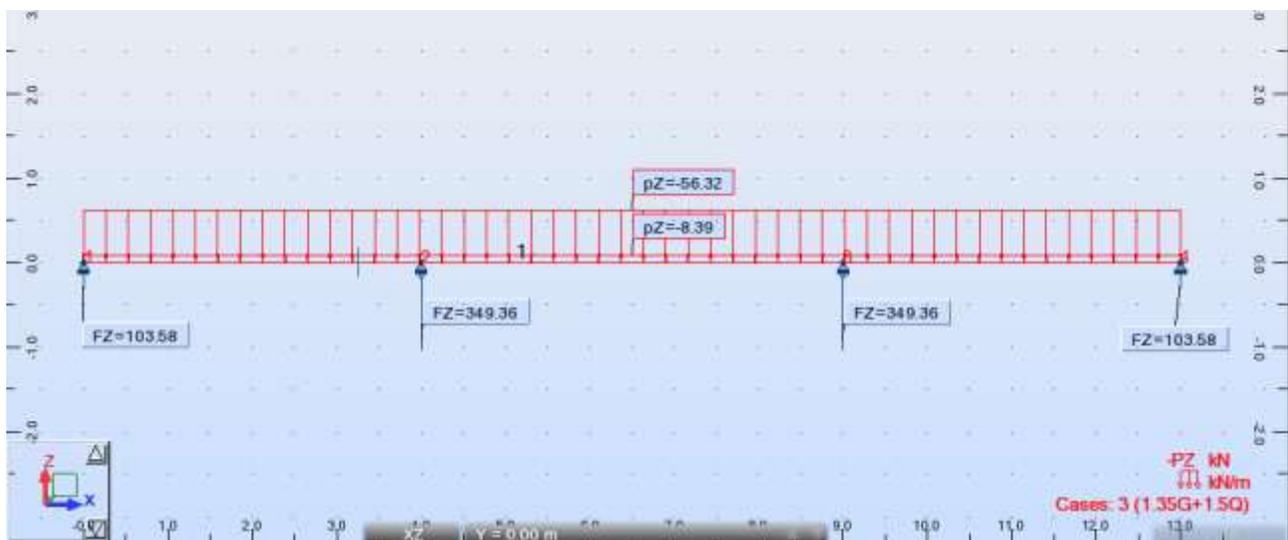


Figure II.5. Illustration des réactions des appuis

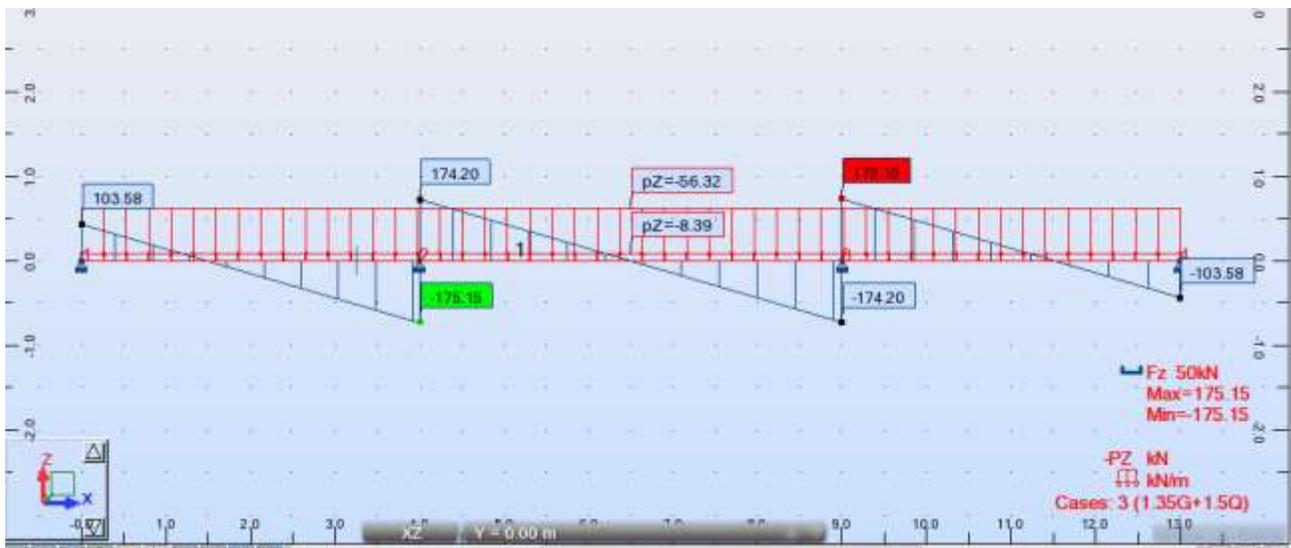


Figure II.6. Illustration des efforts tranchants

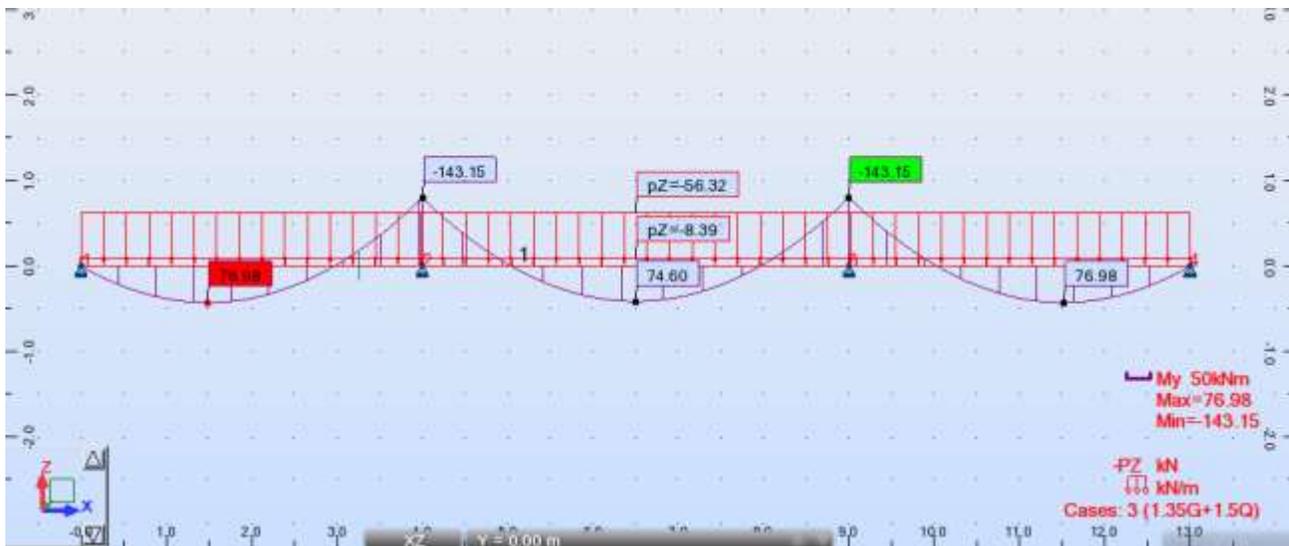


Figure II.7. Illustration du moment fléchissant

Enfin et d’après le résultat du logiciel on peut élaborer ce tableau de comparaison entre le calcul de logiciel et le calcul de la main:

		Méthodes des calculs		Rapport Forfaitaire/Robot	Taux en %
		Méthode forfaitaire	Logiciel « Robot »		
Les réactions des appuis (KN):					
	R (A) =	104.16	103.58	1.006	0.01 %
	R (B) =	364.06	349.36	1.04	4.04 %
	R (C) =	364.06	349.36	1.022	4.04 %
	R (D) =	104.16	103.58	1.006	0.01 %
Les efforts tranchants sur appuis intermédiaires (KN) :					
	V (A - droite) =	104.16	103.58	1.006	0.01 %
	V (B - gauche) =	- 182.03	-175.15	1.04	3.78 %
	V (B - droite) =	182.03	174.20	1.045	4.3 %
	V (C - gauche) =	-182.03	-174.20	1.045	4.3 %
	V (C - droite) =	182.03	175.15	1.04	3.78 %
	V (D - gauche) =	-104.16	-103.58	1.006	0.01 %
Les moments fléchissant en travées (KN.m) :					
	M (AB) =	85.35	76.98	1.11	9.8 %
	M (BC) =	105.17	74.60	1.41	29 %
	M (CD) =	85.35	76.98	1.11	9.8 %

Tableau II.3. Différence entre les méthodes de calcul forfaitaire - Exact

II.6. Comparaison des résultats:

D'après le tableau II.3 qui présente les résultats des réactions des appuis, des efforts tranchants et des moments fléchissant calculées par la méthode forfaitaire et par un logiciel de calcul « Robot » on peut observer que dans tous les cas la méthode forfaitaire se place dans le sens de la sécurité, avec des valeurs proches des autres deux méthodes. Et par suite l'utilisation de la

méthode forfaitaire, quand elle est applicable, permet tout de même d'avoir un ordre de grandeur assez précis et permet un contrôle des résultats obtenus avec le calcul par Robot.

Donc, on peut conclure que la méthode forfaitaire est plus sécuritaire que le calcul exact d'à peu près 6 %.

Chapitre III :
Calcul d'un portique bidimensionnel par
méthode manuelle et exact.

III.1. Introduction:

La comparaison entre le calcul par méthode forfaitaire et le calcul exact par logiciel s'apparait dans le calcul bidimensionnel d'un portique. De ce part une étude d'un portique permet de transmettre une structure hyperstatique en structure isostatique en mettant des rotules aux points où le moment est zéro. Donc est-ce-que la méthode forfaitaire est plus sécuritaire d'une méthode exact ?

III.2. Portique :

Un portique est une structure composée des éléments horizontaux, soutenu par plusieurs éléments verticaux, entre lesquels il est possible de se déplacer.

En construction, le portique est un élément de gros-œuvre qui peut être fait de bois, de béton ou bien de métal. Il se compose de plusieurs poteaux et de poutres.

III.3. Dimensionnement par méthode forfaitaire d'un portique:

III.3.1. Portique sous forces horizontaux :

La méthode forfaitaire c'est l'art de transformer une structure hyperstatique en structure isostatique en mettant des rotules aux points des moments zéro dans un portique.

Si on prend l'exemple suivant un portique représente quatre poteaux sur 8 étages :



Figure III.1. Portique bidimensionnel

En considère les efforts tranchant horizontaux aux niveaux des points A, B, C et D :

$$\text{Total efforts tranchant horizontaux} = 16 + 32 \times 5 = 176 \text{ KN.}$$

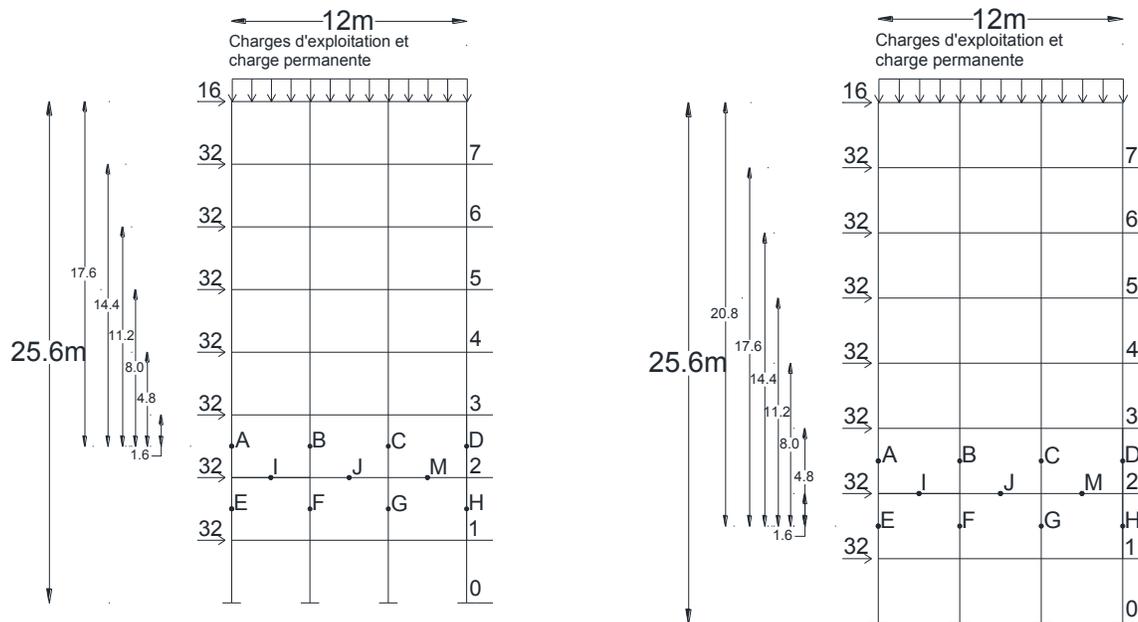


Figure III.3. Portique bidimensionnel avec distribution de charges horizontales et verticales

Réfère au point « 3 », les efforts tranchant horizontaux sont divisés par rapport aux travées, donc chaque baie possède de 58.67 KN ($176/3$), donc le force horizontale au chaque points considéré comme il été isolée est 29.335KN, et comme les points B et C sont en commun avec deux travées consécutives les efforts tranchants horizontaux au ces points est 58.67KN. Les forces horizontales aux points A, B, C et D sont présentées dans la figure suivante.

Même procédure se fait pour calculer les efforts tranchants horizontaux aux points E, F, G et H donc les efforts tranchant horizontaux = $16 + 32 \times 6 = 208$ KN cette valeur sera divisé aux forces de 34.67 KN aux points E et H, et il est 69.33 KN aux rotules intérieur F et G.

Les forces sur les rotules supérieures sont dirigés au gauche tandis qu'ils sont dirigés au droit sur les rotules inferieures.

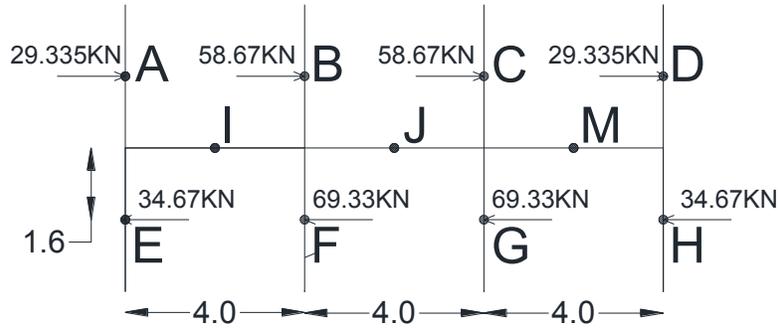


Figure III.4. Représentation des forces horizontales

Pour déterminer les forces verticales dans les colonnes extérieures (les colonnes intérieures ne possèdent pas des forces verticales sous les forces horizontales due au point « 3 ») il est nécessaire de tenir compte du moment de la structure au niveau des rotules. Prenant des moments de toutes les forces au-dessus du niveau de A, B, C et D, pour point A on a :

$$16 \times 17,6 + 32 \times (14,4 + 11,2 + 8 + 4,8 + 1,6) = 12 V_D$$

$$281,6 + 1280 = 12 V_D$$

$$V_D = 130,13 \text{ KN}$$

Une fois de plus, nous sommes intéressés par les forces que le reste de la structure, au-dessus du deuxième étage, impose sur les rotules A et D, et donc la force verticale à D est vers le bas.

Pour déterminer les forces verticales aux points E et H, le moment de la superstructure peut être considéré en prenant le moment sur E, nous avons :

$$16 \times 20,8 + 32 \times (17,6 + 14,4 + 11,2 + 8 + 4,8 + 1,6) = 12 V_H$$

$$332,8 + 1843,2 = 12 V_H$$

$$V_H = 181,33 \text{ KN}$$

Dans ce cas à nouveau, le calcul des forces verticales de la partie inférieure de la structure impose au deuxième étage montre que la direction de la force verticale sur la rotule H est vers le haut. Tandis que la force verticale au point E est dirigée vers le bas.

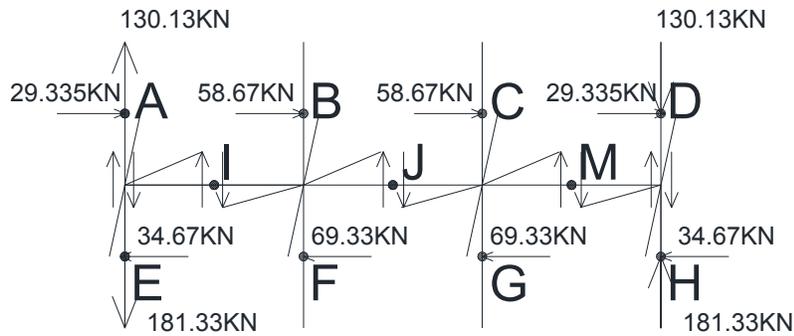


Figure III.5. Représentation des réactions verticales aux colonnes.

Tous les restes maintenant pour que l'analyse soit complète est de déterminer les efforts tranchants dans les poutres. On considère le poteau AE comme un élément séparé de structure ou on peut le voir que les forces verticales au point A et E ne sont pas équilibrées. La poutre doit donc imposer une force sur la colonne de garder la stabilité verticale de la colonne. Donc l'effort tranchant sur la poutre est : $181.33 - 130.13 = 51.2 \text{ kN}$.

La force de la poutre sur le poteau doit être ascendante donc la force du poteau sur la poutre doit être descendante. Les efforts tranchants dans toutes les parties de la poutre sont constants comme la figure suivante :

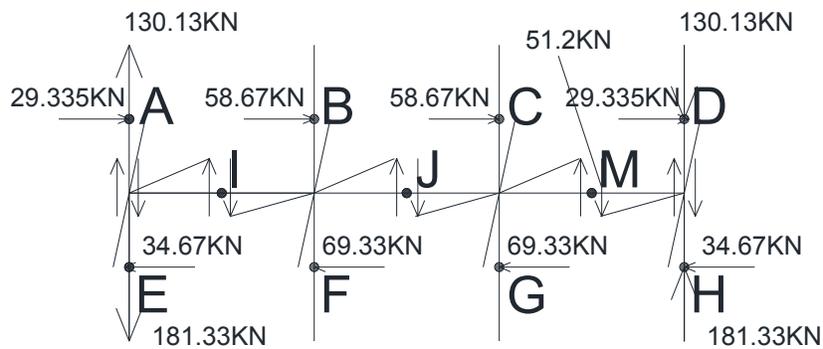


Figure III.6. Représentation des efforts tranchants dans les poutres.

Comme un contrôle de l'équilibre vertical de la colonne DH peut être envisagée pour assurer que les directions de la cisaille sont correctes. Le moment fléchissant pour chaque partie de poutre

peut être déterminé en considérant chaque partie comme un cantilever simple, fixe au niveau des articulations. Donc les moments maximaux dans toutes les poutres sont : $51.2 \times 2 = 102.4 \text{ KN.m}$

Le moment fléchissant maximal sur les colonnes extérieures au-dessus de le deuxième étage est : $29.335 \times 1.6 = 46.936 \text{ KN.m}$

Le moment fléchissant maximal sur les colonnes intérieures au-dessus de le deuxième étage est : $58.67 \times 1.6 = 93.872 \text{ KN.m}$

Le moment fléchissant maximal sur les colonnes extérieures au-dessous de le deuxième étage est : $34.67 \times 1.6 = 55.472 \text{ KN.m}$

Le moment fléchissant maximal sur les colonnes intérieures au-dessous de le deuxième étage est : $69.33 \times 1.6 = 110.928 \text{ KN.m}$

III.3.2. Portique sous forces Verticaux :

Même méthode de calcul de forces horizontales doit être appliqué dans le cas des forces verticales par l'insertion des rotules mais les positions de ces rotules ne sont pas au centre des poutres. Pour les baies intérieures les points où les moments est zéro se situe à $0.2L$ de colonne tandis que pour les baies extérieures les points où les moments est zéro se situe à $0.2L$ de colonne intérieur mais de $0.1L$ de la colonne extérieur.

Ces positions sont calculés par approximation ils sont appliqués seulement pour les charges uniformément distribués et si toutes les travées sont équivalente chargée.

Les rotules sont situées à $0.2L$ de colonnes, la poutre donc à une travée simple de $0.6L$ qui est appuyés sur les rotules de l'encastrement à de travées $0.2L$. Le moment fléchissant de chaque partie est combiné pour obtenir le moment fléchissant de la poutre.

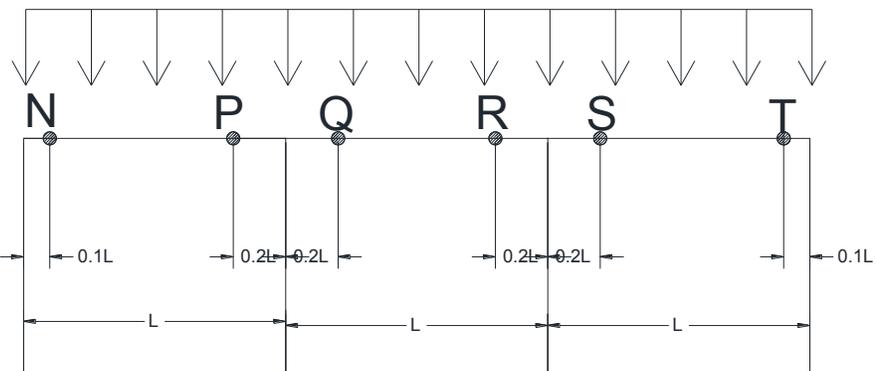


Figure III.7.
Représentation des charges
verticales et les rotules aux
points des moments zéro

Pour la travée intérieure :

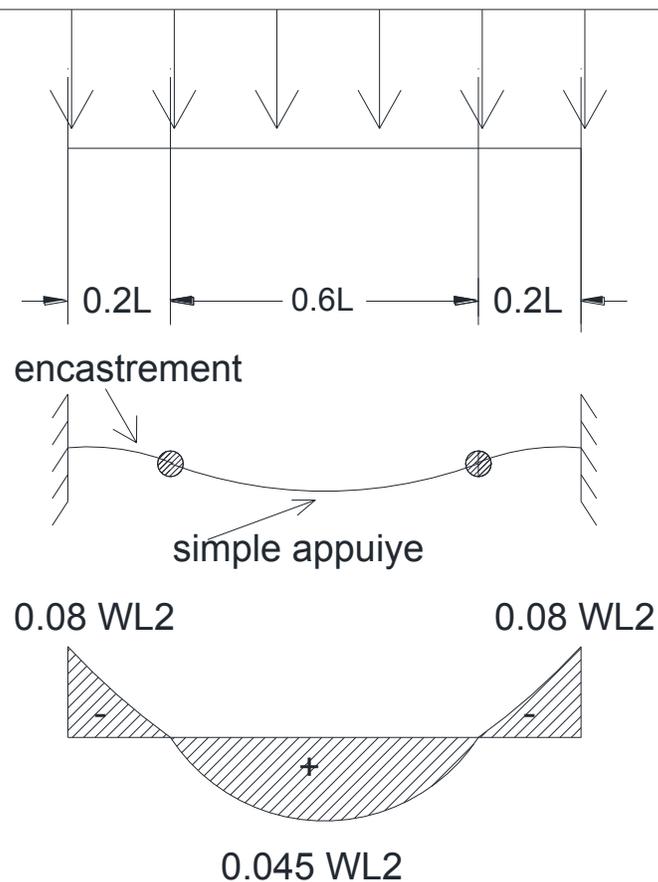


Figure III.8. Représentation de poutre intermédiaire avec le diagramme des moments.

Pour le section au centre le diagramme de moment fléchissant est parabolique avec un valeur maximal de $[W (0.6L)^2]/8 = 0.045 WL^2 = 0.045 \times 12 \times 4^2 = 8.64\text{KN.m}$, et la réaction de la poutre est $0.3WL = 0.3 \times 12 \times 4 = 14.4\text{KN}$

Pour les encastrements le moment fléchissant négatif est causé par la charge uniformément distribués à $0.2L = 0.2 \times 4 = 0.8\text{m}$, avec une réaction de $0.3WL = 0.3 \times 12 \times 4 = 14.4\text{KN}$.

$$\begin{aligned} \text{Le moment négative sur la colonne est} &= -(W \times 0.2L \times 0.1L \times +0.3WL \times 0.2L) \\ &= - 0.08 WL^2 \\ &= - 0.08 \times 12 \times 4^2 = - 15.36\text{KN.m} \end{aligned}$$

Pour la travée extérieure :

La rotule à l'intérieur est à $0.2L$ de la colonne intérieure, et la rotule à l'extérieur est à $0.1L$ de la colonne extérieure et la travée donc entre eux est de $0.7L$.

Maximal moment positive = $[W (0.7L)^2] / 8 = 0.061 WL^2 = 0.061 \times 12 \times 4^2 = 11.712 \text{KN.m}$,
la réaction de la poutre est $0.35 WL = 0.35 \times 12 \times 4 = 16.8 \text{ KN}$.

Maximal négative moment pour l'encastrement de l'intérieur est = $-(W \times 0.2L \times 0.1L + 0.35WL \times 0.2L) = -0.09WL^2 = -0.09 \times 12 \times 4^2 = -17.28 \text{ KN.m}$

Maximal négative moment pour l'encastrement de l'extérieur est = $-(W \times 0.1L \times 0.05L + 0.035WL \times 0.1L) = -0.04WL^2 = -0.04 \times 12 \times 4^2 = -7.68 \text{ KN.m}$

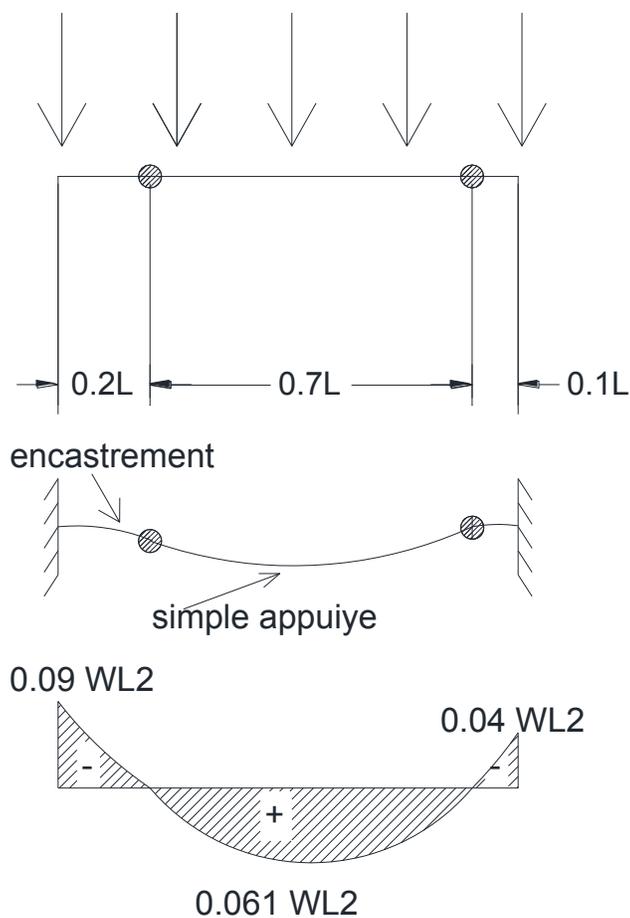


Figure III.9. Représentation de poutre de rive avec le diagramme des moments.

Résumé :

Cas d'étude :	Force Horizontale (KN) :							
Portique sous forces horizontaux :	A	B	C	D	E	F	G	H
	29.335	58.67	58.67	29.335	34.67	69.33	69.33	34.67
	Force Verticales (KN) :							
	130.13			-130.13	-181.33			181.33
	Efforts tranchantes dans la poutre est 51.2 KN.							
	Moment fléchissant maximale dans la poutre est 102.4 KN.m							
	Moment fléchissant maximale dans les colonnes (KN.m)							
	au-dessus de le deuxième étage				au-dessous de le deuxième étage			
	Les colonnes extérieures		les colonnes intérieures		Les colonnes extérieures		les colonnes intérieures	
	46.936		93.872		55.472		110.928	
Portique sous forces Verticaux :	Pour la travée intérieure :							
	Au centre				Pour les encastremets			
	Le moment fléchissant de la poutre		+ 8.64KN.m		Le moment fléchissant sur la colonne		- 15.36KN.m	
	la réaction de la poutre		14.4KN		la réaction de la poutre		14.4KN	
	Pour la travée extérieure (de rive):							
	Au centre				Pour les encastremets			
	Le moment fléchissant de la poutre		+ 11.712KN.m		Moment pour l'encastrement de l'intérieur		-17.28 KN.m	
	la réaction de la poutre		16.8 KN		Moment pour l'encastrement de l'extérieur		-7.68 KN.m	

Tableau III.1. Résultat de calcul forfaitaire d'un portique bidimensionnel.

III.4. Dimensionnement par Robot d'un portique:

Après le calcul forfaitaire d'un portique on prend le même exemple et on fait le calcul exact par logiciel en utilisant « Robot », la figure suivante montre le portique soumis aux forces horizontaux.

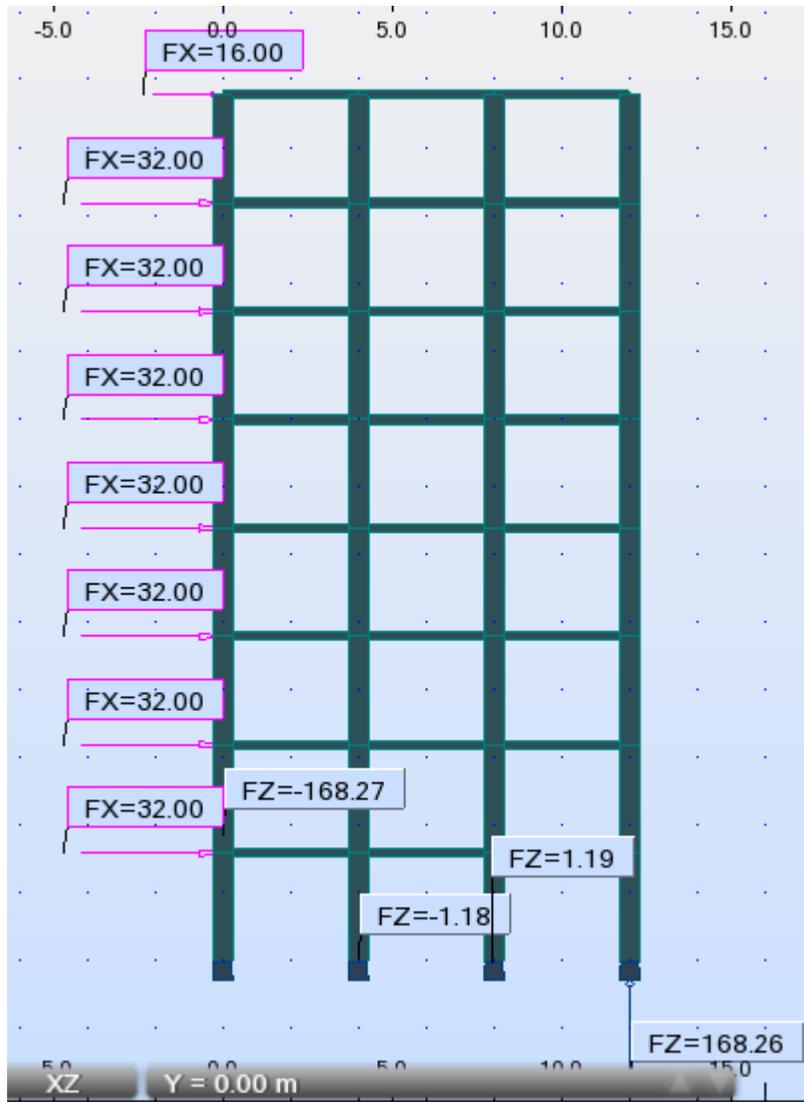


Figure III.10. Représentation d'un portique sur le Robot avec calcul des réactions

Cette figure montre les forces verticales c.-à-d. les réactions qui apparaissent due aux forces horizontales. On remarque que $R = 168.26 \text{ KN}$

Ainsi les forces horizontaux calculées par robot est 63.81 KN , et le moment 100.28 KN.m

Pour les forces verticales le calcul de moment à logiciel montre que le moment au milieu de travées de rive est 8.78 KN.m et le moment au milieu de travées intermédiaire est de 8.64 KN.m ainsi de moment négative de 17.30 KN.m comme indique la figure suivant :

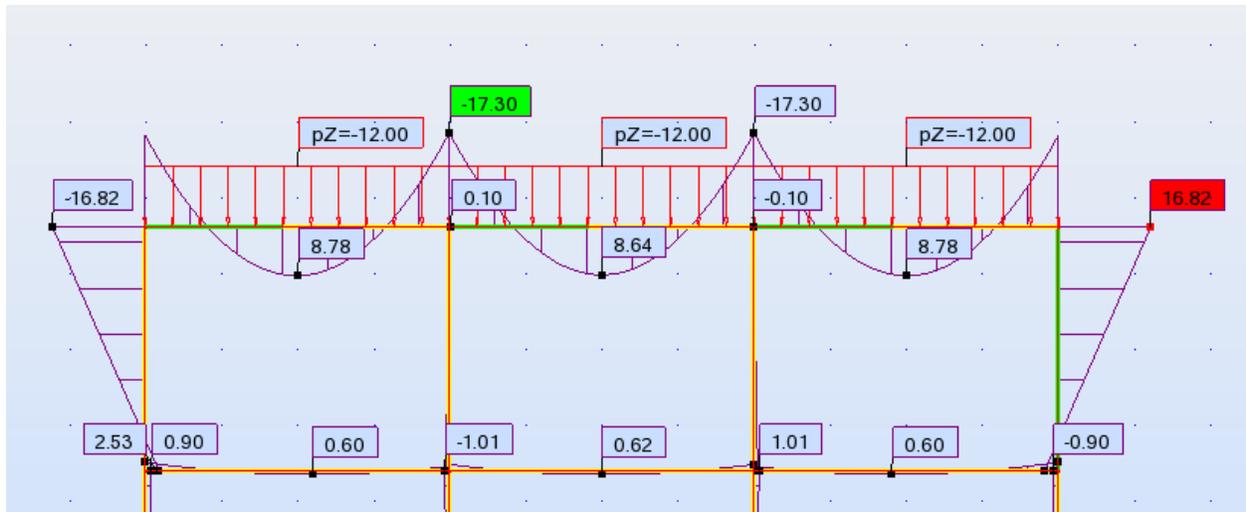


Figure III.11. Représentation des moments sur les poutres intermédiaire et de rive

III.5. Comparaison entre méthode forfaitaire et exact dans le calcul d'un portique:

D'après le deux calcul précédent l'une avec la méthode forfaitaire et l'autre par le calcul exact en utilisant « Robot » en constater le tableau de comparaison ci-dessous :

Méthode de calcul	Robot	Forfaitaire	Rapport Forfaitaire/Robot	Taux en %
Forces horizontaux (KN)	63.81	69.33	1.0865	7.96 %
Réaction (KN)	168.26	181.33	1.0776	7.21 %
Moment (KN.m)	100.28	110.928	1.106	9.6 %
le moment au milieu de la poutre de travées de rive	8.78	11.712	1.334	
le moment au milieu de la poutre de travées intermédiaire	8.64	8.64	1	0 %
le moment négatif à la poutre	17.30	17.30	1	0 %

Tableau III.2. Tableau de comparaison en pourcentage entre forfaitaire - Exact

Donc, et d'après le tableau ci-dessous on remarque que les deux méthodes de calcul forfaitaire et exact sont différent par une valeur approximative de 8.25 %, par suite on constate que la méthode forfaitaire est le plus sécuritaire que la méthode exact.

Chapitre IV :
Calcul d'un portique tridimensionnel par
méthode manuelle et exact.

IV.1. Introduction :

D'une manière générale, les poteaux sont créés pour réduire les portées des poutres et ils jouent dans quelques cas un double rôle : architectural et structural. Deux études de comparaison sera affectées du poteau l'une manuellement et l'autre avec un logiciel.

IV.2. Poteaux :

Un poteau est une poutre droite verticale soumise généralement à la compression simple centrée. Et puisque le béton résiste très bien à la compression, la quantité d'armature nécessaire est minimale dans la plupart des cas et les armatures sont donc théoriquement inutiles. Mais en fait, les charges appliquées ne sont jamais parfaitement centrées grâce à la dissymétrie des chargements, aux imperfections d'exécution et à la solidarité avec les poutres; pour cette raison, on introduit des armatures destinées à résister aux moments ainsi créés. Le poteau ainsi constitué de béton et d'armatures longitudinales seules a une faible résistance au flambement des armatures; on introduit donc des armatures transversales pour y remédier.

L'EC2 définit les poteaux comme étant un élément structural élancé, dont le grand côté de la section transversale ne dépasse pas 4 fois le petit côté de celle-ci (sinon il est considéré comme un voile) et dont la hauteur h est au moins égale à 3 fois le grand côté il est donc considéré comme un poteau un élément tel que : $h \geq 3b$ et $b \leq 4a$ où a (respectivement b) est la petite (respectivement grande) dimension transversale et h la hauteur.

Dans la réalité les poteaux dans les bâtiments sont en général soumis à des moments en tête et en pied, de telle sorte qu'il est rare de pouvoir les considérer comme travaillant en compression simple. Il est cependant habituel de considérer :

- Les poteaux de bâtiment, dont les extrémités ne sont pas susceptibles de déplacements horizontaux (contreventement rigide) sont alors calculés en compression simple. (le poteau qui se trouve sur le contour de l'ouvrage a de flexion uni-axial)
- Les poteaux de bâtiment dont les extrémités peuvent se déplacer horizontalement et qui sont calculés en flexion composée. (le poteau qui se trouve au coin du bâtiment a de flexion bi-axial)

IV.3. Présentation de poteau :

Le poteau à étudiés est situés dans le rez-de-chaussée du bâtiment, il porte un surface d'influence de 15m^2 comme indique dans la figure suivante :

Figure IV.1. Surface d'influence de poteau

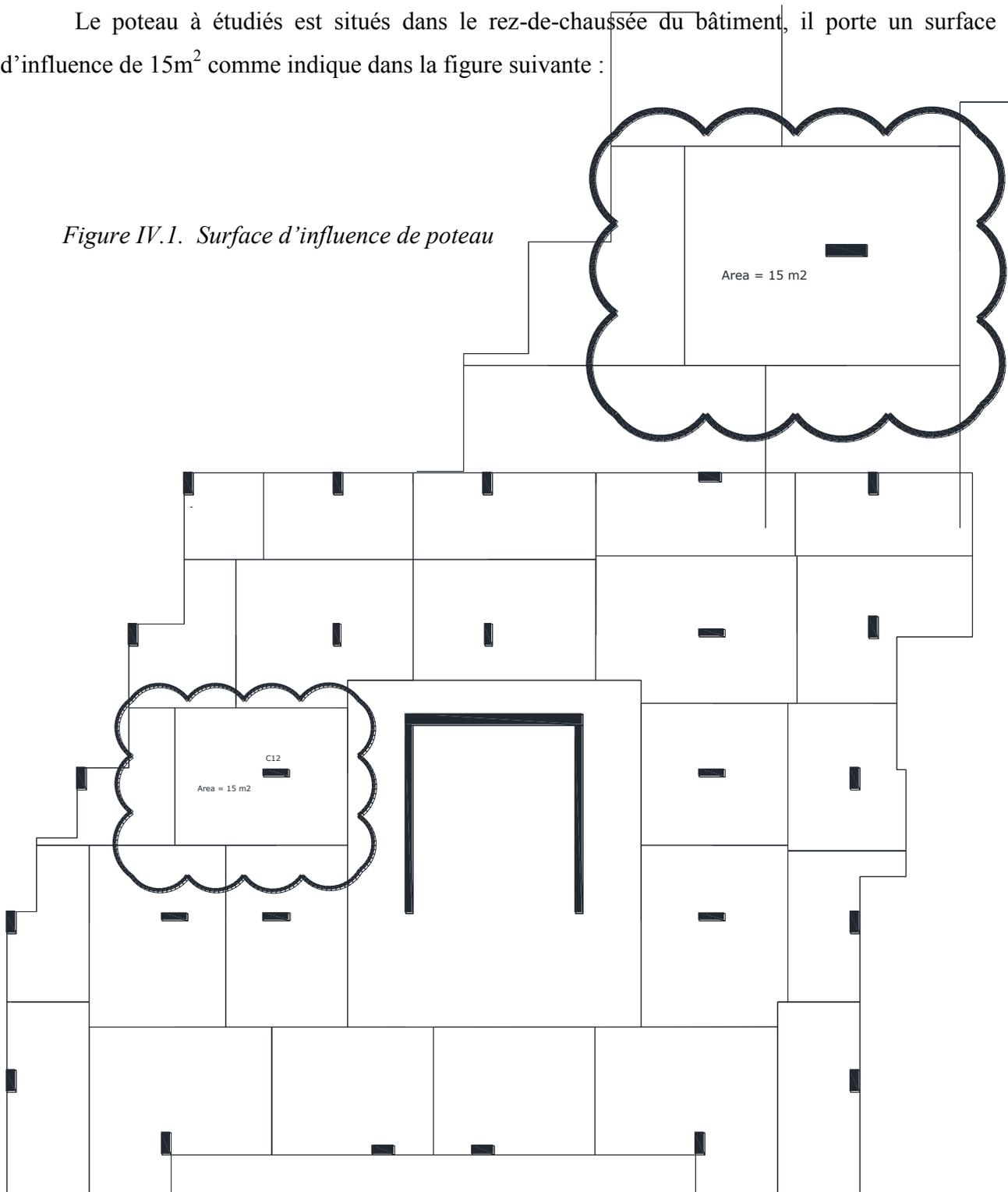


Figure IV.2. Implantation de poteaux

IV.4. Ferrailage d'un poteau – à base de la force calculé par logiciel:

D'après le modèle de Robot, on prend la force sur la colonne du premier étage dans un bâtiment formée de 25 étages calculé par le Robot qui est de 360 tonne = 3530 KN= 3.53 MN

On a le poteau est de dimension a=30cm et b=80cm

Pour section rectangulaire $i = \frac{a\sqrt{3}}{6} = 30 * \frac{\sqrt{3}}{6} = 8.66$ cm

La longueur de flambement $L_0 = 3.25$ m

Élancement $\lambda = \frac{L_0}{i} = \frac{3.25}{8.66} * 100 = 37.53$

Coefficient de flambement $\alpha = \frac{0.86}{1 + \left(\frac{37.53}{62}\right)^2} = 0.629$

$K_h = 1$

$K_s = 1$

$f_{yd} = \frac{500}{1.15} = 434.78$ MPa

$f_{cd} = \frac{30}{1.50} = 20$ MPa

$A_s = \frac{1}{f_{yd}} * \left(\frac{Q_{tu}}{K_h K_s \alpha} - A_c f_{cd} \right) = \frac{1}{434.78} * \left(\frac{3.53}{1 * 1 * 0.629} - 0.3 * 0.8 * 20 \right) = 1.87 * 10^{-3} \text{ m}^2$ soit 18.7 cm²

$A_{smin} = \max \left(0.1 * \frac{Q_{tu}}{f_{yd}} ; 0.002 * A_c \right) = \max \left(0.1 * \frac{3.53}{434.78} ; 0.002 * 0.3 * 0.8 \right) = \max \left(8.12 * 10^{-4} ; 4.8 * 10^{-4} \right) = 8.12 * 10^{-4} \text{ m}^2 = 8.12 \text{ cm}^2$.

On admet comme acier 14φ14mm de surface 21.56 cm²

Vérification à l'acier maximale $\rho = \frac{21.56 * 10^{-4}}{0.3 * 0.8} * 100 = 0.89 \% < 3 \% \text{ OK}$

Acier transversales :

$\Phi_t = \max \left(6 ; \frac{14}{4} \right) = 6 \text{ mm}$ on peut prendre HA8

Avec un espacement de $S_t = \min (20 * 1.4 ; 30 ; 40) = 28$ cm

Donc on met 13 HA 8mm pour un poteau de hauteur = 325cm.

Case/Story	FY to columns (T)	FY to walls (T)
14/ 1	367.27	5283.88
14/ 2	108.76	5391.56
14/ 3	54.76	5198.68
14/ 4	7.75	4900.49
14/ 5	178.91	4317.77
14/ 6	81.14	4204.99
14/ 7	105.35	3984.88
14/ 8	91.63	3768.92
14/ 9	81.24	3542.38
14/ 10	82.05	3310.45
14/ 11	85.83	3089.76
14/ 12	89.03	2886.37
14/ 13	91.37	2703.39
14/ 14	93.20	2547.54
14/ 15	94.83	2425.34
14/ 16	96.35	2336.72
14/ 17	97.78	2276.19
14/ 18	99.11	2239.15
14/ 19	100.33	2222.32
14/ 20	101.39	2217.13
14/ 21	102.15	2207.94
14/ 22	102.50	2180.64
14/ 23	102.33	2129.74
14/ 24	101.88	2049.82
14/ 25	102.88	1914.61

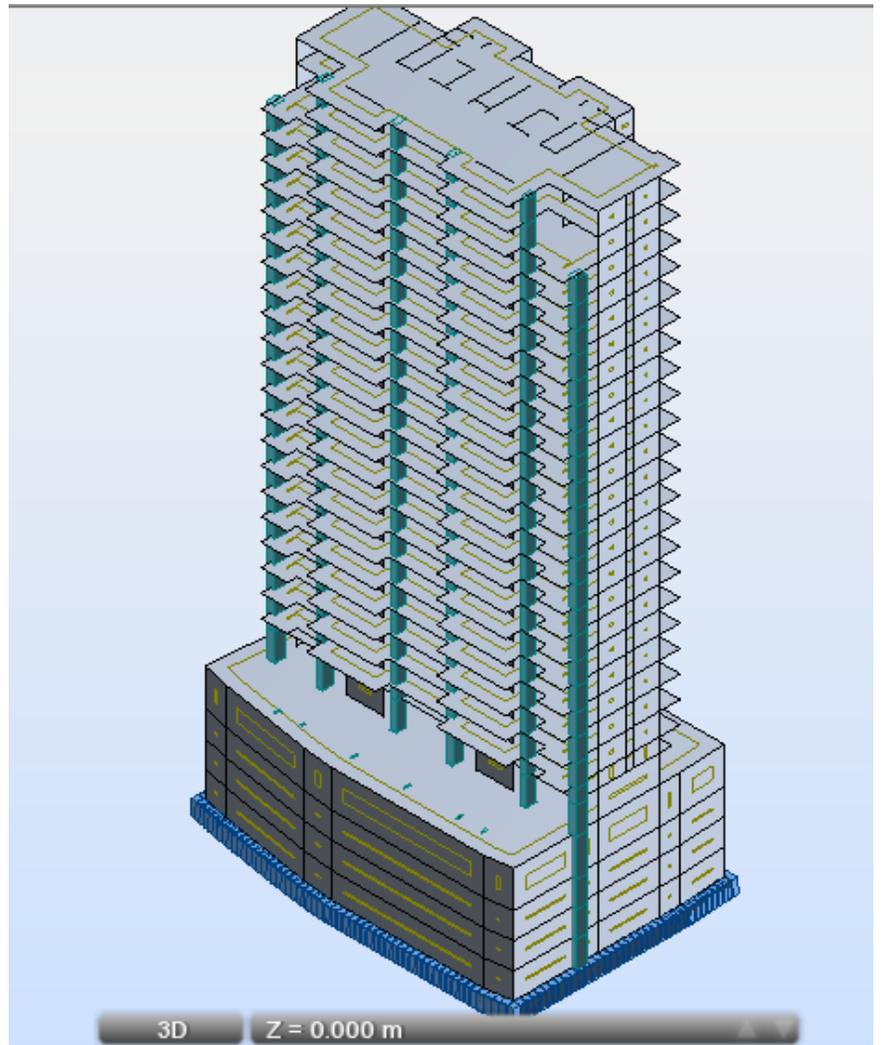


Figure IV.3. Robot model

Figure IV.4. La charge sur la colonne du premier étage.

IV.5. Ferrailage d'un poteau – à base de la force calculé manuel:

Ferrailage d'un poteau de dimension 30x80cm (même dimension que le paragraphe IV.4) ; la surface d'influence est de 15 m² (comme indique dans le paragraphe IV.3) avec :

$G_{\text{total}} = 5 \text{ KN/m}^2$, et $Q = 1.5 \text{ KN/m}^2$ (catégorie A, plancher).

- Charge permanente pour le poteau à l'étage 1 :

$$G_1 = 25 * 15 * 5 + 0.3 * 0.8 * 25 * 25 = 2025 \text{ KN}$$

- Charge d'exploitation pour le poteau à l'étage 1 :

$$Q_1 = 25 * 15 * 1.5 = 562.5 \text{ KN}$$

- Charge Totale Ultime sur le poteau:

$$Q_{tu} = 1.35 * 2025 + 1.5 * 562.5 = 3577.5 \text{ KN}$$

- Charge Totale Service sur le poteau:

$$Q_{ts} = 2025 + 562.5 = 2587.5 \text{ KN}$$

On utiliser la méthode simplifier de l'Eurocode 2 car :

- le poteau est en compression simple
- poteau de section 40x90 cm² → Dim. > 15cm
- $\lambda < 60$ comme l'indique le calcul ci-dessous

Le poteau doit être calculé comme chargé axialement mais pour tenir compte de l'effet de l'excentricité on multiplie la charge totale par un coefficient de 1.15 pour les poteaux intérieurs. La charge totale ultime du poteau devient: $Q_{tu} = 1.15 * 3577.5 = 4114 \text{ KN} = 4.114 \text{ MN}$

On a le poteau est de dimension $a=30\text{cm}$ et $b=80\text{cm}$

Pour section rectangulaire $i = \frac{a\sqrt{3}}{6} = 30 * \frac{\sqrt{3}}{6} = 8.66 \text{ cm}$

La longueur de flambement $L_0 = 3.25\text{m}$

Élancement $\lambda = \frac{L_0}{i} = \frac{3.25}{8.66} * 100 = 37.53$

Coefficient de flambement $\alpha = \frac{0.86}{1 + \left(\frac{37.53}{62}\right)^2} = 0.629$

$$K_h = 1$$

$$K_s = 1$$

$$f_{yd} = \frac{500}{1.15} = 434.78 \text{ MPa}$$

$$f_{cd} = \frac{30}{1.50} = 20 \text{ MPa}$$

$$A_s = \frac{1}{f_{yd}} * \left(\frac{Q_{tu}}{K_h K_s \alpha} - A_c f_{cd} \right) = \frac{1}{434.78} * \left(\frac{4.114}{1 * 1 * 0.629} - 0.3 * 0.8 * 20 \right) = 3.00 \times 10^{-3} \text{ m}^2 \text{ soit } 30 \text{ cm}^2$$

$$A_{smin} = \max \left(0.1 * \frac{Q_{tu}}{f_{yd}} ; 0.002 * A_c \right) = \max \left(0.1 * \frac{4.114}{434.78} ; 0.002 * 0.3 * 0.8 \right) = \max \left(9.46 * 10^{-4} ; 4.8 * 10^{-4} \right) = 9.46 * 10^{-4} \text{ m}^2 = 9.46 \text{ cm}^2.$$

On admet comme acier 20φ14mm de surface 30.8 cm²

$$\text{Vérification à l'acier maximale } \rho = \frac{30.8 * 10^{-4}}{0.3 * 0.8} * 100 = 1.3 \% < 3 \% \text{ OK}$$

Acier transversales :

$$\Phi_t = \max \left(6 ; \frac{14}{4} \right) = 6 \text{ mm on peut prendre HA8}$$

Avec un espacement de $S_t = \min (20 * 1.4 ; 30 ; 40) = 28 \text{ cm}$

Donc on met 13 HA 8mm pour un poteau de hauteur = 325cm

IV.6. Comparaison des résultats entre forfaitaire – calcul exact:

D'après le calcul précédent du poteau selon deux méthodes l'une manuelle et l'autre avec un logiciel de calcul « Robot » on peut conclure le tableau suivant qui représente le pourcentage des armatures du poteau :

	Méthodes de calcul - « Poteau »		Différence en Pourcentage
	Calcul manuelle	Logiciel « Robot »	
Armatures longitudinales	20 φ14 mm (30.8 cm ²)	14 φ 14 mm (21.56 cm ²)	30 %
Armatures transversales	13 φ 8 mm	13 φ 8mm	0 %

Tableau IV.1. Différence entre les deux méthodes de calcul

On peut conclure que les deux méthodes sont distinguées par 30 % dans le ferrailage de colonne.

Partie III :

- Résumé Et Conclusion

Chapitre I :

Résumé ET Conclusion

I.1. Introduction:

A la fin de mon travail il faut faire un résultat qui concerne toutes les informations citées dans les parties précédentes et qui résume mon travail. Donc et comme on a vu déjà mon projet consiste en deux parties tout à fait différentes l'une de l'autre dans la conception du bâtiment moderne tout en compte en considération le part économique de l'ouvrage, l'une concerne la conception générale du bâtiment de la façon économique, sécuritaire, durabilité et qualité et l'autre concerne les deux méthodes de calcul forfaitaire et exacte du logiciel avec une étude comparative entre eux.

I.2. Partie I - Résumé:

La première partie illustre la conception générale de la construction moderne neuf selon des plusieurs critères:

1. **Sécurité:** La sécurité définit par la sécurité intérieure et extérieure de l'ouvrage elle comporte plusieurs types de sécurité : la stabilité des éléments structuraux, la sécurité contre les séismes, la sécurité contre l'incendie,...
2. **Confort:** Il y a deux types de confort:
 - Le confort acoustique : la correction acoustique est un traitement de la capacité d'absorption et de réflexion des parois en agissant sur leur texture et leur géométrie tandis que l'isolation acoustique est un traitement de la transmission du bruit au travers des parois, en agissant sur la structure même.
 - Le confort thermique : la protection dépend de la résistance thermique de la paroi qui détermine le flux thermique de l'extérieur à l'intérieur et vice-versa.
3. **L'effet esthétique :** L'effet esthétique sera provoqué par la forme extérieure de l'ouvrage, et le plus courant au ce moment c'est le revêtement de construction par des mur rideau en aluminium avec des verres réfléchissants ou colorés donc, si on souhaite une uniformité de la façade pour un effet plus esthétique il convient de placer côte à côte le même type de vitrage sans inverser les faces cela concerne tant la couleur et l'épaisseur.

4. **Coût et économique** : L'économique dans le bâtiment est un caractère principal qui peut être réalisé par un coût convenable tout en respectant une qualité recommandée. En effet le béton est moins cher que les autres matériaux de construction, ainsi et selon le type d'exposition de la force au vent on peut jouer sur l'épaisseur et le type du vitrage d'une façade à l'autre, enfin l'isolation présente l'économie la plus importante en consommation d'énergie électrique.

« A partir de l'exemple traiter précédemment le coût de double mur sera augmenté de 50% que seul du simple mur. Ainsi, le coût de double vitrage augmente de 60% que seul de simple vitrage. Alors, ces deux critères ont augmenté le coût durant la construction de 55%, et par ailleurs ils serrent à la réduction de coût de consommation d'énergie. Où un coût suffisant se réagit avec une bonne qualité pour maintenir la durabilité »

5. **Qualité et Durabilité**: La qualité du ciment est un gage important pour déterminer la résistance du béton qui est le premier élément qui affecte la durabilité dans la construction par sa performance mécanique (acquis à 28 jours) un dosage correct et une bonne compacité, ces deux caractéristiques pouvaient effectivement garantir une certaine durabilité du matériau béton et de la durée de service de l'ouvrage avec sa capacité à conserver les fonctions pour lesquelles elle a été conçue. Ainsi, la durabilité concerne ainsi les éléments des confort selon le principe énergétique, technique, visuel et thermique, donc la notion durabilité permet de valider et de justifier la rentabilité de l'investissement.

6. **Les fissurations** : Les fissurations se manifestent dans les ouvrages quand ils sont soumis à des contraintes trop importantes ou quand les déformations qui les affectent sont bloquées, donnant ainsi naissance à des forces internes génératrices de fissures. Elle caractérisée par son ouverture, son tracé, sa profondeur et son activité, on a deux types de fissuration qui dépend essentiellement de l'origine, de l'environnement et de l'ouverture de la fissuration:

- une fissure pathologique, c'est-à-dire qu'elle est le témoignage d'une « maladie »,
- une fissure pathogène qui peut engendrer une maladie,

Nous soulignons que la fissuration non préjudiciable du béton est un phénomène normal et inévitable sous sollicitations normales de service, nous avons obtenu une section plus

grande d'armatures dans l'état de fissuration très préjudiciable et donc des plusieurs méthodes de traitement des fissures tel-que le traitement par calfeutrement, par pontage et protection localisée, et par injection (ils sont distingué par la domaine d'application) doivent remplir plusieurs fonctions d'étanchéité, de remplissage et mécanique, comme indique le tableau suivant :

Méthode de traitement de fissure :	Fonction du traitement :			Domaine d'application :
	Etanchéité	Remplissage	Mécanique	
Par calfeutrement	X			Il s'applique aux fissures qui ne mettent pas en jeu la résistance de la structure. Il est bien adapte, par exemple, aux fissures des dallages industriels.
Par pontage et protection localisée	X			Il s'applique aux fissures qui ne mettent pas en jeu la résistance de la structure. Il est bien adapte, par exemple, a certaines fissures des balcons d'habitation quand elles ne compromettent pas la stabilité de ceux-ci...
Par injection	X	X	X	Il ne s'applique normalement qu'aux fissures injectables, c.-à-d. dont l'ouverture est au moins comprise entre 0,1 et 0,2 mm.

Tableau I.1. Méthode de traitement.

I.3. Partie II - Résumé :

Pour le calcul des éléments constituant un ouvrage, on se base sur des règlements et des méthodes connues « Eurocode » qui s'appuient sur la connaissance des matériaux (béton et acier) et le dimensionnement et ferraillement des éléments résistants de la structure. Cette partie expose :

- la définition des charges agissant sur la structure et la combinaison entre eux,
- une étude structurale selon deux méthodes l'une forfaitaire et exact par logiciel,
(Appliquée au une poutre, portique bidimensionnel et portique tridimensionnel)
- une étude comparative entre ces deux types de méthodes.

1. Les actions et leurs combinaisons: Les actions se divisent en trois grandes parties :

- Les charges permanentes (G) c'est les charges à long durée.
- Les charges d'exploitation (Q) qui sont en fonction de la catégorie et de l'usage du bâtiment.
- Les charges accidentelles (A) qui sont des actions de durée très courte par rapport à la durée de vie de l'ouvrage et dont la probabilité d'occurrence est très faible.

Une fois les actions déterminées, nous allons appliquer selon l'Eurocode les combinaisons d'actions associées à chaque état limite (ELU et ELS) afin de déterminer la plus défavorable.

2. Les méthodes de calcul : On a deux méthodes de calcul l'une la méthode forfaitaire et l'autre le calcul exact par logiciel. Une étude comparative entre ces deux méthodes montre que la méthode forfaitaire est plus sécuritaire que celle exacte calculé par un logiciel.

Méthode de calcul	Taux en % forfaitaire - Exact
Poutre	6 %
Portique bidimensionnel	8 %
Portique tridimensionnel	30 %

Tableau I.2. Tableau de comparaison en pourcentage entre forfaitaire – Exact des éléments structuraux déjà traités.

I.4. Conclusion Générale :

Ce mémoire résume, de façon non exhaustive, le travail effectué durant un an. Donc on peut conclure du premier partie du mon mémoire que la qualité, le coût, et la durabilité fait une relation triangulaire dans une construction. Où un coût suffisant se réagit avec une bonne qualité pour maintenir la durabilité. Ensuite, la sécurité exprime la stabilité du béton par sa performance mécanique requise à 28 jours associés éventuellement à un principe de dosage correct en ciment et une bonne compacité, qui sert à garantir une certaine durabilité du béton et donc la durée de vie de l'ouvrage avec sa capacité à conserver les fonctions pour lesquelles elle a été conçue c.-à-d. la rentabilité de l'investissement. Ainsi la fissuration des éléments en béton armé est normale et peut difficilement être évitée, dans la plupart des cas, on peut certes admettre l'apparition de fissures, mais chercher à en limiter l'ouverture, de façon à ce qu'elles ne portent pas préjudice au bon fonctionnement ou à la durabilité de la structure ou encore qu'elles ne rendent pas son aspect inacceptable. En outre, nous avons appris plusieurs moyens pour protéger le béton contre la fissuration. Enfin, il est vraiment très intéressant de faire des études expérimentales pour voir jusqu'à quelles limites reste profitable le comportement du béton armé pré-fissuré après son traitement ?

La deuxième partie de cette mémoire montre une étude comparative entre la méthode forfaitaire et le calcul exact par ROBOT, pour cela une pré-étude a été menée afin de valider la concordance entre les résultats obtenus par le calcul par éléments finis et ceux obtenus par la méthode forfaitaire. On peut conclure que la méthode forfaitaire donne des résultats proches de ceux donnés par le calcul EF. De plus, et dans tous les cas la méthode forfaitaire se place toujours dans le sens de la sécurité avec des valeurs proches de celle du calcul EF pour les éléments caractéristiques. Enfin, si la méthode forfaitaire est applicable, il est très utile de s'en servir car elle permet d'obtenir un résultat rapidement mais aussi de vérifier les résultats obtenus par les logiciels de calculs aux éléments finis.

Bibliographie

J. PAÏS, (2008 – 2009). CNAM - CCV 109 Béton arme, CONSERVATOIRE NATIONAL DES ARTS ET METIERS : Chapitre 6 - Flexion composée ELU - ELS.

J. PAÏS, (2008 – 2009). CNAM - CCV 109 Béton arme, CONSERVATOIRE NATIONAL DES ARTS ET METIERS : Chapitre 10 - poutres continues méthode forfaitaire.

J. PAÏS & JS VILLEFORT, (2009 – 2010). CNAM - CCV 004 Elément de béton arme, CONSERVATOIRE NATIONAL DES ARTS ET METIERS.

Matta M. & Waked T., (2012). Uiversité Saint-Joseph, Ecole Supérieure d'Ingénieurs de Beyrouth, Cours ingénieur, Génie Civil et Environnement, TPC Conception thermique du bâtiment.

Theodore L.B., Adrienne S.L., Frank P.I. & David P.D., (2011) Fundamentals of Heat and Mass Transfer, Frank P. Incropera and David P. DeWitt, John Wiley & Sons, Latest Edition.

Martial D., (2010). Amélioration du système qualité existant et extension à la phase « chantier » des opérations : INSA, Institut National des Sciences Appliquées de STRASBOURG

Lissandre L., (2006). Analyse de la fissure des bétons et des techniques de mise en œuvre en vue d'optimiser la réalisation des ouvrages : INSA, Institut National des Sciences Appliquées de STRASBOURG

Saint-Gobain group, (2010). Bâtiment de sante : les solutions du groupe Saint-Gobain : Les Miroirs
18 avenue d'alsace 92096 la défense cedex www.saint-gobain.com

Kurt M.,(2002). Catalogue d'éléments de construction avec calcul de la valeur U : Bureau d'ingénieurs pour l'énergie et l'environnement, 3054 Schüpfen

Joe W. K, Professor Emeritus of Civil Engineering University of California., (June 20, 196) :
CRACKS IN CONCRETE the causes and cures.

Dr Ir P. BOERAEVE, (2011). Manuel de Calcul de Béton Armé Selon EN 1992-1-1(12/2004) et Annexe Belge de 02/2006

Daniel P., (Novembre 2013). Béton et maçonneries - Traitement des fissures par injection – FABEM 3 - version 2 : Les travaux public fédération national.

Multon S., (2012). BETON ARME Eurocode 2 : INSA - Université Paul Sabatier - Toulouse – France 135, Avenue de Ranguel 31077 Toulouse Cedex 4 France

Zamila H., (Mars, 2013). Résistance des Matériaux RDM-II : Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique Université Hassiba Benbouali de Chlef Faculté de Génie Civil et d'Architecture Département de Génie Civil

Jean-Marie P., (2009). Calcul des structures en béton

Jack D., (2006). Base de calcul de structure.

Jack D., (2006). Actions sur les structures.