

REPUBLIQUE DU SENEGAL
UNIVERSITE CHEIKH ANTA DIOP
ECOLE POLYTECHNIQUE DE THIES
DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL



GC.0174

PROJET DE FIN D'ETUDES

en vue de l'obtention du Diplôme d'Ingénieur de Conception

**TITRE : UTILISATION DES MATERIAUX LOCAUX DANS LA CONSTRUCTION DE
L'HABITAT ECONOMIQUE**

AUTEUR : Joseph AHISSOU

DIRECTEUR : Massamba DIENE

CO DIRECTEUR : Ndiaye Diouf NDIAYE

DATE : Juin 1993

A mes parents

*A ma Tante Agnès qui n'a ménagé aucun
effort pour l'aboutissement de ce
dessein*

A mes frères et soeurs

A tou(te)s mes ami(e)s

A tous ceux qui m'ont aimé et béni...

JOSEPH

REMERCIEMENT

Je tiens à témoigner ma profonde gratitude et à adresser mes vifs remerciements à messieurs Massamba DIENE, mon directeur de projet et NDIAYE DIOUF NDIAYE, mon co directeur de projet, dont la constante disponibilité et la spontanéité ont permis l'encadrement scientifique et technique de ce projet.

Mes sincères remerciements sont également adressés à l'encadrement administratif de l'Ecole Polytechnique de Thiès, au Directeur Général de la SENAC-ETERNIT, à monsieur Birahim CUEYE, Chef service du bureau d'étude de la SENAC-ETERNIT ainsi qu'à leur collaborateur.

Enfin j'y associe vivement tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à l'aboutissement matériel, technique et moral de ce projet.

SOMMAIRE

Le présent rapport sanctionne un projet de fin d'études. L'objectif de ce dernier est d'évaluer les économies réalisables lorsqu'on utilise la terre crue dans la construction de l'habitat économique.

Après une brève revue des technologies de quelques matériaux locaux utilisables dans la construction d'habitation tels que la terre, les pierres naturelles et le bois, ce rapport présente en détail le calcul d'une structure classique et des structures en géobéton. Ce qui a permis de présenter une étude comparative économique de différents types de logement.

TABLE DES MATIERES

	PAGE
REMERCIEMENT.....	I
SOMMAIRE.....	II
LISTE DES FIGURES.....	VI
LISTE DES TABLEAUX.....	VII
CHAPITRE 1 : INTRODUCTION.....	1
CHAPITRE 2 : REVUE BIBLIOGRAPHIQUE.....	3
1) Revue des projets réalisés à L'E.P.T. sur le matériau terre.....	3
2) Les matériaux locaux utilisables dans la construction des habitations.....	5
2-1) Filière terre	5
2-1-1) connaissance du matériau.....	6
2-1-2) technique de mise en oeuvre.....	7
2-1-3) Domaines d'application.....	7
2-2) Filière pierres naturelles.....	7
2-2-1) connaissance du matériau.....	8
2-2-2) technique de mise en oeuvre.....	8
2-2-3) Domaines d'application.....	8
2-3) Filière bois.....	8
2-3-1) connaissance du matériau.....	9
2-3-2) technique de mise en oeuvre.....	10
2-3-3) Domaines d'application.....	10

CHAPITRE 3 : ETUDES DE VARIANTES DE STRUCTURES POUR LA CONSTRUCTION D'UN LOGEMENT ECONOMIQUE.....	11
1)présentation du plan de base.....	11
2)Analyse des formes de toitures.....	13
2-1)couverture en voûte à base des briques de géobéton..	13
2-1-1) technique de construction.....	13
2-1-2)Analyse structurale.....	14
2-1-3)Estimation des quantités de matériaux requises...	16
2-2)couverture en fibrociment sur charpente en bois.....	18
2-2-1)Propriétés des matériaux utilisés.....	19
2-2-2)Dimensionnement des éléments structuraux.....	20
3)Analyse des formes de maçonnerie.....	26
3-1)ossature en béton armé avec remplissage en agglos de ciment et sable.....	26
3-1-1)calcul de l'ossature.....	27
3-1-2) Maçonnerie.....	45
3-1-3) Dallage du sol.....	46
3-1-4) Enduit et joint de recouvrement.....	47
3-2)Elevation en mur de géobéton.....	48
3-2-1)cas de la toiture en voûte	48
3-2-2)cas de la toiture en charpente de bois.....	55
3-3) Elevation en maçonnerie mixte.....	56
3-4) conclusion.....	57
CHAPITRE 4 :ETUDES ECONOMIQUES COMPAREES DES VARIANTES DE LOGEMENTS CONCUS.....	58
1)Récapitulation des quantités de matériaux requises...	58

1-1)Exemple de calcul des quantités de matériaux élémentaires dans le béton.....	59
1-2)tableaux récapitulatifs des quantités de matériaux..	60
2) Coût des bâtiments	64
2-1)tableaux des coûts.....	66
2-2)calcul des pourcentages d'économies réalisées.....	69
CHAPITRE 5 : ANALYSES ET COMMENTAIRES.....	70
1)Généralités.....	70
1-1) Résistance.....	70
1-2) Confort	71
1-3) Coût	72
2)Comparaison des degrés de satisfaction	72
3) Discussion.....	74
3-1) type toiture en charpente de bois	74
3-2) type toiture en voûte.....	75
CHAPITRE 6 : CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS.....	79
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	81
ANNEXE 1.....	82
ANNEXE 2	84
ANNEXE 3	85

LISTE DES FIGURES

FIGURES

- 3-1: plan architectural
- 3-2:schéma de la voûte
- 3-3:schéma de la toiture en pente en croupe
- 3-4:chargement des forces verticales
- 3-5:chargement des forces du vent
- 3-6:schéma de l'ossature en béton armé
- 3-7:Resultantes des efforts du vent sur la toiture
- 3-8:diagrammes des efforts
- 3-9:schéma de ferrailage des poutres 1,2 et 3
- 3-10 schéma de ferrailage des poutres a,b et c
- 3-11:schéma des efforts sur les poteaux
- 3-12:schéma de la section de poteau
- 3-13:schéma de ferrailage du poteau
- 3-14:diagramme des efforts et du moment flechissant
- 3-15:schéma de ferrailage
- 3-16:schéma de ferrailage
- 3-17:schéma de la semelle carrée
- 3-18:schéma de ferrailage
- 3-19 et :3-20 schéma de chargement des linteaux
- 3-21: schéma de l'ossature et transmission d'efforts
- 3-22:schéma de ferrailage du chaînage
- 2-23:schéma de la section de semelle filante
- 3-24:schéma de ferrailage
- 3-25:schéma de la façade de l'élévation mixte

LISTE DES TABLEAUX

TABLEAUX

- 3-1 résultats de l'analyse structurale
- 3-2 résultats du dimensionnement pour le bâtiment A
- 3-3 résultat de dimensionnement pour le bâtiment B
- 4-1 solution 1 : quantités requises pour le bâtiment A
- 4-2 solution 1 : quantités requises pour le bâtiment B
- 4-3 solution 2 : quantités requises pour le bâtiment A
- 4-4 solution 2 : quantités requises pour le bâtiment B
- 4-5 solution 3 : quantités requises pour le bâtiment A
- 4-6 solution 3 : quantités requises pour le bâtiment B
- 4-7 solution 4 : quantités requises pour le bâtiment A
- 4-8 solution 4 : quantités requises pour le bâtiment B
- 4-9 solution 5 : quantités requises pour le bâtiment A
- 4-10 solution 5 : quantités requises pour le bâtiment B
- 4-11 coût de la solution 1
- 4-12 coût de la solution 2
- 4-13 coût de la solution 3
- 4-14 coût de la solution 4
- 4-15 coût de la solution 5
- 4-16 Evaluation des économies réalisables
- 5-1 degré de satisfaction des critères de comparaison

CHAPITRE 1

INTRODUCTION

La crise du logement est l'une des plus graves qui frappent de nos jours plus de la moitié des populations africaines concentrées autour des nouvelles villes, dans des quartiers composés d'habitats spontanés indécents créés de toutes pièces.

Pour pallier à ces occupations anarchiques, l'Etat, les sociétés immobilières, les coopératives et autres organismes produisent des habitations économiques, voire très économiques pour des fins de locations et ventes. Cependant, l'on constate que ces offres sont loin de satisfaire la moitié de la demande. En effet, le faible revenu des ménages ne permet pas de juguler à la fois les dépenses de consommation en hausse régulière et d'atténuer en même temps les coûts de locations ou d'achat des logements dont le coût de production justifie à priori le prix de vente autant inaccessible.

Ce coût élevé du bâtiment est essentiellement dû à la part importante des matériaux de construction importés ou utilisant à quelque niveau de leur fabrication de l'énergie importante. Le prix de ces matériaux dépendent donc du marché international constamment déstabilisé par la crise de l'énergie ces dernières années. Pour produire des logements à moindre coût, il importe donc de contourner l'influence du coût de l'énergie en revaloriser

CHAPITRE 1 : INTRODUCTION

sant les matériaux locaux de construction.

C'est dans cette optique que l'Ecole Polytechnique de Thiès a entrepris dès les années quatre vingt (80), des recherches sur le matériau "terre" en particulier, afin de prouver ses qualités techniques dans un rôle de substitut au béton. Ce projet s'inscrit dans la même mouvance en ayant pour but de montrer les économies réalisables lorsque les matériaux locaux sont substitués au matériau classique qu'est le béton en particulier.

Pour atteindre cet objectif, nous procéderons après une brève revue de divers matériaux locaux utilisables dans la construction, à une analyse de diverses variantes de structures et à une étude économique comparative des solutions envisagées.

Notre étude sera scindé en six chapitres. Le premier, introductif, posera le problématique du logement; le deuxième passera en revue les matériaux locaux utilisables dans le bâtiment, les tests de reconnaissance, les techniques de mise en oeuvre et leur domaine d'application. Le chapitre trois présentera de façon détaillée les calculs de dimensionnement de diverses structures à partir d'un plan type de la SNHLM. A travers le chapitre quatre, sera présenté les tableaux économiques de calcul de coût de bâtiment, quant au chapitre cinq il présentera les analyses et commentaires sur les resultats obtenus. Enfin le chapitre six conclut et proposera les études ultérieurs à mener suite à ce projet.

CHAPITRE 2

REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

INTRODUCTION

Les matériaux locaux ont polarisé ces dernières années le monde de la recherche aussi bien dans la géotechnique que dans le bâtiment. Nous nous évertuons à travers ce chapitre à compiler quelques résultats issus des nombreux travaux réalisés.

1) REVUE DES PROJETS REALISES A L'E.P.T. SUR LE MATERIAU

TERRE

Nombre de phases de projets ont été identifiés et exécutés depuis les années quatre vingt(80) par des élèves ingénieurs de la cinquième année de génie civil. Les recherches ont eu notamment pour but l'étude des caractéristiques mécaniques et chimiques de la terre crue en vue de son utilisation pour les briques de géobéton. Ainsi divers horizons ont été explorés:

..la détermination des caractéristiques géotechniques, mécaniques et physiques des deux latérites en provenance de la carrière de Thiès en vue de la classification de la latérite rouge ;

..la détermination du comportement du géobéton à la tension et sous l'effet de l'érosion;

..l'exécution des toitures en coupole sur des coffrages récupéra-

CHAPITRE 2 : REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

bles;

-l'identification des paramètres qui influencent la résistance en compression et le comportement des latérites ainsi que les moyens de maîtrises possibles.

Ces travaux ont abouti aux conclusions suivantes:

-la terre est un matériau de construction exploitable à condition qu'il y ait une étude minutieuse de ses propriétés et un suivi de son utilisation compte tenu du caractère très dispersif de ses propriétés;

-la résistance du géobéton augmente avec la densité sèche qui est elle même fonction du taux de compactage, de la composition granulométrique, de la teneur en ciment et en eau;

-la sensibilité du matériau à l'eau lui confère une érodibilité très élevée: il importe donc de stabiliser le géobéton quand il est exposé aux averses;

-la bonne résistance du géobéton à la compression a rendu son utilisation très pratique dans la construction des toitures en voûte.

Ces résultats très concluants ont favorisé depuis lors une révolution sans précédent dans la promotion de l'habitat au SENEGAL au vu des nombreuses réalisations offertes aux populations telles que le programmes de constructions d'écoles publiques à travers tout le pays, les cités d'habitations et même des villas de type moyen standing construites dans la ville de

CHAPITRE 2 : REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

Dakar. A titre d'illustration, nous allons présenter quelques photos de ces belles réalisations en annexe du présent rapport.

2) LES MATERIAUX LOCAUX UTILISABLES DANS LA CONSTRUCTION DE DES HABITATIONS

Les matériaux locaux tels que la terre, les pierres, le bois etc... ont servi fidèlement dans la construction de l'habitat social depuis des millénaires. En effet, comme le disait A. Rapoport dans [13] "...Pendant des milliers d'années le bois et la pierre ont déterminé le caractère des bâtiments". De nos jours, il importe de revaloriser ces ressources en y associant de nouvelles technologies afin de se conformer aux exigences de délai, de coût et de qualité. Chaque zone géographique offre des ressources en matériaux qu'il importe, avant toute chose, au concepteur, de connaître les possibilités d'exploitation.

2-1) Filière terre.

La terre est l'un des plus anciens matériaux de construction sur notre planète et l'un des plus largement répandue: on estime que entre un tiers et la moitié de la population mondiale vit aujourd'hui dans des habitats en terre.

Souvent assimilé au "matériau du pauvre", dénigré par les populations et les autorités, la terre est cependant l'un des matériaux de construction les plus nobles qui soient. Elle est

CHAPITRE 2 : REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

loin de n'avoir servi, comme le pensent certains, qu'à la construction d'habitations rurales ou simples: des villes entières (Jericho(Israel), Chanchan(Perou), etc.), des grands monuments, des aqueducs et de nombreux palais ont été construits en terre. Les pyramides de Saqqhara(Egypte) attestent de la confiance que les pharaons avaient placé avec raison dans la durabilité des constructions en terre.

Comme toute autre matériau de construction la terre doit faire l'objet d'une optimisation grâce aux multiples connaissances acquises actuellement en géotechnique et en science des matériaux.

2-1-1) Connaissance du matériau

L'identification d'un sol peut être fait en déterminant les proportions en sable-limon-argile et matières organiques. Tous les sols ne sont pas aptes à la construction; les bons sols peuvent être sélectionnés par des tests tels que: la granulométrie, la plasticité, le retrait ou la résistance à la compression. Certaines insuffisances peuvent amener à décider de la nécessité de stabiliser la terre avant son utilisation. Il existe des stabilisants classiques: le ciment, la chaux, les pouzzolanes; des stabilisants chimiques à base de bitume et de paraffine; des déchets industriels: cendres volantes; des stabilisants d'origine animale: lait, sang, excrément; et d'origine végétale:

CHAPITRE 2 : REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

fibres, sèves et résines.

2-1-2) Technique de mise en oeuvre

La terre peut être mise en oeuvre suivant des techniques variées:

- _mortier et enduits;
- _boule de terre crue façonnée à la main;
- _brique de terre crue compressée ou non;
- _béton de terre crue coffrée armé ou non.

2-1-3) Domaines d'application

Dans le bâtiment, les applications de la terre sont présentes aussi bien dans le gros oeuvre que dans les composants du second oeuvre . Ainsi on l'utilise dans la réalisation des murs, porteurs ou non, dans les piliers et ossatures, dans les toitures voûtes et coupoles; en second oeuvre: tuiles revêtements, tuyaux, drains et caniveaux.

Vu la diversité de ses applications et de la grande quantité disponible sur la planète, la terre est par excellence le matériau le plus économique.

2-2) Filière pierres naturelles

Les pierres naturelles sont, à l'instar de la terre, largement utilisé dans le bâtiment pour leur remarquable dureté.

CHAPITRE 2 : REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

Aussi utilise t-on les cassures de granite, de basalte et même des produits de leur altération pour l'aspect esthétique qu'elles présentent

2-2-1) Connaissance du matériau

Les caractéristiques physiques des pierres naturelles sont déterminées par les paramètres que sont la densité, la résistance à l'écrasement, la dureté, la friabilité, la perméabilité, la porosité et la conductivité thermique. L'aptitude d'une pierre à la construction est, cependant, déterminée par des tests simples tels que la résistance à la compression, la dureté et l'absorption.

2-2-2) Technique de mise en oeuvre

Les pierres naturelles se présentent en matériaux de base sous formes de: galets, moellons bruts, de dalles, de lauzes ou de blocs taillés. Elles entrent dans la composante de la maçonnerie sous formes de: moellons ordinaires hourdés au mortier grossier, moellons dressés, maçonnerie composite ou de la maçonnerie de galets hourdés au mortier de terre.

2-2-3) Application

Les applications des pierres sont diverses et variées. elles sont utilisées en gros oeuvre dans: les fondations superficielles, les soubassements filants, les murs, les chaînages d'angle,

CHAPITRE 2 : REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

les contreforts, les piliers, les voûtes et coupoles, les linteaux simples et les linteaux avec arc de décharge, les éléments de corniche, les maçonneries de blocage et les degrés d'escalier. En composantes du second oeuvre, on les retrouve dans les lauzes et ardoises, dans les dalles de sol.

2-3) Filière bois

Le bois est aussi un matériau résistant largement connu dans le monde mais dont l'utilisation dans la construction est fortement découragé de nos jours à cause du déséquilibre écologique créé par la désertification dans les pays sahéliens.

2-3-1) Connaissance du matériau

La maîtrise des caractéristiques du bois, des bambous, des roseaux et les fibres requiert la connaissance de certains paramètres tels que: la rapidité de croissance, la densité, la dureté, le module d'élasticité, la stabilité dimensionnelle, la résistance aux agents destructeurs, la durabilité, les défauts. Cependant deux tests d'aptitude sont primordiaux: le taux de travail parallèle et perpendiculaire aux fibres et la teneur en eau.

2-3-2) Applications

Les bois sont utilisés dans les fondations (pieux), les

CHAPITRE 2 : REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

poteaux, les poutres, les ossatures de murs et de planchers, les fermes et les pannes, les remplissages de façade, les voligeages, les escaliers, les cales et les fourrures, les bardeaux, les revêtements de sol, la menuiserie et les mobiliers divers.

2-4) Conclusion

Les matériaux locaux les plus utilisés sont la terre et le bois à cause de leur facilité relative d'extraction et la vulgarisation poussée des techniques d'autoconstruction développées à travers le monde depuis des millénaires.

De nos jours, une adaptation de techniques nouvelles s'imposent afin de minimiser l'utilisation de ces matériaux locaux.

Dans l'application simulée que nous développons dans ce projet, nous allons utiliser le bois en charpente et la terre sous forme de briques de terres compressées aussi bien dans la maçonnerie que dans la toiture en voûte .

CHAPITRE 3

ETUDE DE VARIANTES DE STRUCTURES POUR LA CONSTRUCTION D'UN LOGE- MENT DE TYPE ECONOMIQUE

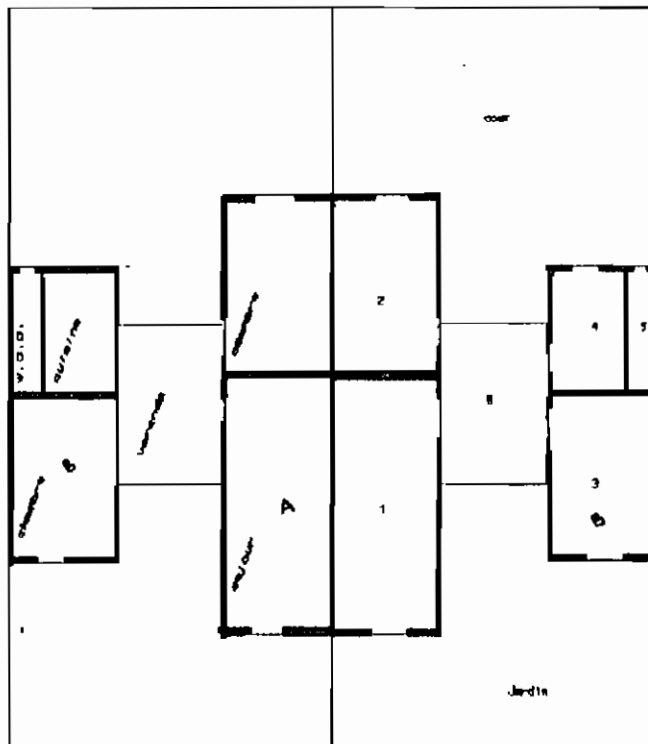
INTRODUCTION

L'étude comparative des coûts de logements construits en matériaux classiques et en géobéton requiert une base de comparaison égale à tout point de vue. Il s'agira de montrer dans ce chapitre que les diverses variantes de structures que nous étudions tiennent aussi bien du point de vue résistance que stabilité. Après avoir présenté le plan architectural de base nous étudierons deux formes de toiture combinés aux différents cas de maçonneries possibles. Notre démarche, dans chaque cas, sera de procéder à une analyse structurale, à un dimensionnement et à une détermination des quantités de matériaux requises.

1) PRESENTATION DU PLAN DE BASE

Le plan de base a été utilisé sur le lotissement sis à Grand-Yoff (Dakar) par la Société Nationale des Habitations à Loyer Modéré (S.N.H.L.M.). C'est un type trois pièces par paire de deux propriétés comme montré à la figure 1 (page 12). le design sera fait pour les deux propriétés .

FIGURE 3-1: PLAN ARCHITECTURAL



PLAN ARCHITECTURAL: Type économique 3 pièces

1 séjour: 4.5 x 3.0 = 13.50

2 chébre: 3.15 x 3.0 = 9.45

3 chébre: 3.8 x 3.0 = 9.0

4 W.C.B.: 1.70 x 0.90 = 1.53

5 DISBINE: 2.20 x 2.00 = 4.40

6 VERANDA: 2.80 x 2.40 = 6.72

SURFACE CONSTRUITE = 44.57

SURFACE PARCELLEIRE = 113.81

CHAPITRE 3 : ETUDE DE VARIANTES DE STRUCTURES POUR LA CONSTRUCTION D'UN LOGEMENT DE TYPE ECONOMIQUE

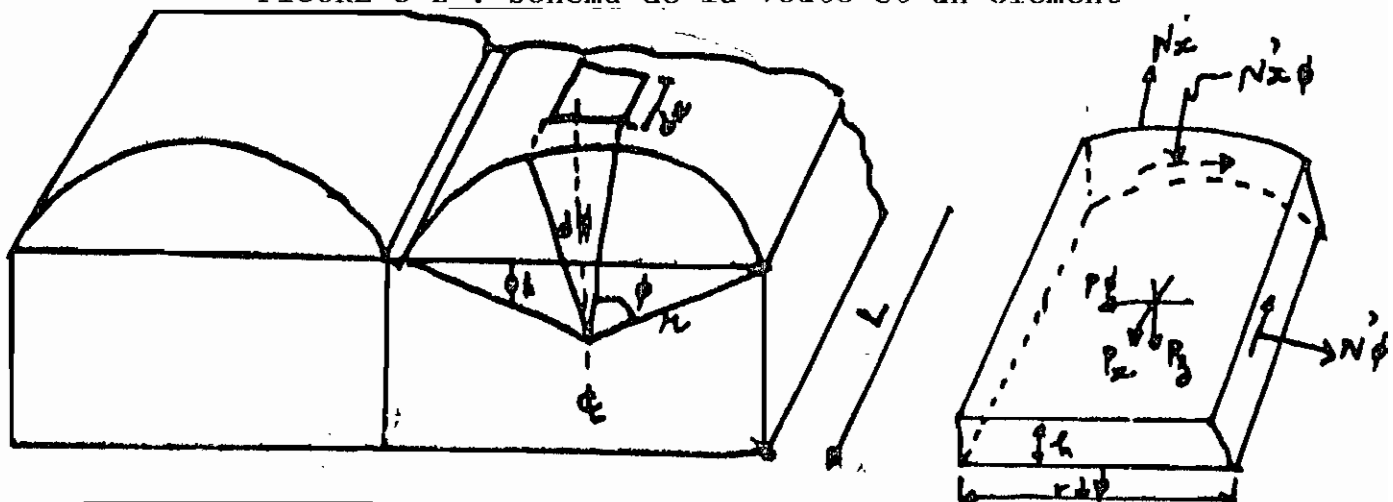
2) ANALYSE DES FORMES DE TOITURES

2-1) Couverture en voûte à base de briques de géobéton

2-1-1) Technique de construction

La voûte (figure 2 ci dessous) est obtenue par translation de l'arc générateur. Il est nécessaire d'appuyer la voûte sur un support vertical en pierre, en bois ou en brique. Sur ce support le maçon trace la forme de l'arc; il peut s'aider d'un gabarit en contre-plaqué de deux(2) centimètres d'épaisseur qui le guidera pendant toute la construction. La voûte suit de préférence une courbe en chaînette ou une parabole pour éviter l'occurrence des efforts de traction. Cette forme est respectée tout au long de la construction et vérifiée à l'aide de fils tendus qui aident au positionnement des briques. Ces dernières doivent être suffisamment légères pour pouvoir tenir par simple adhérence au mortier qui doit être à prise rapide et de bonne adhérence par rapport à la terre.

FIGURE 3-2 : schéma de la voûte et un élément



CHAPITRE 3 : ETUDE DE VARIANTES DE STRUCTURES POUR LA CONSTRUCTION D'UN LOGEMENT DE TYPE ECONOMIQUE

2-1-2) Analyse structurale

La référence [8] donne les équations générales des sollicitations. Nous présentons (voir annexe 1) une partie de la démonstration de ces équations.

a) calcul du chargement suivant le DTU

Faute d'avoir des règles d'analyse propres aux structures en géobétons, nous utiliserons celles relatives aux parpaings en ciment, notamment les Directives Techniques Unifiées DTU qui sont de la normalisation française.

poids propre des blocs Lateroc 10*14*29 de la SENAC : 632 kg/m²

charge totale pondérée = charge permanente pondérée pd

donc pd = 1.35*632*0.00981 = 8.37 kN/m²

$$pd = 8.37 \text{ kN/m}^2$$

b) Vérification de la résistance et de la stabilité de la voûte compression latérale

$$N_{\phi} = pd * r * \cos(\Phi_k - \Phi) \quad (\text{annexel})$$

où N_{ϕ} : compression latérale sollicitante

r : rayon de l'arc générateur de la voûte

Φ_k : la moitié de l'angle tendu de l'arc

Φ : l'angle au point de calcul de N_l

A.N: r=7.7 m ; $\Phi_k=30^\circ$; $\Phi=30^\circ$

$N_{\phi}=8.37*7.7*1=64.4 \text{ kN/m}$

CHAPITRE 3 : ETUDE DE VARIANTES DE STRUCTURES POUR LA CONSTRUCTION D'UN LOGEMENT DE TYPE ECONOMIQUE

pour une épaisseur de 12 cm on a une contrainte sollicitante de

$$\sigma = 64.4/120 = 0.53 \text{ MPa}$$

La résistance moyenne des briques sur le chant publiée dans la référence[3] est de l'ordre de 5 Mpa. Par conséquent le coefficient de sécurité est:

$$c = R_c/\sigma = 5/0.53 = 9.43$$

$$C = 9.43$$

- cisaillement

C'est le cisaillement dans le béton qui est le plus à craindre.

l'effort sollicitant est donné par

$$N'x\Phi = p d * L * (1 - 2 * x / L) * \sin(\Phi_k - \Phi) \quad (\text{annexel})$$

où L est la longueur du bâtiment

N'x Φ est maximal lorsque x=0 et f=0°

$$N'x\Phi = 8.37 * 7.7 * \sin(30^\circ) = 32.2 \text{ kN/m}$$

et la contrainte sollicitante devient $\sigma = 32.2/120 = 0.26 \text{ MPa}$

la résistance au cisaillement dans le mortier est donnée par la formule $R_c = 0.2 * 1 * 0.6 * V f'c$ où f'c est la résistance du mortier.

Par conséquent $R_c = 0.2 * 0.6 * V30 = 0.66 \text{ MPa}$ et le coefficient de

sécurité devient $C = 0.66/0.26 = 2.53$

$$C = 2.53$$

- compression longitudinale

l'effort de compression est donné par

CHAPITRE 3 : ETUDE DE VARIANTES DE STRUCTURES POUR LA CONSTRUCTION D'UN LOGEMENT DE TYPE ECONOMIQUE

$$N'_x = [pd \cdot L \cdot x \cdot (1-x/L) \cdot \cos(\Phi_k - \Phi)] / r; \text{ (annexel)}$$

et est maximale pour $x=L/2$ et $\Phi=\Phi_k$

$$N'_x = [8.37 \cdot 7.7 \cdot (1-0.5)] / 2 = 16.1 \text{ KN/m}$$

la contrainte sollicitante devient alors $\sigma = 16.1 / 120 = 0.13 \text{ MPa}$

le coefficient de sécurité devient alors $c = 5 / 0.13 = 38$

$$C = 38.4$$

Les coefficients de sécurité varient de 2.53 pour le cisaillement à 38 pour les compressions. Nous pouvons donc conclure que le matériau est adéquat de point de vue résistance.

La stabilité d'ensemble de la toiture est assurée d'autant que la forme voûte permet aux éléments de s'autobloquer

2-1-3) Estimation des quantités de matériaux requises

a) Briques de géobéton LATERO 10*14*29

calcul de la surface totale développée S

$$\text{Bâtiment A : } S_1 = 2 \cdot (2 \cdot r \cdot \Phi_k \cdot L) = 2 \cdot (2 \cdot 7.7 \cdot 30 \cdot 3.14 \cdot 7.7) / 180 = 124 \text{ m}^2$$

$$\text{Bâtiment B : } S_2 = 2 \cdot (2 \cdot 7.7 \cdot 30 \cdot 3.14 \cdot 5.2) / 180 = 84 \text{ m}^2$$

couvertures latérales des bâtiments:

$$S_3 = 8 \cdot (r^2 \cdot (2 \cdot \Phi_k - \sin(2 \cdot \Phi_k))) / 2)$$

$$S_3 = 42 \text{ m}^2$$

$$S = S_1 + S_2 + S_3 = 124.1 + 84 + 42 = 250 \text{ m}^2$$

calcul du nombre total de briques

pour une consommation de 25 briques au m² nous avons 6250 briques au total.

CHAPITRE 3 : ETUDE DE VARIANTES DE STRUCTURES POUR LA CONSTRUCTION D'UN LOGEMENT DE TYPE ECONOMIQUE

b) Enduit d'étanchéité et de liaison des briques.

Quantité de mortiers pour l'enduit extérieur et intérieur

La composition de ce mortier doit être telle qu'elle assure l'étanchéité de la toiture. La référence [2] a utilisé avec succès, sur une coupole construite à l'E.P.T. un volume de ciment pour quatre(4) volumes de sable de mer.

Le volume de mortier requis pour une épaisseur de 1 cm est $V=2*0.01*250 = 5 \text{ m}^3$ soit 1 m^3 de ciment pour 4 m^3 de sable

Mortier de liaison des briques

les documents techniques de la SENAC recommande une quantité de 9.5litres/m². Par conséquent, le volume de mortier total devient

$$V = 0.0095*250 = 2.375 \text{ m}^3$$

La composition de ce mortier suivant la référence [2] est de : 1 volume de sable latéritique($D_{50}=2 \text{ mm}$) pour 2 volumes de sables de mer et 0.67 volume de ciment pour une épaisseur des joints de 3 cm.

On a donc 0.65 m^3 de sable latéritique, 1.3 m^3 de sable de mer et 0.43 m^3 de ciment.

Remarque : il est important de noter que les compositions susmentionnées sont prises dans la littérature et ne sont que d'ordre indicatives. Chaque conception doit tenir compte des qualités de matériaux disponibles et déterminer la composition qui lui est spécifique

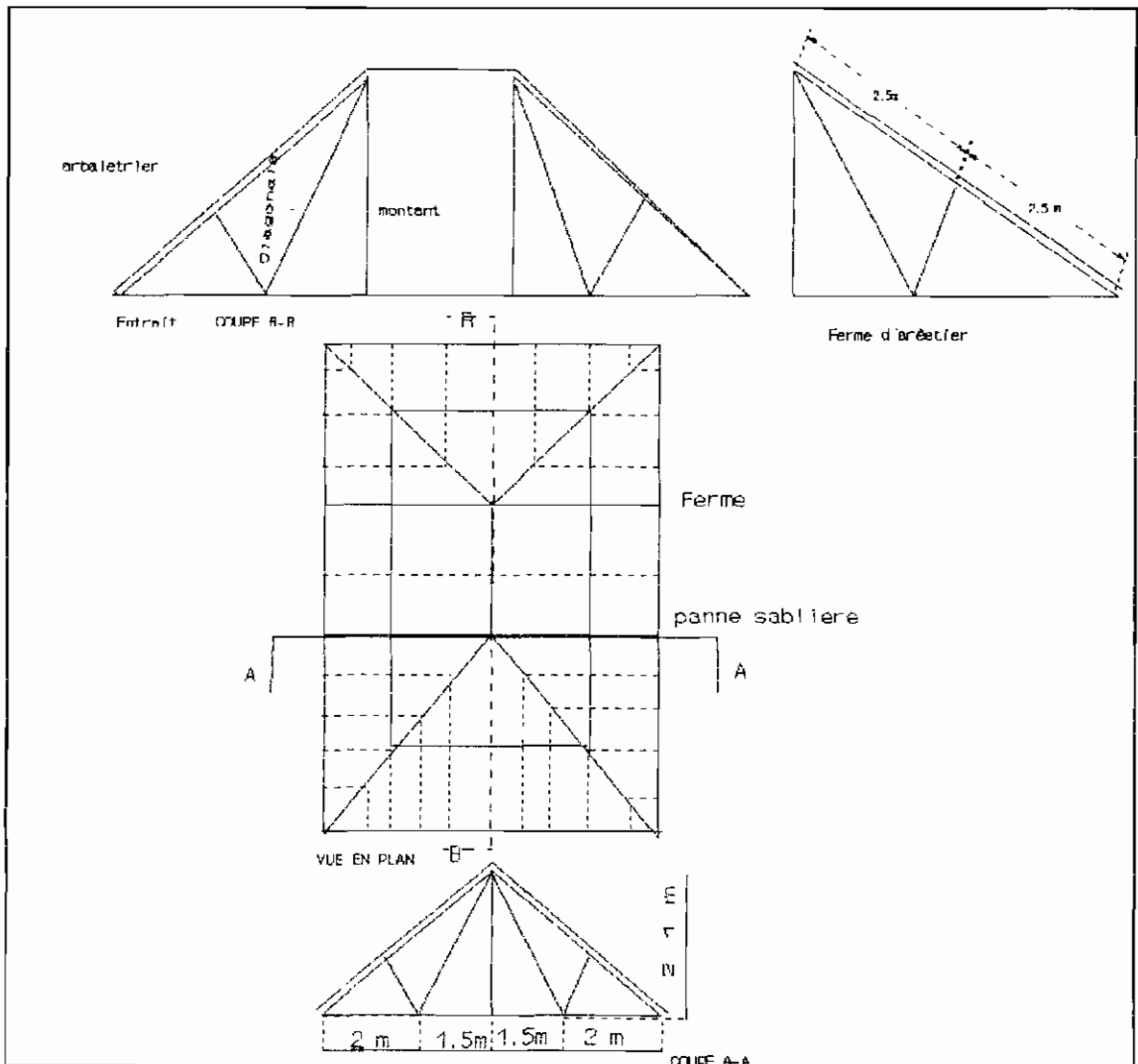
CHAPITRE 3 : ETUDE DE VARIANTES DE STRUCTURES POUR LA CONSTRUCTION D'UN LOGEMENT DE TYPE ECONOMIQUE

2-2) Couverture en fibrociment sur charpente en bois.

La charpente du bâtiment A est en double versant en croupe avec une aire à couvrir de 72 m² et celle des bâtiments B en appentis d'une aire de 54 m² (figure 3 ci dessous). Nous examinerons en détail le bâtiment A et nous présenterons les résultats d'analyse des bâtiments B.

CHAPITRE 3 : ETUDE DE VARIANTES DE STRUCTURES POUR LA CONSTRUCTION D'UN LOGEMENT DE TYPE ECONOMIQUE

FIGURE 3-3: schéma de la charpente



CHAPITRE 3 : ETUDE DE VARIANTES DE STRUCTURES POUR LA CONSTRUCTION D'UN LOGEMENT DE TYPE ECONOMIQUE

2-2-1) Propriétés des matériaux utilisés

Fibrociment type OCL 2.00/0.92 m épaisseur 4mm: poids au m² de couverture = 9 kg , surface utile couverte par plaques =1.57 m²

bois rouge : masse volumique $\tau = 700 \text{ kg/m}^3$; résistance à la flexion

$\sigma_b = 60,82 \text{ MPa}$; résistance à la compression perpendiculaire aux fibres

$\sigma_c = 6.0 \text{ MPa}$

faux plafond en isorel de 2*1 m

2 2 2) Dimensionnement des éléments structuraux

a) chevrons espacés de 40 cm

chargement

charge permanente(poids propre de la couverture et des chevrons) $D = 22 \text{ kg/m}^2$;

surcharge d'exploitation $L = 1 \text{ kN}$

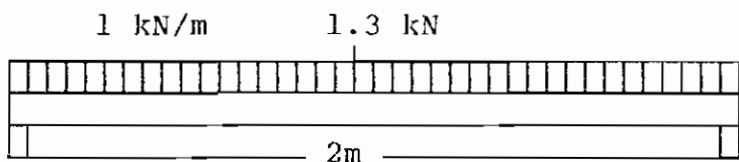
surcharge due au vent sur la moitié gauche $W = 0.3 \text{ kN/m}^2$

sur la moitié droite $W = -0.8 \text{ kN/m}^2$

charge totale pondérée

$$w_f = (1.35 \cdot 215 + 1.5 \cdot 1000) / \cos(31^\circ) + 1.5 \cdot 300 = 2515 \text{ N/m}^2$$

$$\text{soit } w_f = 2.51 \cdot 0.4 = 1 \text{ kN/m}$$



CHAPITRE 3 : ETUDE DE VARIANTES DE STRUCTURES POUR LA CONSTRUCTION D'UN LOGEMENT DE TYPE ECONOMIQUE

└ Analyse structurale

le comportement critique de cette poutre est en flexion; le moment est donc égal à :

$$M_f = w_f \cdot l_n^2 / 8 \quad \text{où } l_n \text{ est la portée libre des chevrons}$$

$$M_f = 1 \cdot 2^2 / 8 = 0.5 \text{ kN.m}$$

En supposant une charge concentrée de 1.3 kN au milieu de la travée le moment pondéré devient $M_c = 1.3 \cdot 2 / 4 = 0.65 \text{ kN.m}$

Par conséquent $M_f = M_c = 0.65 \text{ kN.m}$

└ Dimensionnement

le module de section est $S = M_f \cdot K_{\phi} / \sigma_b = b \cdot d^2 / 6$ où $b \cdot d$ est la section du chevron et K_{ϕ} un coefficient qui tient compte de la flexion déviée.

$$S = 0.65 \cdot 1 \cdot 10^6 / 60.82 = 10.68 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

Nous pouvons donc choisir des bois de section 40x60 mm

└ Quantité de bois

En choisissant des portées de 5 mètres, nous avons besoin de 77 chevrons de 5 m soit un volume de bois de

$$V = 5 \cdot 77 \cdot 0.04 \cdot 0.06 = 0.924 \text{ m}^3 \qquad V = 0.924 \text{ m}^3$$

b) les pannes

Les chevrons transmettent les efforts aux pannes qui subissent à leur tour une flexion déviée. En procédant de la même manière que dans le cas des chevrons, on obtient des sections

CHAPITRE 3 : ETUDE DE VARIANTES DE STRUCTURES POUR LA CONSTRUCTION D'UN LOGEMENT DE TYPE ECONOMIQUE

de 80x80 mm. Le volume de bois requis devient en prenant des portées de 5 mètres et avec les 16 pannes(voir figure3):

$$V = 16 \times 5 \times 0.08 \times 0.08 = 0.512 \text{ m}^3 \qquad V = 0.512 \text{ m}^3$$

c) les fermes

Elles sont triangulées et sont au nombre de deux plus quatre demi fermes d'arêtier(voir figure 3).

Effort dans les membrures dues aux charges verticales

* charges aux noeuds supérieurs

couverture	9 kg/m ²
chevrons et pannes	27 kg/m ²

Total 36 kg/m² soit 354 N/m²

En considérant une surcharge d'exploitation de 1kN/m² et une majoration de 10% pour le poids propre, la charge concentrée aux noeuds supérieurs est :

$$P = 1.35 \times 0.354 + 1.5 \times 1 + 0.1 \times (1.35 \times 0.354 + 1.5 \times 1) = 2.18 \text{ kN/m}^2$$

soit $P = 2.18 \times 3 \times 2 = 13.08 \text{ KN}$ $P = 13.08 \text{ kN}$

* Charges aux noeuds inférieurs

lattes et isorels	15kg/m ² = 147N/m ²
-------------------	---

soit $P = 1.35 \times 0.147 \times 3 \times 2 = 1.20 \text{ kN}$

Le chargement est présenté à la figure 3-4 ci dessous.

CHAPITRE 3 : ETUDE DE VARIANTES DE STRUCTURES POUR LA CONSTRUCTION D'UN LOGEMENT DE TYPE ECONOMIQUE

Efforts dans les membrures dûs au vent

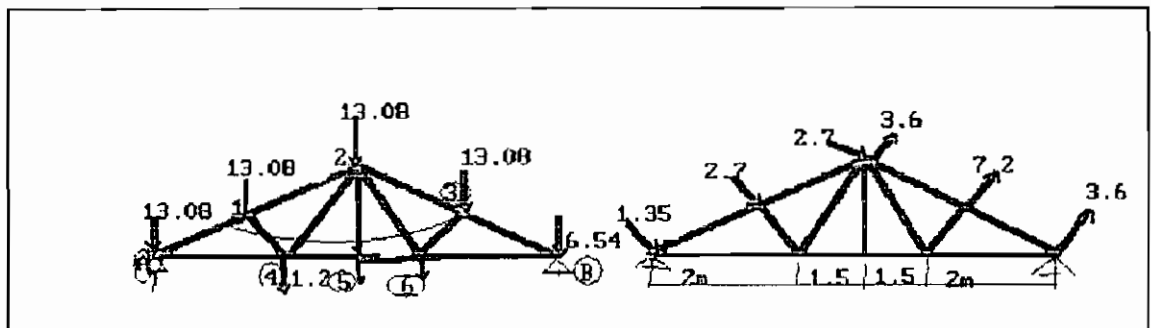
surcharge du vent sur la moitié gauche $q=0.3 \text{ kN/m}^2 \rightarrow Q=2.7\text{kN}$

sur la moitié droite $q=-0.8\text{kN/m}^2 \rightarrow Q=-7.2\text{KN}$

Le chargement est présenté à la figure 3-5 ci dessous.

FIGURE 3-4

FIGURE 3-5



Les sollicitations dans les membrures ont été déterminé à l'aide de la méthode graphique de CREMONA. Le résultat est présenté dans le tableau 3-1 ci dessous.

TABLEAU 3-1 : Résultat de l'analyse structurale des fermes

CHAPITRE 3 : ETUDE DE VARIANTES DE STRUCTURES POUR LA CONSTRUCTION D'UN LOGEMENT DE TYPE ECONOMIQUE

N° des Barres	efforts dûs aux charges verticales*	efforts dûs aux vents*	Efforts Maxima*	
			-	+
ENTRAITS				
A-4	25.4	4.1		29.5
4-5	16.8	2.3		19.1
5-6	16.8	2.3		19.1
6-B	25.4	-2.8	-2.8	25.4
ARBALE-TRIERES				
A-1	-29.4	2.7	-29.4	2.7
1-2	-27.2	2.1	-27.2	2.1
2-3	-26.4	5.5	-26.4	5.6
3-B	-29.4	4.8	-29.4	4.8
DIAGONALES				
1-4	-8.4	-2.0	-10.4	
4-2	11.2	2.3		13.5
2-5	0.97	0.0		0.97
2-6	10.2	-5.7	-5.7	10.2
3-6	-7.8	4.9	-7.8	4.9

* valeur des efforts en kN

le tableau 3-2 ci dessous présente la désignation, la section, l'équarrissage, la portée et le nombre de membrures composant les fermes.

Ainsi donc le volume de bois pour le bâtiment A estimé à :

$$V=0.232 \text{ m}^3$$

Pour le bâtiment B, le résultat est présenté dans le tableau 3 ci dessous. Le volume de bois est estimé à $V = 0.571 \text{ m}^3$

Les assemblages seront réalisés avec des clous et en tenon et mortaise avec embrèvement.

TABLEAU 3-2 : Résultats du dimensionnement pour le bâtiment A

CHAPITRE 3 : ETUDE DE VARIANTES DE STRUCTURES POUR LA CONSTRUCTION D'UN LOGEMENT DE TYPE ECONOMIQUE

n°des Barres	Charge F (kN)	F/f _c x10 ³ *	section commerciales (mm ²)	portées (m)	nombres requis
ENTRAIT					
A-4	29.5	4.85	40x60	2	2
4-5	19.1	3.18		1.5	2
5-6	19.1	3.18		1.5	2
6-B	25.4	4.23		2	2
ARBALETRIERS					
A-1	29.4	4.9	40x60	2	2
1-2	27.2	4.53		2	2
2-3	26.4	4.4		2	2
3-B	29.4	4.9		2	2
DIAGONALES					
1-4	10.4	1.73	40x60	1	2
4-2	13.5	2.25		2.6	2
2-5	0.97	0.16		2.1	2
2-6	10.2	1.7		2.6	2
3-6	7.8	1.3		1	2
POUR LES DEMI-FERMES D'ARETIER					
A-1	40 x 60			2.5	4
1-2				2.5	4
A-4				2.5	4
1-4				1.0	4
4-2				3.0	4
4-3				1.5	4

* en mm²

TABLEAU 3-3 : Résultats du dimensionnement pour le bâtiment B

ELEMENTS	Equarrissage mmxmm	portée (m)	nombres par bâtiment	nombres totaux
Entraits	40x60	3.0	3	6
Arbalétriers	40x60	4.3	3	6
pannes	80x80	3.0	4	8
chevrons	40x60	4.5	13	26
contre fiches	40x60	2.2	3	6

CHAPITRE 3 : ETUDE DE VARIANTES DE STRUCTURES POUR LA CONSTRUCTION D'UN LOGEMENT DE TYPE ECONOMIQUE

3) ANALYSE DES FORMES DE MACONNERIES

3-1) Ossature en Béton armé avec remplissage en agglomérés de ciment et sable de mer.

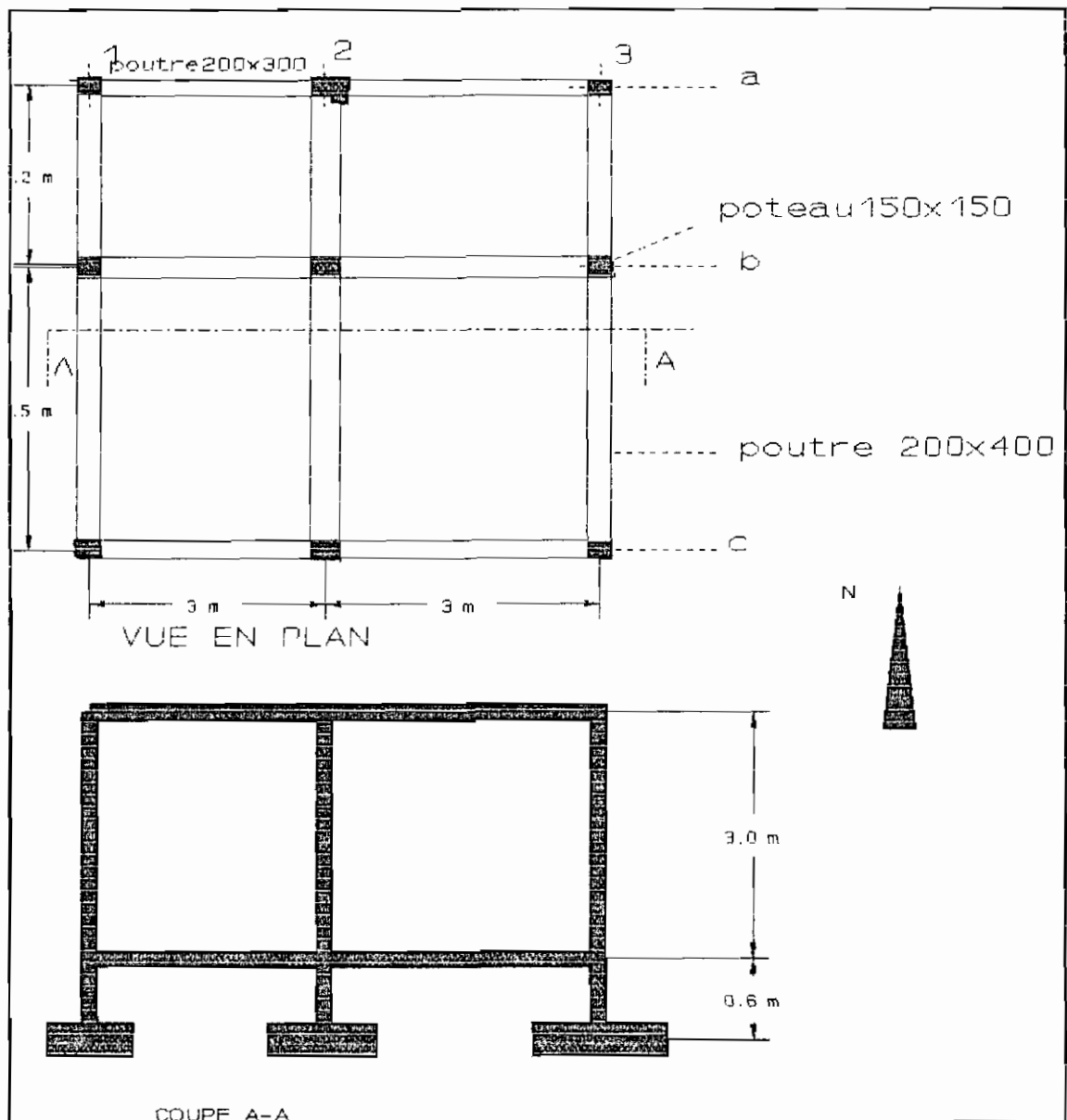


figure 3-6: schéma de l'ossature en béton armé

CHAPITRE 3 : ETUDE DE VARIANTES DE STRUCTURES POUR LA CONSTRUCTION D'UN LOGEMENT DE TYPE ECONOMIQUE

3-1-1) Calcul de l'ossature

3-1-1-1) Poutre chaînage supérieur

Les charges issues du toit se transmettent aux poutres par l'intermédiaire des appuis des fermes. Seul le dimensionnement de la poutre la plus chargée sera effectué, et le résultat étendu aux autres poutres.

a) Poutres aux axes 1,2 et 3 (FIGURE 3-6)

Surface tributaire inclinée $[(3+9)*4.5/2] = 27 \text{ m}^2$

horizontale $(3*7.7) = 23.1 \text{ m}^2$

chargement

couverture	9 kg/m ²	----->	9*27=243 kg
chevrons et pannes	21.75 kg/m ²	--->	21.75*23.1=502.4 kg
fermes	19.5 kg/m ²	---->	19.5*23.1 =450.5 kg
faux plafond	15 kg/m ²	---->	15*23.1 =346.5 kg

total D = 1542.4 kg soit 15.13 kN

surcharge d'exploitation L=1.16kN/m² inclinée soit

L=1.16*27=31.5 kN

surcharge due au vent moitié gauche = 0.3*27=8.1 kN

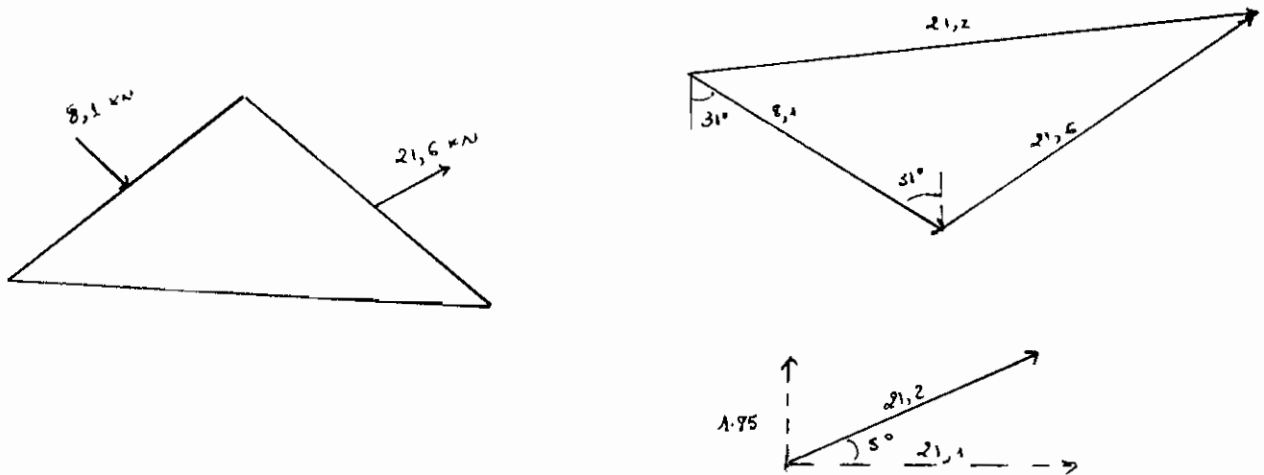
moitié droit = -0.8*27=21.6 kN

L'action du vent se résume à une force de 21.2 kN faisant un angle de 5° avec l'horizontal et soulevant la toiture. Cette

CHAPITRE 3 : ETUDE DE VARIANTES DE STRUCTURES POUR LA CONSTRUCTION D'UN LOGEMENT DE TYPE ECONOMIQUE

action se décompose en une action horizontale de 21.1 kN et une action verticale de 1.85 kN (voir la FIGURE 3-7 ci dessous)

FIGURE 3-7: Résultante des efforts du vent sur la toiture



La charge concentrée totale par appuis est donc égale à:

$$P_f = 1.35 \cdot 15.13 / 4 + 1.5 \cdot (31.5 - 0.93) / 4 = 16.6 \text{ kN}$$

Calcul des sollicitations

DONNEES: dimensions préliminaires des poutres 200x400 mm;

la charge permanente due au poids propre et uniformément répartie

est alors: $w_f = 1.35 \cdot 0.3 \cdot 0.2 \cdot 2400 \cdot 0.00981 = 1.9 \text{ kN/m}$

Les caractéristiques des matériaux sont:

béton : classe A (voir annexe 2); masse volumique $\tau_b = 2400 \text{ kg/m}^3$

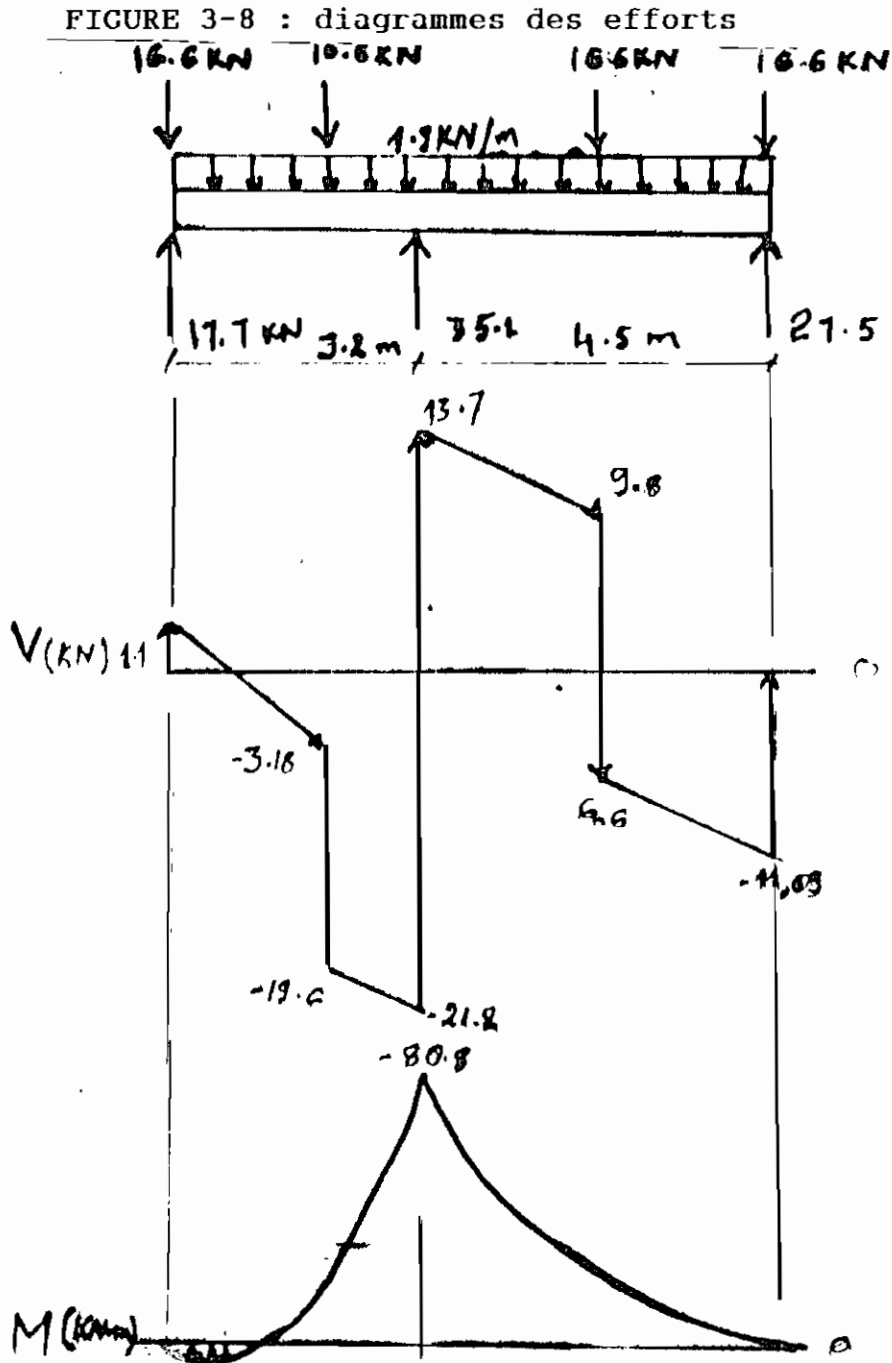
résistance à 28 jours $f'c = 25 \text{ Mpa}$;

Acier: limite d'élasticité $f_y = 400 \text{ Mpa}$;

Les moments et les efforts tranchants ont été déterminés à

CHAPITRE 3 : ETUDE DE VARIANTES DE STRUCTURES POUR LA CONSTRUCTION D'UN LOGEMENT DE TYPE ECONOMIQUE

l'aide de la méthode de HARDY CROSS et le diagramme est présenté à la FIGURE 3-8 ci dessous



CHAPITRE 3 : ETUDE DE VARIANTES DE STRUCTURES POUR LA CONSTRUCTION D'UN LOGEMENT DE TYPE ECONOMIQUE

Calcul de l'armature en flexion suivant le BAEL

* Armature supérieure: le moment pondéré est $M_f=80.8\text{kN.m}$;

La section d'armature est donnée par la formule

$$A=M_f/\beta*d*\sigma_s \quad \text{où}$$

$$\beta=1-0.4*(1-VI-2\mu)/0.8 \quad \text{or} \quad \mu=M_f/\sigma_b*b*d^2;$$

$$\sigma_b=0.85*f'_c/1.15=18.5 \text{ Mpa};$$

si nous supposons des barres de 10 mm de diamètre et des étriers de 8 mm de diamètre et un enrobage de 40 mm alors la hauteur utile $d = 400-8-10-40=342 \text{ mm}$;

$$\mu=80.8 \cdot 10^6/18.5*200*342^2=0.184$$

or $\mu_{lim}=0.38$ par conséquent la section peut être simplement armée cependant nous allons prévoir les barres de compression minimales pour tenir les cadres.

$$\beta=1-0.4*(1-VI-2*0.184)/0.8=0.89$$

$$\text{d'où } A=80.8 \cdot 10^6*1.15/(0.89*342*400) = 758 \text{ mm}^2$$

$$A=7.58 \text{ cm}^2 \text{ soit } 10 \text{ barres n}^\circ 10$$

Armature inférieure minimale: 2 barres n°10

calcul de l'armature de cisaillement suivant le BAEL

L'espacement maximal entre les étriers est donné par l'inéquation suivante : $(0.8A_t h_s f_y / s_t) \geq T-5b_0 h_s$ où

hs: hauteur utile= $d = 342 \text{ mm}$; A_t : section d'étrier

T: sollicitation ultime d'effort tranchant $T=21.2\text{kN}$

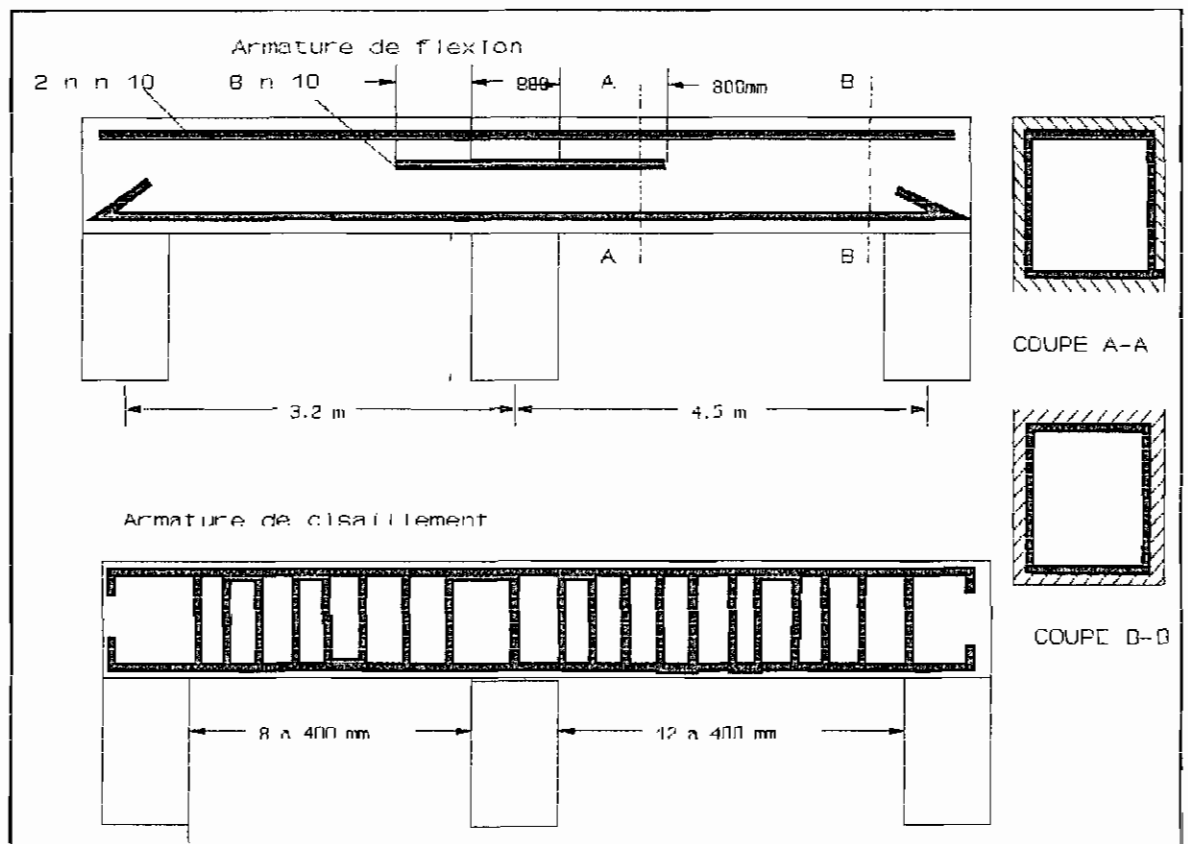
bo: largeur de la poutre $b_0=200 \text{ mm}$

CHAPITRE 3 : ETUDE DE VARIANTES DE STRUCTURES POUR LA CONSTRUCTION D'UN LOGEMENT DE TYPE ECONOMIQUE

$$T=21.2 \text{ kN} < 0.5 \text{ bohs}=34.2 \text{ kN}$$

La résistance du béton est suffisante pour reprendre le cisaillement, néanmoins nous allons prévoir un pourcentage minimal d'acier correspondant à la plus grande des deux valeurs $0.5T$ et 4bohs soit des espacements de 400 mm entre les étriers.

Figure 3-9: schéma de ferrailage



Calcul des quantité de matériaux requises

béton: volume du coffrage $V=3*(7.7*0.2*0.4) = 1.848 \text{ m}_3$

armature: barre de 10 mm : $3*4 = 12$ barres de 12 m

barre de 8 mm $2*3 = 6$ barres de 12 m

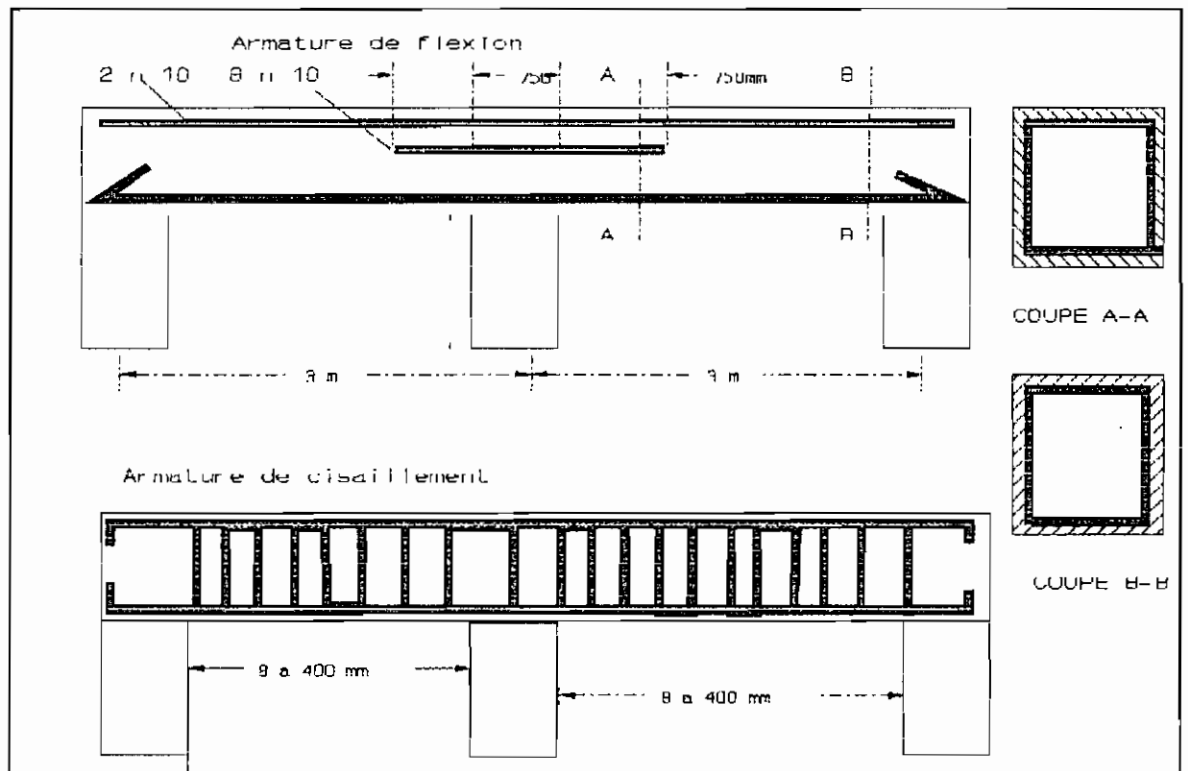
CHAPITRE 3 : ETUDE DE VARIANTES DE STRUCTURES POUR LA CONSTRUCTION D'UN LOGEMENT DE TYPE ECONOMIQUE

b) Poutres aux axes a, b et c

Les dimensions sont les mêmes que celles des axes 1,2 et 3 (voir schéma de ferrailage ci dessous)

Schéma de ferrailage

Figure 3-10 : schéma de ferrailage



Calcul des quantités de matériaux requises

béton : volume du coffrage $V = 3 \times (6 \times 0.2 \times 0.4) = 1.44 \text{ m}^3$

Armature barre de 10 : $3 \times 4 = 12$ barres de 12 m

barres de 8 : $3 \times 2 = 6$ barres de 12m

CHAPITRE 3 : ETUDE DE VARIANTES DE STRUCTURES POUR LA CONSTRUCTION D'UN LOGEMENT DE TYPE ECONOMIQUE

3-1-1-2) Poteaux

Seul le poteau ayant le chargement le plus critique (ici le poteau c-1) est analysé et ses dimensions seront étendu aux autres poteaux de l'ossature.

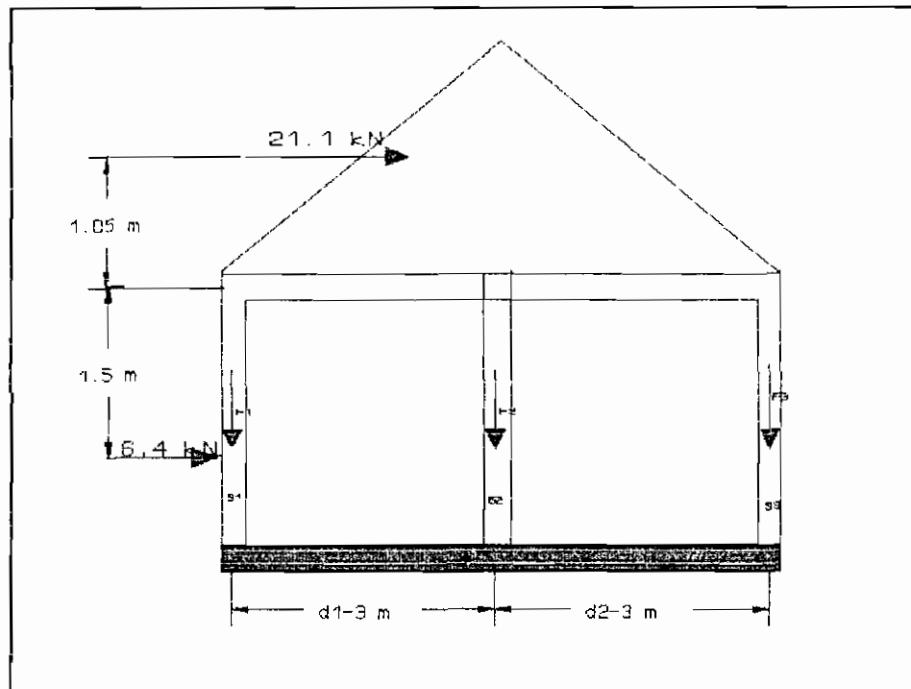
a) chargement

charge transmise par les poutres $P_f = 27.5 * 2 = 55 \text{ kN}$

charge équivalente due à l'effet du vent

Pour un vent perpendiculaire au faîte, la pression résultante sur la paroi est $p = 0.95 \text{ kN/m}^2$

Figure 3 11 : schéma des efforts résultants sur les poteaux



La force verticale

CHAPITRE 3 : ETUDE DE VARIANTES DE STRUCTURES POUR LA CONSTRUCTION D'UN LOGEMENT DE TYPE ECONOMIQUE

$$F_1 = M d_1 S_1 / I = F_2 = M d_2 S_2 / I \text{ or } I = S_1 d_1^2 + S_2 d_2^2$$

et puisque $d_1 = d_2$ et $S_1 = S_2$, alors

pour $M = 21.1 \times 1.05 - 6.4 \times 1.5 = 12.55 \text{ kN.m}$,

$$F_1 = M / 2d \text{ d'où } F_1 = 12.55 / (2 \times 3) = 2.1 \text{ kN}$$

La force de compression totale sur le poteau est:

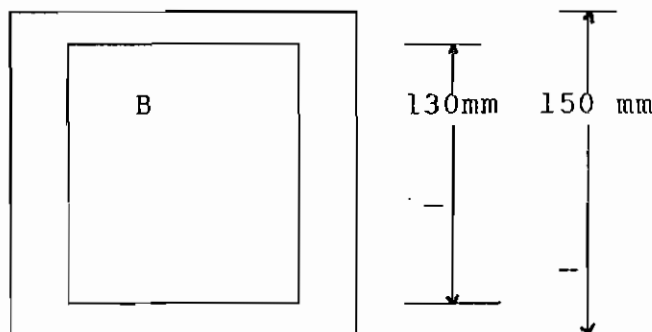
$$P_f = 2.1 + 55 = 57.1 \text{ kN}$$

b) Dimensionnement suivant le BAEL

Suivant cette règle, les poteaux à compression centrée sont justifiées en s'assurant uniquement que leur sollicitation ultime reste inférieure à la valeur $\alpha [B f'_c / 0.9 \tau_b + A f_y / \tau_s]$

où A est la section d'acier intervenant dans l'instabilité et B la section définie sur le schéma ci dessous.

Figure 3-12 : schéma de la section du poteau



$$L'élancement = 3.46 l_f / h = 3.46 (3 - 2 \times 0.4) / 0.2 = 38.02$$

qui est inférieur à 50 donc $\alpha = 0.85 / [(1 + 0.2 (38.02)^2 / 35)] = 0.69$

$$\text{on a } A \geq [1.2 P_f / \alpha - B f'_c / 1.35] \times 1.15 / f_y = -0.213$$

CHAPITRE 3 : ETUDE DE VARIANTES DE STRUCTURES POUR LA CONSTRUCTION D'UN LOGEMENT DE TYPE ECONOMIQUE

Il suffit donc de prévoir une armature longitudinale minimale égale à la plus grande des deux valeurs suivantes

$$20 ab = 20 \times 0.15 \times 0.15 = 0.45 \text{ cm}^2$$

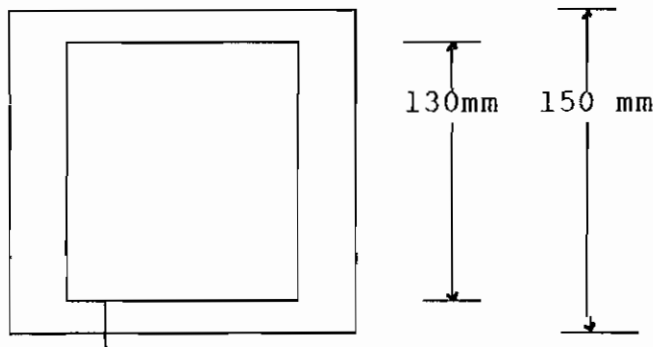
$$8(a+b) = 8(0.15 + 0.15) = 2.4 \text{ cm}^2$$

d'où $A_{min} = 2.4 \text{ cm}^2$ soit 4 barres n°10

armatures transversales

des barres n°8 espacées de 120 mm

Figure : 3-13 schéma du ferrailage



30 cadres n°8 à 120 mm et 4 barres longitudinales n°10

c) calcul des quantités de matériaux requises

béton : volume du coffrage = $9 \times (3.6 \times 0.15 \times 0.15) = 0.729 \text{ m}^3$

armature barre n°10 $9 \times 16 = 144 \text{ m}$ soit 12 barres de 12 m

barre n°8 $9 \times 18 = 162 \text{ m}$ soit 14 barres de 12 m

3-1-1-3) Poutres du chaînage inférieur

a) Poutres aux axes 1, 2 et 3

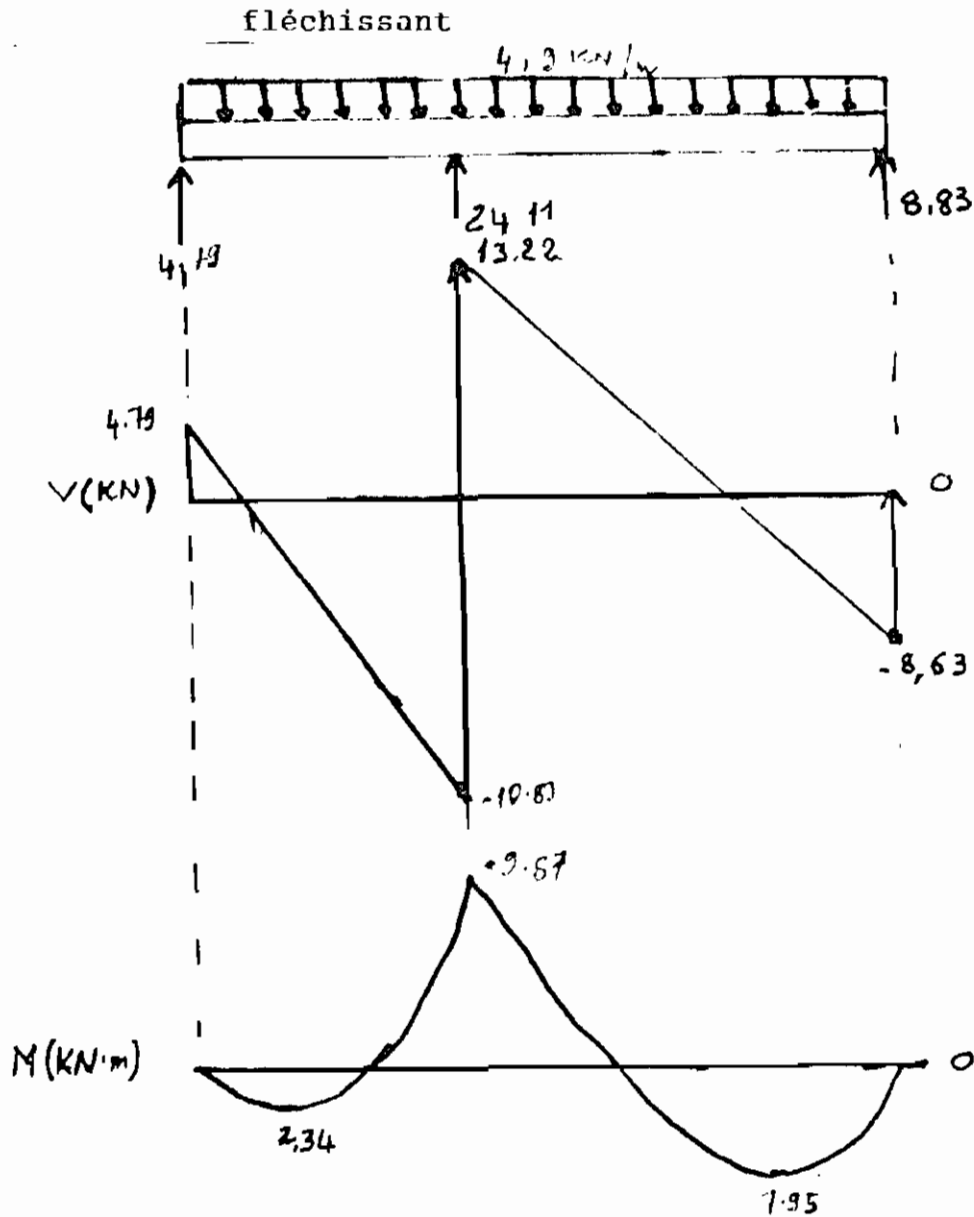
Cette poutre supporte le poids du mur de remplissage au dessus du mur de soubassement. Le pourcentage de vide étant estimé à 18% et en comptant un poids de 150 kg au mètre carré de mur, l'effort uniformément répartie est égale à :

$$p = 1.35 \times 150 \times 0.00981 \times 3 \times (1 - 0.18) = 4.9 \text{ kN/m}$$

Le schéma de chargement, le diagramme des efforts tranchants et du moment fléchissant sont présentés à la figure 3-14 ci dessous.

CHAPITRE 3 : ETUDE DE VARIANTES DE STRUCTURES POUR LA CONSTRUCTION D'UN LOGEMENT DE TYPE ECONOMIQUE

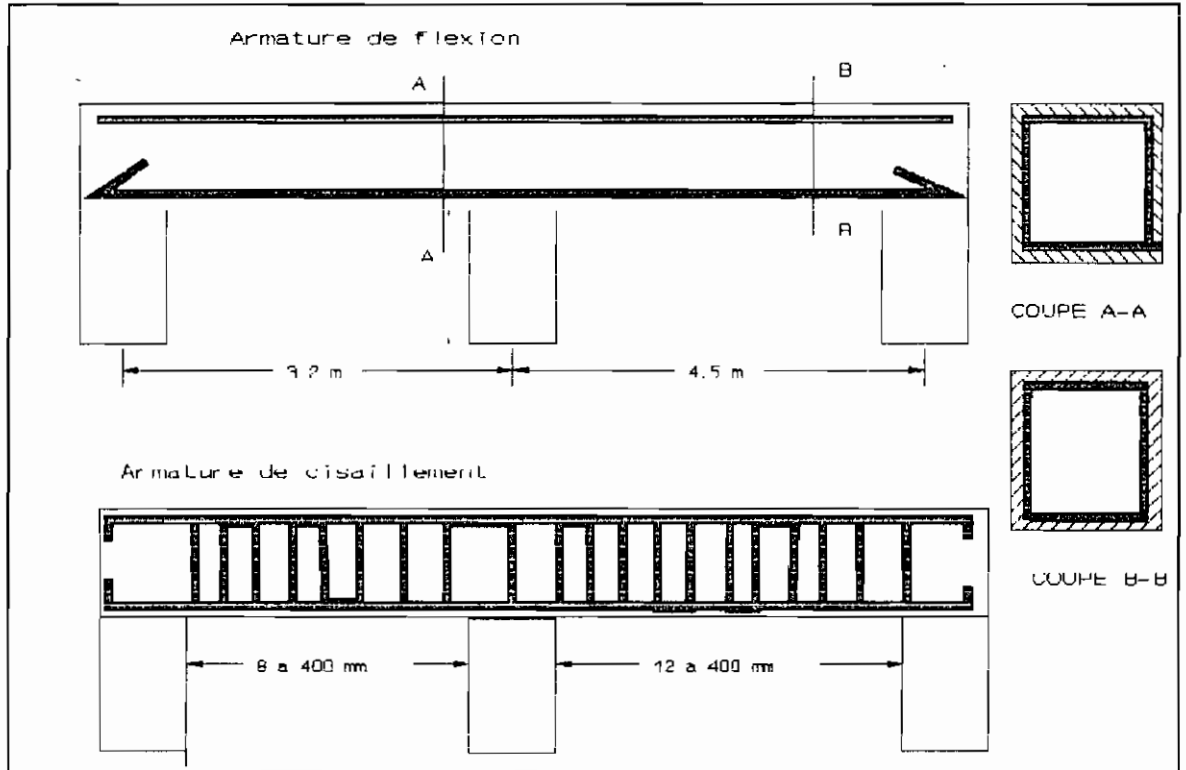
Figure 3-14 : Diagramme des efforts tranchants et du moment



Le dimensionnement est effectué suivant le BAEL, ce qui a permis d'obtenir le schéma de ferrailage présenté à la figure 3-15 ci dessous.

CHAPITRE 3 : ETUDE DE VARIANTES DE STRUCTURES POUR LA CONSTRUCTION D'UN LOGEMENT DE TYPE ECONOMIQUE

Figure 3-15 : Schéma de ferrailage



CHAPITRE 3 : ETUDE DE VARIANTES DE STRUCTURES POUR LA CONSTRUCTION D'UN LOGEMENT DE TYPE ECONOMIQUE

Calcul des quantités de matériaux requises

béton : volume du coffrage $V = 3 \times (0.2 \times 0.3 \times 7.7) = 1.386 \text{ m}^3$

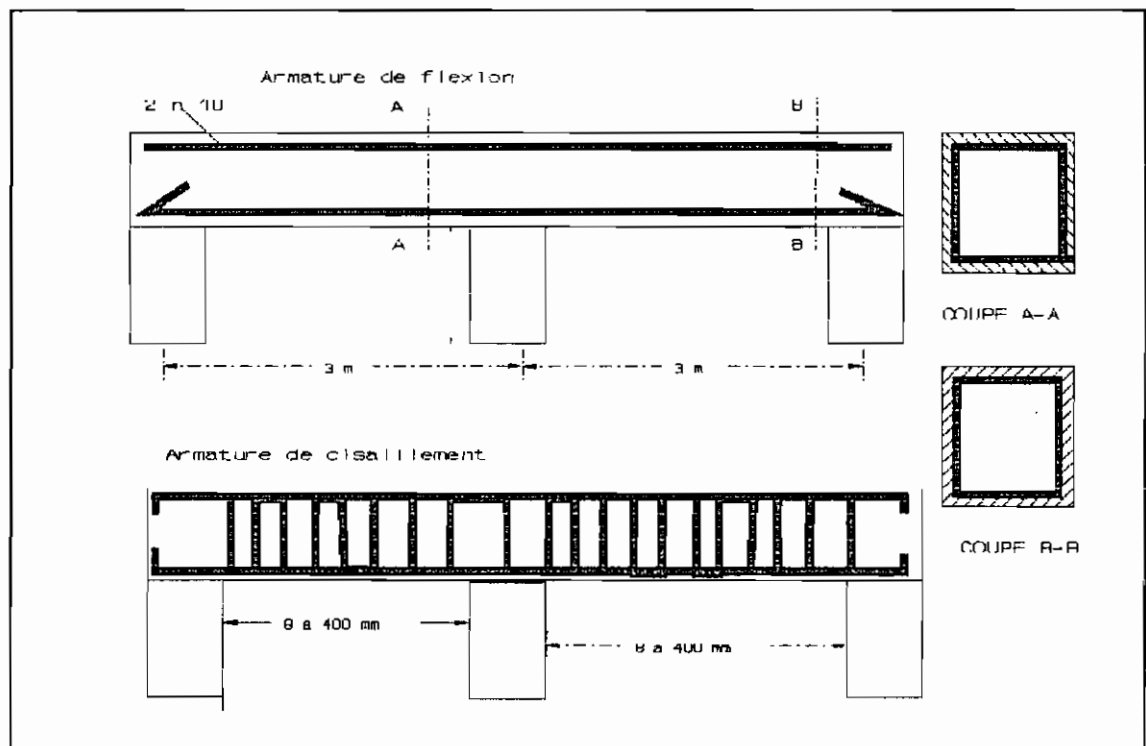
Armatures: barres de 10 = $3 \times (4 \times 8) = 96 \text{ m}$ soit 8 barres de 12 m

barres de 8 = $3 \times (1 \times 20) = 60 \text{ m}$ soit 5 barres de 12 m

b) Poutres au axes a,b et c

Les mêmes dimensions sont reconduites que les poutres précédentes.

Figure 3-16: Schéma de ferrailage



CHAPITRE 3 : ETUDE DE VARIANTES DE STRUCTURES POUR LA CONSTRUCTION D'UN LOGEMENT DE TYPE ECONOMIQUE

Calcul des quantités de matériaux requises

béton : volume du coffrage $v = 3 \cdot (0.3 \cdot 0.2 \cdot 6) = 1.08 \text{ m}^3$

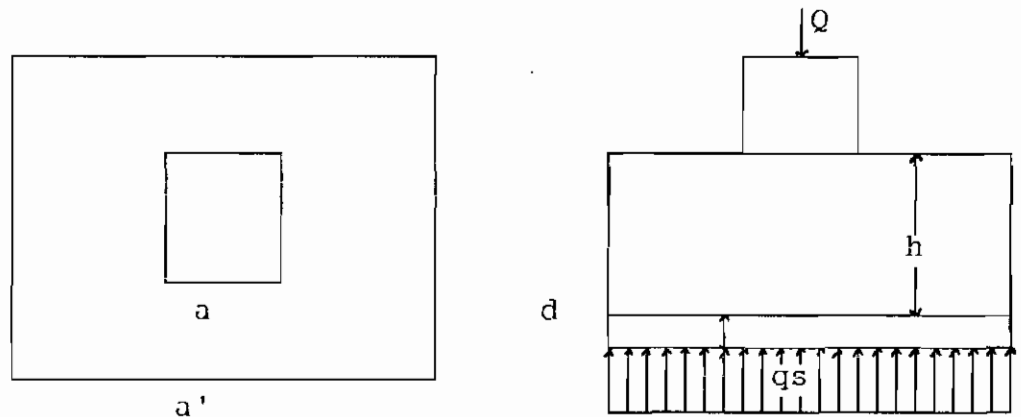
Armatures barres de 10 = $3 \cdot (4 \cdot 6) = 72 \text{ m}$ soit 6 barres de 12 m

- barres de 8 = $3 \cdot (1 \cdot 17) = 51 \text{ m}$ soit 5 barres de 12 m

3-1-1-4) Fondation

Nous allons adopter des semelles carrées homothétiques aux poteaux (figure 3-17)

Figure 3-17 : schéma de la semelle carrée



La validité de la distribution uniforme des contraintes est admise suivant le DTU 13.1 pour autant que $h \geq (a' - a) / 4$. Si cette règle est satisfaite, il n'est plus nécessaire de vérifier le poinçonnement du poteau et le cisaillement dans la semelle. De même aucune armature transversale n'est requise.

CHAPITRE 3 : ETUDE DE VARIANTES DE STRUCTURES POUR LA CONSTRUCTION D'UN LOGEMENT DE TYPE ECONOMIQUE

a) Détermination de la sollicitation ultime Q sur le poteau c-1

Elle est égale à la somme des charges de compression issue du poteau, de la réaction des poutres du chaînage bas et du poids propre des poteaux.

$$Q = P_f + R_p + P_p$$

$$P_f = 57.1 \text{ kN}$$

$$R_p = 8.83 \text{ kN (diagramme des efforts)}$$

$$P_p = 1.35 \cdot 2400 \cdot 0.0098 \cdot (3.6 \cdot 0.15 \cdot 0.15) = 2.57 \text{ kN}$$

$$\text{d'où } Q = 57.1 + 8.83 + 2.57 = 68.5 \text{ kN}$$

b) Dimensionnement

dimensions préliminaires : $a=150 \text{ mm}$ et $a'=500 \text{ mm}$

$h \geq (a'-a)/4 \text{ -----} \rightarrow h \geq (500-150)/4 = 87.5 \text{ mm}$; choisissons

$h=100 \text{ mm}$

Avec un enrobage de 75 mm la hauteur totale de la semelle devient:

$$h_t = 175 \text{ mm}$$

La pression sur le sol étant donnée par $q = Q/a'^2 = 274 \text{ kPa}$, si nous supposons une contrainte indicative moyenne de 5 kg/cm^2 (sol alluvions anciennes, sables et graviers) et avec un facteur de sécurité de 1.25 , nous remarquons que les dimensions de la semelle permettent au sol de résister suffisamment aux sollicitations.

CHAPITRE 3 : ETUDE DE VARIANTES DE STRUCTURES POUR LA CONSTRUCTION D'UN LOGEMENT DE TYPE ECONOMIQUE

c) Calcul de l'armature de flexion dans les deux directions

La section d'acier suivant les directions x et y est donnée par la formule $A_x=A_y=A=Q(a'-a)/(8*h*f_y/1.15)$

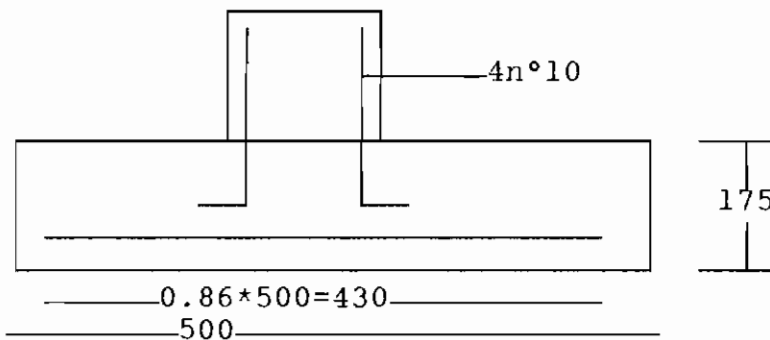
$$A = 68.5 \cdot 10^3 \cdot (500-150) / (8 \cdot 100 \cdot 400 / 1.15) = 86 \text{ mm}^2$$

soit $A=0.86\text{cm}^2$ on peut mettre 2 barres n°10 dans chaque direction

Par ailleurs, nous allons prévoir 4 barres n°10 comme armature de liaison entre le poteau et la semelle

d) schéma de ferrailage

Figure 3-18 : schéma de ferrailage de la semelle



e) Calcul des quantités de matériaux requises

béton : volume du coffrage $v = 9 \cdot (0.5 \cdot 0.5 \cdot 0.175) = 0.396 \text{ m}^3$

Armature: barres de 10 = $9 \cdot (4 \cdot 0.5 + 4 \cdot 0.5) = 36 \text{ m}$ soit 3 barres de 12 m

3-1-1-5) Les linteaux

a) chargement

Pour les poutres linteaux, n'intervient comme charge que le poids de la partie du mur comprise dans un triangle équilatéral au

CHAPITRE 3 : ETUDE DE VARIANTES DE STRUCTURES POUR LA CONSTRUCTION D'UN LOGEMENT DE TYPE ECONOMIQUE

dessus de la poutre

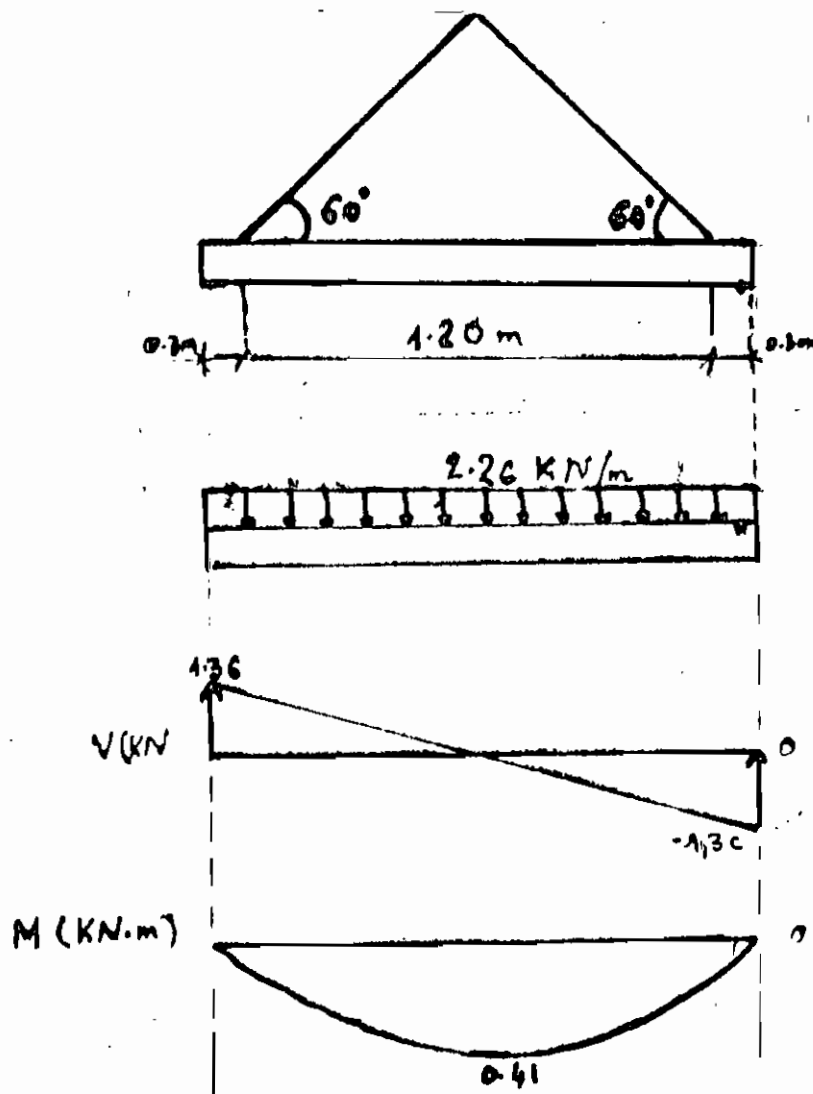
La charge uniforme est égale à :

$$w_f = 1.35 \times 150 \times 0.00981 \times 1.03 \times (1 + 0.1) = 2.26 \text{ kN/m}$$

b) calcul de la sollicitation: diagramme des efforts

Figure 3-19 : schéma du chargement des linteaux

Figure 3-20 : Diagramme des efforts



CHAPITRE 3 : ETUDE DE VARIANTES DE STRUCTURES POUR LA CONSTRUCTION D'UN LOGEMENT DE TYPE ECONOMIQUE

Les sollicitations étant faibles, nous allons prévoir 2 barres n°10 pour reprendre la flexion des linteaux de section 150x150 mm.

c) Calcul des quantités de matériaux requises

béton : volume du coffrage $v=8*(1.8*0.15*0.15)=0.32 \text{ m}^3$

Armature: barre de 10: $8*(1.8*2)=29 \text{ m}$ soit 3 barres n°10 de
12 m

3-1-2) LA MACONNERIE

La maçonnerie est constituée par des agglomérés creux de 15x20x40 pour l'élévation et d'agglomérés pleins de 15x20x40 pour le soubassement.

Ils sont supposés dosés à 250 kg/m^3

3-1-2-1) Calcul des quantités de briques requises

a) Mur de soubassement

Surface développée, S (voir figure 6)

$$S=3*(4.2*0.6) + 3*(2.9*0.6)+3*(5.7*0.6) = 29.04 \text{ m}^2$$

Avec un nombre de 13 briques au mètre carré de mur on a pour tout le soubassement, 377 briques pleines.

b) Mur en élévation

Calcul de la surface développée S

CHAPITRE 3 : ETUDE DE VARIANTES DE STRUCTURES POUR LA CONSTRUCTION D'UN LOGEMENT DE TYPE ECONOMIQUE

* façade Est Ouest (18% d'ouverture): $S_1 = 2 * [(7.7 - 0.3) * (3 - 0.35) (1 - 0.18)] = 32.2 \text{ m}^2$

* façade Nord Sud (16% d'ouverture) : $S_2 = 2 * [(6 - 0.3) * (3 - 0.35) (1 - 0.16)] = 25.4 \text{ m}^2$

*Murs mitoyens (dans les deux directions):

$S_3 = (3 - 0.5) * [(7.7 - 0.3) + (6 - 0.3)] = 34.7 \text{ m}^2$

Par conséquent $S = S_1 + S_2 + S_3 = 32.2 + 25.4 + 34.7 = 92.3 \text{ m}^2$

Calcul du nombre de briques

Avec un nombre de 13 briques au mètre carré, on a un nombre total de 1196 briques creux

3-1-3) DALLAGE DU SOL

La forme de dallage est composée de 8 cm de béton dosé à 250 kg/m³

qui repose sur un béton de propreté dosé à 150 kg/m³ de 5 cm lui même reposant sur un remblai en sable d'apport latéritique de 15 cm. La base sera suffisamment compactée pour que le dallage ne présente pas de tassement appréciable par rapport à la fondation.

Calcul des quantités de matériaux requises

béton dosé à 250 kg/m³ : volume

$$v = 0.08 * [(6 - 0.3) * (7.7 - 0.3)] = 3.374 \text{ m}^3$$

béton dosé à 150 kg/m³ : volume $v = 0.05 * [(6 - 0.3) * (7.7 - 0.3)] = 2.11 \text{ m}^3$

CHAPITRE 3 : ETUDE DE VARIANTES DE STRUCTURES POUR LA CONSTRUCTION D'UN LOGEMENT DE TYPE ECONOMIQUE

sable d'apport latéritique volume

$$v = 0.15 * [(6 - 0.3) * (7.7 - 0.3)] = 6.33 \text{ m}^3$$

3-1-4) Enduit et joint de recouvrement

a) Enduit

L'utilisation des agglomérés de ciment et sable nécessite une finition à mortier dosé à 350 kg/m^3 sur une épaisseur de 1 cm sur chaque du mur.

Quantité de mortiers requises $v = 2 * 92.3 * 0.01 = 1.846 \text{ m}^3$

b) joint de recouvrement

Les joints d'assise et de montant ont une épaisseur de 1.2 cm. Soit pour 13 litres par mètre carré de couverture, on aura: $V = 0.013 * (92.3 + 29.04) = 1.58 \text{ m}^3$

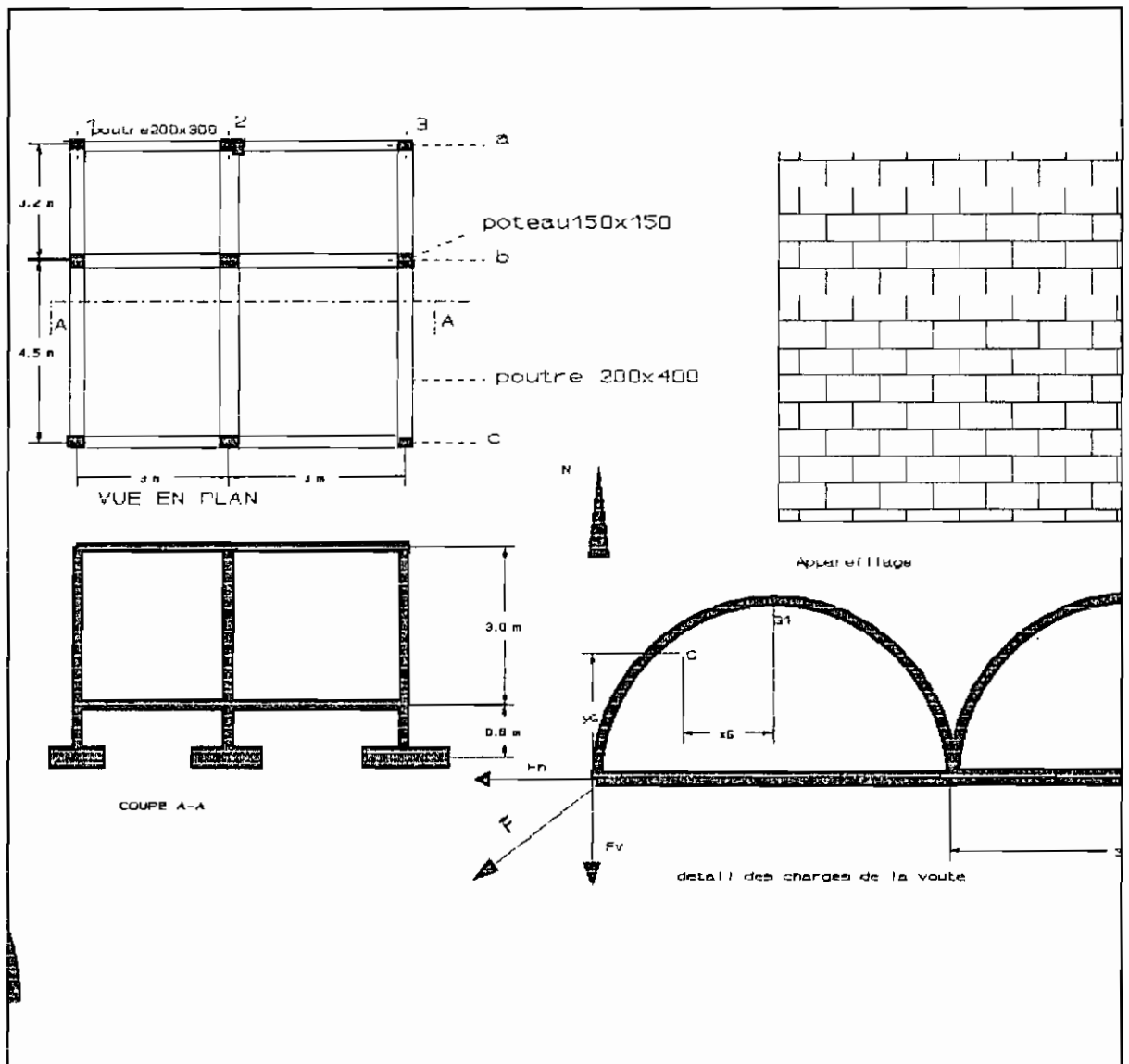
Remarque: nous n'avons montré ici que le cas du calcul du bâtiment A. Les résultats du bâtiment B seront présentés dans les tableaux économiques du chapitre 4

CHAPITRE 3 : ETUDE DE VARIANTES DE STRUCTURES POUR LA CONSTRUCTION D'UN LOGEMENT DE TYPE ECONOMIQUE

3-2) ELEVATION EN MUR PORTEUR DE GEOBETON

3-2-1) cas de la toiture en voûte

Figure 3-21: schéma de l'ossature en géobéton



3-2-1-1) Le Chaînage

a) mode de chargement

Le Chaînage est placé à la base de la voûte et sur la maçonnerie. Il encercle le haut des murs extérieurs et s'oppose ainsi au déversement dû à la composante horizontale de la force de compression exercée par le poids de la toiture (figure 22). La composante verticale de cette poussée est transmise au mur porteur par l'intermédiaire du Chaînage.

Données : la force F de compression $F=32.3$ kN/m

la flèche $f= 1.03$ m

Les coordonnées du point G , centre de gravité de l'arc sont données par:

$$x_G = 4a/2\pi = 4 \cdot 3/2\pi = 1.9 \text{ m}$$

$$y_G = 4f/3\pi = 4 \cdot 1.03/3\pi = 0.43$$

L'angle α est donc donnée par $\tan\alpha = 1.03/(3-1.9) = 0.93$ d'où $\alpha = 43^\circ$.

Les composantes horizontale et verticale de la poussée sont:

$$F_v = F \cos\alpha = 32.3 \cdot \cos 43^\circ = 23.6 \text{ kN/m}$$

$$F_h = F \sin\alpha = 32.3 \cdot \sin 43^\circ = 22.03 \text{ kN/m}$$

b) Dimensionnement

Le DTU 23.1 définit une section d'acier minimale de 1.5 cm^2 pour les chaînages entre plancher et façades maçonnées.

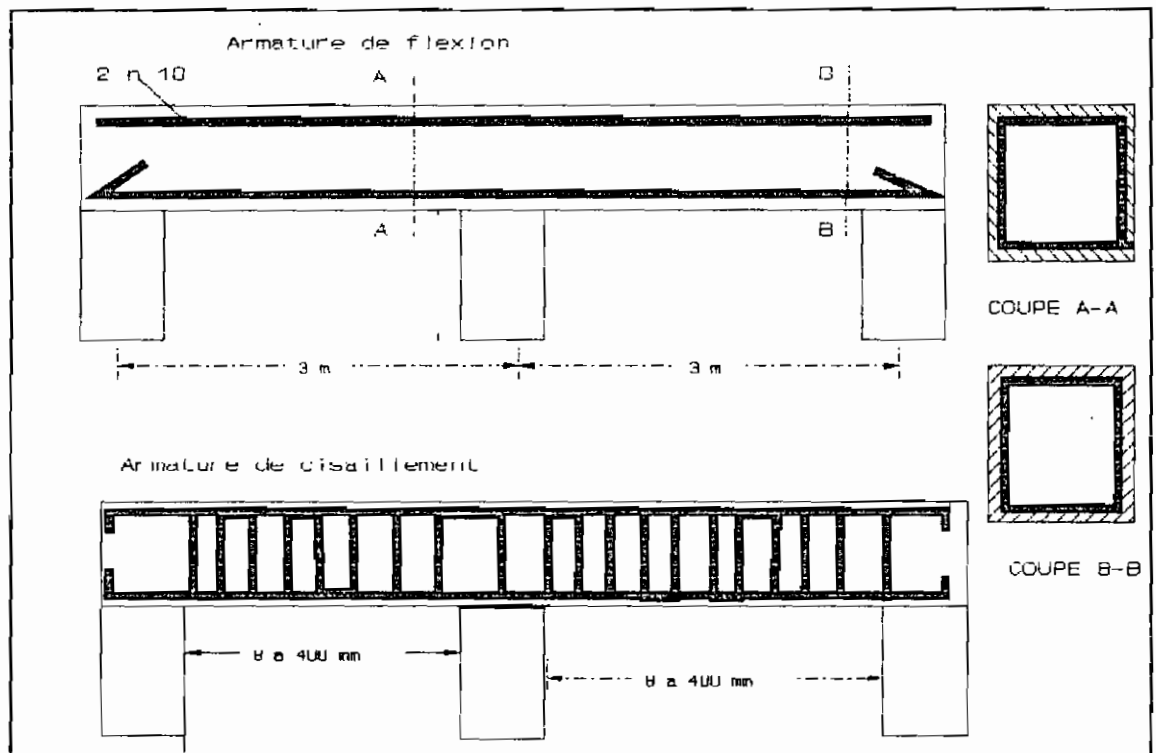
Nous allons utiliser 4 barres n°10 et des étriers n°8 à 400 mm

CHAPITRE 3 : ETUDE DE VARIANTES DE STRUCTURES POUR LA CONSTRUCTION D'UN LOGEMENT DE TYPE ECONOMIQUE

d'espacement pour une section de 200x200 mm de poutre.

c) Schéma de ferrailage

Figure 3-22: schéma de ferrailage du Chaînage



d) Calcul des quantité de matériaux nécessaires

Poutres sur la façade Nord Sud

béton : volume du coffrage $V = 2 \cdot (0.2 \cdot 0.2 \cdot 6) = 0.48 \text{ m}^3$

Armature barre de 10 = $2 \cdot (4 \cdot 7) = 56 \text{ m}$ soit 5 barres de 12 m

barre de 8 = $2 \cdot [2 \cdot 16(0.3 + 0.4)] = 44,8 \text{ m}$ soit

4 barres de 12 m

CHAPITRE 3 : ETUDE DE VARIANTES DE STRUCTURES POUR LA CONSTRUCTION D'UN LOGEMENT DE TYPE ECONOMIQUE

Poutres sur la façade Est Ouest

béton : volume du coffrage = $2*(7.7*0.2*0.2) = 0.616 \text{ m}^3$

Armature : barres de 10 : $2*(4*8)=64 \text{ m}$ soit 6 barres de 12 m
barres de 8 : $2*(1.4*20)=56\text{m}$ soit 5 barres de 12 m

3-2-1-2) La Maçonnerie

Elle est exécutée en mur porteur de géobétons disposés à plat comme l'indique l'appareillage de la figure 22. Le chaînage vertical aux droit des angles est exécuté tel qu'indiquer sur la figure 3-22 pour éviter l'occurrence de fissures préjudiciables à la stabilité de la structure.

Le coefficient de sécurité requis se rapporte au rapport de la contrainte de rupture mesurée sur un bloc à la contrainte sous charge nominale. On adopte habituellement un rapport variant entre 9 et 11 pour de géobéton. La référence [3] a publié suite à des essais de compression sur des briques LATEROc de la SENAC stabilisées à 6% de ciment une valeur moyenne de la résistance de 10.6 MPa.

a) Calcul de la pression de sollicitation sur la brique la plus sollicitée

La charge transmise au mur si nous négligeons l'effet des voûtes dans le mur est $F_v=23.6 \text{ kN/m}$.

CHAPITRE 3 : ETUDE DE VARIANTES DE STRUCTURES POUR LA CONSTRUCTION D'UN LOGEMENT DE TYPE ECONOMIQUE

Une brique disposée au dessus de la semelle filante reprend les efforts de la toiture et le poids propre du mur.

Soit $P = F_v + h \cdot P_p$ où h est la hauteur du mur et P_p le poids au mètre carré de mur $P_p = 3.37 \text{ Kg/dm}^2$.

$$P = 23.6 + (3.6 \cdot 3.31) = 35.52 \text{ kN}$$

La contrainte nominale est donc $\sigma_n = P/l$ où l est la largeur d'une brique.

$$\sigma_n = 35.52 / 0.14 = 0.25 \text{ Mpa}$$

le coefficient est par conséquent $F_s = 10.6 / 0.25 = 42.4$

Les briques sont donc assez résistantes

b) Calcul des quantités de matériaux requises

Calcul de la surface totale à couvrir S

*façade Nord Sud: $S_1 = 2[(3.6 \cdot 6)(1 - 0.16)] = 36.3 \text{ m}^2$

*façade Est Ouest : $S_2 = 2[(3.6 \cdot 7.7)(1 - 0.18)] = 45.5 \text{ m}^2$

*Mur mitoyen : $S_3 = 3.6 \cdot (7.7 + 6) = 49.3 \text{ m}^2$

$$\text{Surface totale } S = S_1 + S_2 + S_3 = 36.3 + 45.5 + 49.3 = 131.1 \text{ m}^2$$

Calcul du nombre de briques

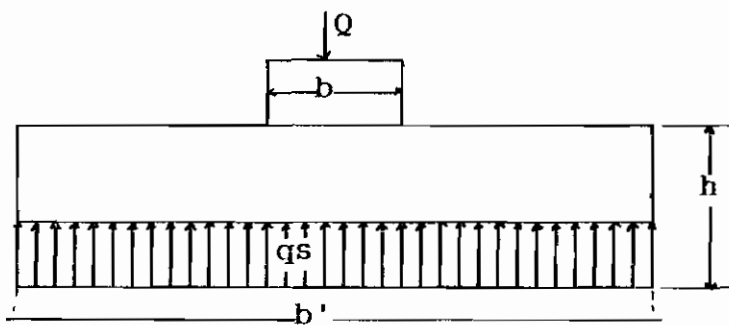
Avec une estimation de 35 briques au mètre carré, on a un total de 4589 briques .

CHAPITRE 3 : ETUDE DE VARIANTES DE STRUCTURES POUR LA CONSTRUCTION D'UN LOGEMENT DE TYPE ECONOMIQUE

3-2-1-3) La Fondation

Elle exécutée en semelle filante sous mur. Le calcul est effectué pour un mètre de mur et suivant les règles du BAEL

Figure 3-23: Schéma de la section de semelle filante



a) Dimensionnement

Soit la contrainte exercée sur le sol par la semelle et q_a la contrainte admissible sur le sol (dépend des propriétés physique et mécanique du sol), en reprenant ici l'exemple du sol composé d'alluvions anciennes, sables et graviers.

La sollicitation résultante est celle issue du toit et celle du poids propre du mur.

$$Q = (1+0.1)P = 1.1 * 35.52 = 39.07 \text{ kN/m} \quad Q = 39.07 \text{ kN/m}$$

Les inéquations suivantes doivent être vérifiées:

$$b' q_s \geq Q \quad \text{-----} \rightarrow b' \geq Q/q_a$$

$$hs \geq (b' - b) / 4$$

$$b' \geq 39.07 / 327 = 0.119 \quad \text{prenons } b' = 400 \text{ mm}$$

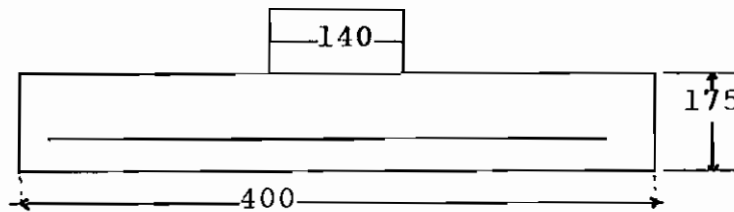
CHAPITRE 3 : ETUDE DE VARIANTES DE STRUCTURES POUR LA CONSTRUCTION D'UN LOGEMENT DE TYPE ECONOMIQUE

$h_s \geq (400-140)/4 = 65$ mm prenons $h_s = 100$ mm

La semelle d'armature par unité de longueur de semelle est donnée par la formule $A = Q(b'-b)/(8 \cdot h_s \cdot f_y / 1.15)$

$A = 35 \text{ mm}^2 = 0.35 \text{ cm}^2$ Nous allons prévoir 1 barre n°10

Figure 3-24 : schéma de ferrailage de la semelle



b) Calcul des quantités de matériaux requises

Béton : volume du coffrage = périmètre * la section

$$= [(6 \cdot 3 + 7.7 \cdot 3) (0.4 \cdot 0.175)] = 2.88 \text{ m}^3$$

Armature : barres de 10 = $41.1 \cdot 0.5 = 20.6$ m soit 2 barres de 12 m

3-2-1-4) Enduit et Mortier de liaison des briques

a) Enduit:

L'enduit des briques de géobéton n'est pas une option systématique. Cette dernière dépend essentiellement des conditions d'averse et de l'aspect esthétique voulu. Dans le cas où les briques sont hautement compressées (utilisation des terra-block Duplex par exemple) et stabilisées, un simple vernissage

CHAPITRE 3 : ETUDE DE VARIANTES DE STRUCTURES POUR LA CONSTRUCTION D'UN LOGEMENT DE TYPE ECONOMIQUE

offre un aspect très esthétique au mur.

b) Mortier de liaison des briques

La quantité de mortier de pose est selon le document technique de la SENAC de 19 litres au mètre carré de pose.

Pour une surface de 131.1 m² un volume de 2.5 m³.

Ce mortier peut avoir la composition suivante:

2 volumes de sables de mer;

1 volume de sables latéritiques;

2/3 volume de ciment.

3-2-2) Cas où la toiture est en charpente de bois

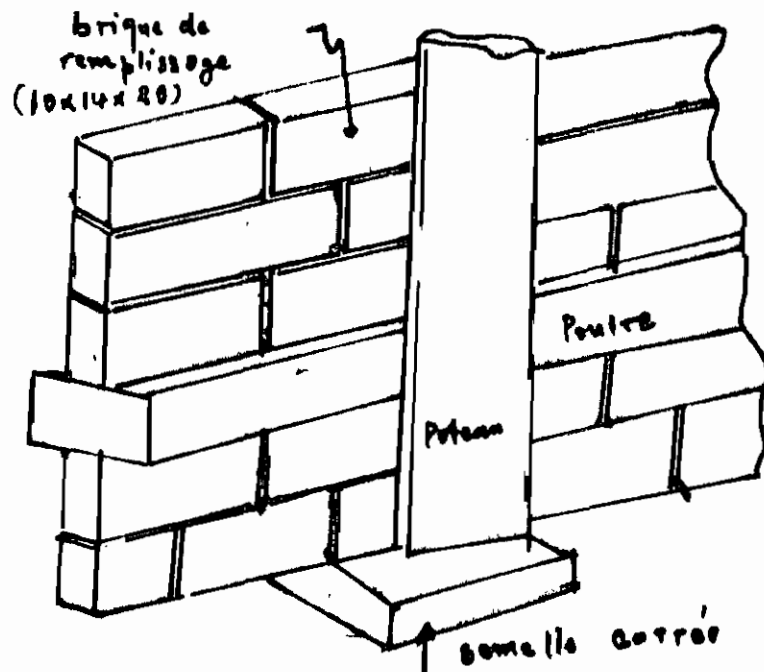
Le dimensionnement du gros oeuvre dans ce cas est identique au cas de la toiture en voûte. Nous reconduisons donc les mêmes quantités de matériaux.

3-3) ELEVATION EN MACONNERIE MIXTE

La maçonnerie mixte consiste à remplir l'ossature en béton armé par des briques de géobéton posées sur le chant. La configuration pratique est montrée à la figure 3-25 ci dessous.

CHAPITRE 3 : ETUDE DE VARIANTES DE STRUCTURES POUR LA CONSTRUCTION D'UN LOGEMENT DE TYPE ECONOMIQUE

Figure 3-25 : schéma de la façade de l'élévation mixte



Les dimensions de l'ossature sont identiques à celle du béton armé effectué dans la partie 3-1). Quant au nombre de brique pour le remplissage il est égal à (22 briques au mètre carré de couverture) soit $22 \times 131.1 = 2882$ briques

Le mortier de pose est estimé à 9.5 litres par mètre carré de pose. Le volume total est donc égal à

$$V = 0.0095 \times 131.1 = 1.245 \text{ m}^3.$$

CHAPITRE 3 : ETUDE DE VARIANTES DE STRUCTURES POUR LA CONSTRUCTION D'UN LOGEMENT DE TYPE ECONOMIQUE

3-4) CONCLUSION

Somme toute, les calculs structuraux effectués ont permis de prouver la résistance et la sécurité qu'on peut espérer sur les structures conçues. Faute d'avoir des règles normalisées pour le calcul des structures en terre nous avons parfois utilisé celles applicables aux parpaings de mortier. Les quantités de mortiers ainsi obtenues permettront de calculer le coût relatif de chaque solution à travers le chapitre 4 .

CHAPITRE 4

ETUDE ECONOMIQUE COMPAREE DES VARIANTES DE LOGEMENTS CONCUS

Introduction

Les études techniques effectuées dans le chapitre précédent prouvent que les structures étudiées tiennent du point de vue résistance et stabilité à condition que les spécifications techniques qui s'y rattachent soient respectées. Le présent chapitre complète cette phase technique par une étude économique du projet. Ainsi, à partir des quantités de matériaux déterminées préalablement que nous récapitulons dans des tableaux à deux entrées (partie d'oeuvre-matériaux consommés) nous calculerons les coûts des bâtiments A et B .

1) RECAPITULATION DES QUANTITES DE MATERIAUX REQUISES

Les matériaux utilisés sont décomposés dans ces tableaux en éléments simples tels qu'on peut s'en procurer facilement compte tenu des prix d'unité que nous possédons. Ainsi le béton sera décomposé en ciment, sable, gravillon et eau, l'armature en barres de 12 mètres, le bois en volumes.

CHAPITRE 4 : ETUDE ECONOMIQUE COMPAREE DES VARIANTES DE LOGEMENTS CONCUS

1-1) Exemple de calcul des quantités de matériaux élémentaires dans le béton

Supposons un béton de classe A(voir annexe 2) dosé à 350kg/m^3 ; le rapport Eau/ciment égal à 0.6 et la fraction granulométrique égale à 3.

La quantité de ciment dans 1 m^3 de béton est 350 kg avec un densité de 1.162 (reference [3]) soit en volume $350/1162=0.301\text{ m}^3$. Le volume d'eau requis est : $0.301*0.6=0.181\text{ m}^3$;

la quantité de granulats est donc : $1-(0.301+0.181)=0.519\text{ m}^3$

Si l'on utilise 1 volume de sable pour 3 volume de gravillon, on peut récapituler les quantités de matériaux composant le mètre cube de béton :

ciment	: 350 Kg
Eau	: 0.181 m^3
Sable	: 0.130 m^3
Gravillon	: 0.389 m^3

Remarquons que ces quantités calculées sont celles requises qui ne tiennent pas compte des pertes. Par exemple l'eau est par excellence le matériau qui engendre le plus de perte; c'est pourquoi en calculant les coûts des matériaux nous allons majorer la quantité de l'eau jusqu'à 100%.

1-2) TABLEAUX RECAPITULATIFS DES QUANTITES DE MATERIAUX REQUISES

Solution 1 : toiture en voûte sur la maçonnerie porteur de géobéton

Tableau 4-1 : Quantités requises pour le bâtiment A

ELEMENT----->	Toiture	Maçonnerie	Dallage	Fondation	Chainage	Total
MATERIAUX						
ciment(en Kg)	930	523	1160	1008	387	4008
sable de mer(en m3)	1.44	1.36	2.153	0.18	0.141	5.274
sable latéritique(m3)	0.381	0.68	6.33	0	0	7.391
gros granulats(m3)	0	0	1.58	0.56	0.423	2.563
briques LATEROCC	3622	4589	0	0	0	8211
EAU(m3)	0.6	0.34	0.748	0.52	0.198	2.406
*Barres de 10	0	0	0	2	11	13
*Barres de 8	0	0	0	0	10	10

* nombre de barres de 12 m

Tableau 4-2 : Quantités requises pour le bâtiment B

ELEMENT----->	Toiture	Maçonnerie	Dallage	Fondation	Chainage	Total
MATERIAUX						
ciment(en Kg)	651	535	727	549.5	460	2922.5
sable de mer(en m3)	1.02	1.39	1.42	0.203	0.17	4.203
sable latéritique(m3)	0.273	0.69	4	0	0	4.963
gros granulats(m3)	0	0	1	0.609	0.511	2.12
briques LATEROCC	2588	4690	0	0	0	7278
EAU(m3)	0.42	0.345	0.468	0.284	0.238	1.755
*Barres de 10	0	0	0	1	12	13
*Barres de 8	0	0	0	0	11	11

* nombre de barres de 12 m

Solution 2 : toiture en charpente de bois sur la maçonnerie porteur de géobéton

Tableau 4-3 : Quantités requises pour le bâtiment A

ELEMENT----->	Toiture	Maçonnerie	Dallage	Fondation	Chainage	Total
MATERIAUX						
ciment(en Kg)	0	523	1160	1008	387	3078
sable de mer(en m3)	0	1.36	2.153	0.18	0.141	3.834
sable latéritique(m3)	0	0.68	6.33	0	0	7.01
gros granulat(m3)	0	0	1.58	0.56	0.423	2.563
briques LATEROC	0	4589	0	0	0	4589
EAU(m3)	0	0.34	0.748	0.52	0.198	1.806
*Barres de 10	0	0	0	2	11	13
*Barres de 8	0	0	0	0	10	10
Bois(m3)	1.668	0	0	0	0	1.668
**Fibrociment	72	0	0	0	0	72
**faux plafond	46	0	0	0	0	46
clous(kg)	10	0	0	0	0	10

* nombres de barres de 12 m

** en m² couverte

Tableau 4-4 : Quantités requises pour le bâtiment B

ELEMENT----->	Toiture	Maçonnerie	Dallage	Fondation	Chainage	Total
MATERIAUX						
ciment(en Kg)	0	535	727	449.5	460	2171.5
sable de mer(en m3)	0	1.39	1.42	0.203	0.17	3.183
sable latéritique(m3)	0	0.69	4	0	0	4.69
gros granulat(m3)	0	0	1	0.609	0.511	2.12
briques LATEROC	0	4690	0	0	0	4690
EAU(m3)	0	0.345	0.468	0.284	0.238	1.335
*Barres de 10	0	0	0	1	12	13
*Barres de 8	0	0	0	0	11	11
Bois(m3)	0.571	0	0	0	0	0.571
**Fibrociment	54	0	0	0	0	54
**faux plafond	31.2	0	0	0	0	31.2
clous(kg)	10	0	0	0	0	10

* nombres de barres de 12 m

** en m² couverte

Solution 3 : toiture en charpente de bois sur la maçonnerie en agglos classique

Tableau 4-5 : Quantités requises pour le bâtiment A

ELEMENT----->	Toiture	Maçonnerie	Dallage	Poutres	Poteaux	Fondation	Linteaux	TOTAL
MATERIAUX								
ciment(en Kg)	0	933	1160	2014	255	139	112	4613
sable de mer(en m3)	0	1.26	2.153	0.745	0.094	0.051	0.0414	4.3444
sable latéritique(m3)	0	0	6.33	0	0	0	0	6.33
gros granulat(m3)	0	0	1.58	2.236	0.283	0.154	0.124	4.377
briques creux	0	1154	0	0	0	0	0	1154
briques pleins	0	363	0	0	0	0	0	363
EAU(m3)	0	0.602	0.748	1.04	0.132	0.071	0.06	2.653
*Barres de 10	0	0	0	38	12	3	3	56
*Barres de 8	0	0	0	22	14	0	0	36
Bois(m3)	1.668	0	0	0	0	0	0	1.668
**Fibrociment	72	0	0	0	0	0	0	72
**faux plafond	46	0	0	0	0	0	0	46
clous(kg)	10	0	0	0	0	0	0	10

* nombres de barres de 12 m

** en m² couverte

Tableau 4-6 : Quantités requises pour le bâtiment B

ELEMENT----->	Toiture	Maçonnerie	Dallage	Poutres	Poteaux	Fondation	Linteaux	TOTAL
MATERIAUX								
ciment(en Kg)	0	952	727	2195.2	227	123	112	4336.2
sable de mer(en m3)	0	1.29	1.42	0.812	0.084	0.045	0.0414	3.6924
sable latéritique(m3)	0	0	4	0	0	0	0	4
gros granulat(m3)	0	0	1	2.436	0.252	0.136	0.124	3.948
briques creux	0	1192	0	0	0	0	0	1192
briques pleins	0	318	0	0	0	0	0	318
EAU(m3)	0	0.614	0.469	1.134	0.117	0.063	0.06	2.457
*Barres de 10	0	0	0	32	12	3	3	50
*Barres de 8	0	0	0	20	12	0	0	32
Bois(m3)	0.571	0	0	0	0	0	0	0.571
**Fibrociment	54	0	0	0	0	0	0	54
**faux plafond	31.2	0	0	0	0	0	0	31.2
clous(kg)	10	0	0	0	0	0	0	10

* nombres de barres de 12 m

** en m² couverte

Solution 4 : toiture en charpente de bois sur la maçonnerie mixte

Tableau 4-7 : Quantités requises pour le bâtiment A

ELEMENT----->	Toiture	Maçonnerie	Dallage	Poutres	Poteaux	Fondation	Linteaux	TOTAL
MATERIAUX								
ciment(en Kg)	0	79.1	1160	2014	255	139	112	3759.1
sable de mer(en m3)	0	0.34	2.153	0.745	0.094	0.051	0.414	3.797
sable latéritique(m3)	0	0.34	6.33	0	0	0	0	6.67
gros granulats(m3)	0	0	1.53	2.236	0.283	0.154	0.124	4.327
briques LATEROCC	0	2882	0	0	0	0	0	2882
EAU(m3)	0	0.169	0.748	1.04	0.132	0.071	0.06	2.22
*Barres de 10	0	0	0	38	12	3	3	56
Barres de 8	0	0	0	22	14	0	0	36
Bois(m3)	1,668	0	0	0	0	0	0	1,668
**Fibrociment	72	0	0	0	0	0	0	72
**faux plafond	46	0	0	0	0	0	0	46
clous(kg)	10	0	0	0	0	0	0	10

* nombres de barres de 12 m

** en m² couverte

Tableau 4-8 : Quantités requises pour le bâtiment B

ELEMENT----->	Toiture	Maçonnerie	Dallage	Poutres	Poteaux	Fondation	Linteaux	TOTAL
MATERIAUX								
ciment(en Kg)	0	72.8	727	2196	227	123	112	3457.8
sable de mer(en m3)	0	0.625	1.42	0.812	0.084	0.045	0.0414	3.0274
sable latéritique(m3)	0	0.312	4	0	0	0	0	4.312
gros granulats(m3)	0	0	1	2.436	0.252	0.136	0.124	3.948
briques LATEROCC	0	2656	0	0	0	0	0	2656
EAU(m3)	0	0.156	0.468	1.134	0.117	0.063	0.06	1.998
*Barres de 10	0	0	0	32	12	3	3	50
Barres de 8	0	0	0	20	12	0	0	32
Bois(m3)	0.571	0	0	0	0	0	0	0.571
**Fibrociment	54	0	0	0	0	0	0	54
**faux plafond	31.2	0	0	0	0	0	0	31.2
clous(kg)	10	0	0	0	0	0	0	10

* nombres de barres de 12 m

** en m² couverte

Solution 5 : toiture en voûte sur de la maçonnerie mixte

Tableau 4-9 : Quantités requises pour le bâtiment A

ELEMENT----->	Toiture	Maçonnerie	Dallage	Poutres	Poteaux	Fondation	Linteaux	TOTAL
MATERIAUX								
ciment(en Kg)	930	79.1	1160	2014	255	139	112	4689.1
sable de mer(en m3)	1.44	0.68	2.153	0.745	0.094	0.051	0.414	5.577
sable latéritique(m3)	0.381	0.34	6.33	0	0	0	0	7.051
gros granulat(m3)	0	0	1.53	2.236	0.283	0.154	0.124	4.327
briques LATERO C	3622	2882	0	0	0	0	0	6504
EAU(m3)	0.6	0.169	0.748	1.04	0.132	0.071	0.06	2.82
*Barres de 10	0	0	0	38	12	3	3	56
*Barres de 8	0	0	0	22	14	0	0	36

* nombre de barres de 12 m

Tableau 4-10 : Quantités requises pour le bâtiment B

ELEMENT----->	Toiture	Maçonnerie	Dallage	Poutres	Poteaux	Fondation	Linteaux	TOTAL
MATERIAUX								
ciment(en Kg)	651	72.8	727	2196	227	123	112	4108.8
sable de mer(en m3)	1.02	0.625	1.42	0.812	0.084	0.045	0.0414	4.0474
sable latéritique(m3)	0.273	0.312	4	0	0	0	0	4.585
gros granulat(m3)	0	0	1	2.436	0.252	0.136	0.124	3.948
briques LATERO C	2588	2656	0	0	0	0	0	5244
EAU(m3)	0.42	0.156	0.468	1.134	0.117	0.063	0.06	2.418
*Barres de 10	0	0	0	32	12	3	3	50
*Barres de 8	0	0	0	20	12	0	0	32

* nombre de barres de 12 m

CHAPITRE 4 : ETUDE ECONOMIQUE COMPAREE DES VARIANTES DE LOGEMENTS CONCUS

2) COUT DES BATIMENTS

Les coûts des deux bâtiments présentés dans les tableaux ci dessous ne tiennent pas compte des travaux de second oeuvre comme la menuiserie, l'électricité, la plomberie et sanitaire, le badigeonnage et la peinture, ainsi que la clôture. En effet les coûts de ces travaux ont été supposés égaux par ailleurs. Les coûts indirects tels l'amortissement, les frais généraux sont aussi exclus de la base de comparaison.

Tableau 4-13 : solution 3 : toiture en charpente de bois sur la maçonnerie en agglos classique

DESIGNATIONS	QUANTITES	PRIX UNITAIRE FCFA	PRIX TOTAL FCFA
ciment(sac de 50kg)	179	1760	315040
sable de mer(m3)	9	2125	19125
sable latéritique(m3)	10	1440	14400
EAU(m3)	10	200	2000
gros granulats(m3)	9	11250	101250
Agglos pleins	681	130	88530
Agglos creux	2346	115	269790
Barres de 10	106	1500	159000
Barres de 8	68	1000	68000
fil de fer(kg)	4	700	2800
Bois(m3)	2.268	120000	272160
Fibrociment(m ²)	126	2432	306432
Faux plafond(m ²)	77.2	750	57900
clous	20	600	12000
Total partiel			1688427
Main d'oeuvre(30%)			506528.1
TOTAL			2194955.

Tableau 4-14 : solution 4 : toiture en charpente de bois sur la maçonnerie mixte

DESIGNATIONS	QUANTITES	PRIX UNITAIRE FCFA	PRIX TOTAL FCFA
ciment(sac de 50kg)	145	1760	255200
sable de mer(m3)	7	2125	14875
sable latéritique(m3)	11	1440	15840
EAU(m3)	8	200	1600
gros granulats(m3)	11	11250	123750
Brique LATEROCC	5538	45	249210
Barres de 10	106	1500	159000
Barres de 8	68	1000	68000
fil de fer(kg)	4	700	2800
Bois(m3)	2.268	120000	272160
Fibrociment(m ²)	126	2432	306432
Faux plafond(m ²)	77.2	750	57900
clous	20	600	12000
Total partiel			1538767
Main d'oeuvre(30%)			461630.1
TOTAL			2000397.

Tableau 4-15 : solution 5 : toiture en voûte sur la maçonnerie mixte

DESIGNATIONS	QUANTITES	PRIX UNITAIRE FCFA	PRIX TOTAL FCFA
ciment(sac de 50kg)	176	1760	309760
sable de mer(m3)	10	2125	21250
sable latéritique(m3)	12	1440	17280
EAU(m3)	10	200	2000
gros granulat(m3)	9	11250	101250
Brique LATEROCC	11748	45	528660
Barres de 10	106	1500	159000
Barres de 8	46	1000	46000
fil de fer(kg)	4	700	2800
Total partiel			1188000
Main d'oeuvre(30%)			356400
TOTAL			1544400

**CHAPITRE 4 : ETUDE ECONOMIQUE COMPAREE DES VARIANTES DE LOGEMENTS
CONCUS**

2-2) Calcul des pourcentages d'économies réalisés

La base de comparaison est la solution 3 qui est constitué par la toiture en charpente de bois couverte par du fibrociment sur de la maçonnerie de remplissage dans une ossature en béton armé. Cette forme de construction est en effet celle qui est généralement exigée dans les dossiers d'appel d'offre et par les consommateurs. L'acceptation du "matériau terre" ou de géobéton à quelque partie de la construction permet de réaliser des économies variables suivant le taux de terre utilisé. L'étude des cinq variantes (solutions) proposées a permis de montrer dans le tableau ci dessous les économies réalisables.

Tableau 4-16 : économies réalisables

VARIANTES DE CONSTRUCTION	ECONOMIES REALISABLES	
	en valeurs	en %
toiture en voûte sur maçonnerie porteur de géobéton	761023	34.67
toiture en charpente de bois sur maçonnerie porteur en géobéton	369265	16.82
toiture en charpente de bois sur maçonnerie mixte	194558	8.86
toiture en voûte sur la maçonnerie mixte	650555	29.63

Les valeurs sont en FCFA. Comme on le voit à partir des chiffres plus la quantité de géobéton requise croit et plus la le pourcentage d'économies réalisable croit avec.

CHAPITRE 5

ANALYSES ET COMMENTAIRES

Introduction

Après avoir présenté les résultats bruts des études effectuées, nous allons à présent analyser les avantages et inconvénients qu'offrent chaque solutions sur les plans résistance, confort, coût. Nous passerons en revue d'abord les théories sur les critères de comparaison avant de présenter un tableau dans lequel seront résumés les degrés de satisfaction de ces critères.

1-GENERALITES

L'organisme de tout individu est constitué de manière telle qu'il puisse affronter les agents climatiques exceptionnels: grands vents, plein soleil, température élevée ou basse; le bruit. Le consommateur n'acceptera donc le produit que s'il offre la sécurité nécessaire et l'assurance qu'il y ait un compromis entre la trilogie résistance-confort-coût.

1-1) Résistance

La résistance d'un édifice est surtout mesurée par sa durabilité qui est elle même fonction de la stabilité d'ensemble et de la résistance des matériaux le constituant. La résistance et la stabilité d'ensemble de l'édifice sont assurées par un calcul aux états limites adéquat tel qu'il est montrés dans le chapitre trois. Quant à la résistance des matériaux élémentaires,

CHAPITRE 5 : ANALYSES ET COMMENTAIRES

elle est déterminée et vérifiée par l'exécution des essais normalisés. Ces essais peuvent être : la résistance aux compressions, l'absorption par capillarité, la résistance à l'érosion, la résistance aux cycles de mouillage et séchage etc...

1-2) Confort

La construction doit protéger ses habitants des contraintes physiques que leur impose l'environnement. Les principaux facteurs d'inconfort dans les habitations sont:

- _la chaleur et le rayonnement solaire;
- l'humidité de l'air en saison pluvieuse ;
- _les vents avec pluies battantes en saison humide;
- _les vents de sable.

Pour assurer le confort des habitations, il s'agira donc de vérifier suivant les normes si les exigences sont respectées quant aux critères suivant:

- _la protection thermique dans le bâtiment;
- _la protection acoustique des bâtiments;
- _la protection contre les vibrations et les chocs;
- la protection contre les affaissements miniers;
- _la protection contre les influences chimiques et biologiques;
- _la protection contre l'incendie et le feu;
- _la protection contre la foudre.

CHAPITRE 5 : ANALYSES ET COMMENTAIRES

Les considérations théoriques sur ces paramètres sont présentées en annexe 3.

1-3) coût

Comme nous l'avons montré à partir du tableau 4-16 le coût de construction dépend essentiellement du coût des matériaux élémentaires. On peut remarquer notamment que plus la quantité de ciment et de l'acier est élevée pour une solution donnée, et plus le coût de cette dernière est élevé.

2) Comparaison des degrés de satisfaction

Tableau 5-1 : comparaison des degrés de satisfaction

	solution 1	solution 2	solution 3	solution 4	solution 5
résis- tance des ma- tériaux	Assez bonne si precau- tion	assez bonne si précau- tion "	très resis- tant	resis- tant	resis- tant

CHAPITRE 5 : ANALYSES ET COMMENTAIRES

résis- tance et stabi- lité d'ensem- ble	stable et assez bonne durabi- lité	stable et assez bonne durabi- lité	stable et dura- ble	stable et dura- ble	stable et dura- ble
résis- tance à la per- meabi- lité thermi- que	$(1/K)_{\text{toit}}$ =0.55 (bonne) $(1/K)_{\text{maç}}$ = 0.66 (bonne)	$(1/K)_{\text{toit}}$ =0.64 (bonne) $(1/K)_{\text{maç}}$ = 0.66 (bonne)	$(1/K)_{\text{toit}}$ =0.64 (bonne) $(1/K)_{\text{maç}}$ = 0.72 (bonne)	$(1/K)_{\text{toit}}$ =0.64 (bonne) $(1/K)_{\text{maç}}$ = 0.53 (assez bonne)	$(1/K)_{\text{toit}}$ =0.55 (bonne) $(1/K)_{\text{maç}}$ = 0.53 (assez bonne)
protec- tion contre l'humi- dité	BONNE	BONNE	BONNE	BONNE	BONNE

CHAPITRE 5 : ANALYSES ET COMMENTAIRES

protec- tion accous- tique	ASSEZ BONNE	ASSEZ BONNE	ASSEZ BONNE	ASSEZ BONNE	ASSEZ BONNE
protec- tion contre les in- fluences chimi- ques et biologi- ques	BONNE	BONNE	BONNE	BONNE	BONNE
protec- tion contre le feu et les incen- dies	TRES BONNE	BONNE	BONNE	BONNE	TRES BONNE

CHAPITRE 5 : ANALYSES ET COMMENTAIRES

côut du	1433932-	1825690	2194955	2000397	1544400
bâtiment	FCFA	FCFA	FCFA	FCFA	FCFA

3) Discussion

3-1) Type toiture en charpente de bois

Les facteurs qui influencent les formes de la maison sont, selon la reference [14] : le climat et le besoin d'un abri, les matériaux et les techniques, le site, et les aspects sociaux: économiques militaires et religieux. C'est dire que chaque civilisation exprime à travers les formes qu'elle donne à son logement, les caractéristiques socio culturelles de son milieu. C'est pour répondre à cette préoccupation que nous avons envisagé d'étudier cette forme qui présente en outre la double avantage de protection de la maçonnerie de l'absorption capillaire et d'être connue et acceptée par tout consommateur.

Elle est conçu successivement sur la maçonnerie en béton armé rempli par des agglomérés (solution 3) et sur des élévations en mur porteur de géobéton (solution 2) et maçonnerie mixte. Ces deux dernières solutions permettent de réaliser respectivement 17% et 9% d'économie.

Si la solution 4 est généralement admise, même par une clientèle profane, la nécessité d'offrir des logements à moindre coûts, exige l'examen de la solution 2 et l'étude de l'ensemble

des politiques à mener en vue de son acceptation.

3-2) Type toiture en voûte sur maçonnerie en géobéton

La forme voûtée est largement connue de nos jours à cause de l'avantage qu'elle offre à minimiser l'occurrence de la flexion et de la traction. Elle a donc incité à l'utilisation des matériaux ayant une faible résistance en traction. Très connue dans les pays sahéliens, elle est cependant moins utilisée dans les logements .

Ce type de technologie permet de réaliser le plus fort pourcentage d'économie(voir tableau 4-16: 35% environ). Il est surtout adapté aux régions à faible pluviosité à cause des dommages susceptible de subvenir dans le béton; dommage dont la principale composante est la fissure.

Les causes d'apparition la fissure ne sont jamais connues avec exactitude surtout si l'ouvrage en question n'a pas été suivi dans son évolution. Toutefois les observations faites sur les fissures macroscopiques d'ouvrages existants amènent à penser que la majorité des fissures apparaissent aux points tels que les joints et les angles des murs et qu'elles sont dues généralement:

- aux cycles de gonflement et de retrait: Ils sont dû à la présence de certaines particules argileuses telles que la montmorillonite, la vermiculite et l'illite dans la terre. En effet ces particules ont la capacité de retenir de l'eau pour une

période très longue et la restituer pendant des temps de fortes chaleur. Les variations dimensionnelles qui en résulte sont la cause principale des fissures.

- aux tassements différentiels: moins important à cause de la petitesse des bâtiments de type économique, ils peuvent cependant être la cause des fissures macroscopiques dans la structure par l'effet d'induction des sollicitations additionnelles.

Le souci de commercialisation de ce type de bâtiment exige que le concepteur s'attarde sur ces désordres. Plusieurs solutions sont dès lors envisageables:

- enduire complètement les murs afin d'éviter l'occurrence de macrofissures;

- assurer la liaison des briques avec un mortier composé de sable et du ciment pour contrer la faible résistance en cisaillement des mortiers de joint;

- réaliser les linteaux en béton armé ou avec des cornières en acier pour pallier à la genèse de fissures à partir de l'encadrement des ouvertures ;

- réaliser l'ossature complète en béton armé et le remplissage en géobéton pour résoudre le problème de chaînage vertical et horizontal; un agencement adéquat des briques aux angles peut aider à résoudre ce problème.

- assurer un dimensionnement adéquat de la fondation.

Le principal problème rencontré par cette forme de construction est son acceptation par les consommateurs. Pour faire face

à ce problème, il est impérieux de procéder ultérieurement à une campagne d'enquête pour pouvoir asseoir une politique de marketing cohérente. Les informations à collecter à travers un questionnaire élaborée dans la référence [14] permettront de savoir:

- A quel degré la population est au courant de l'existence du matériau géobéton;
- les différents points de vue que la population a sur les logements en géobéton;
- le degré de motivation de la population sur l'obtention d'un logement en géobéton;
- le statut social(dévalorisant ou non) du géobéton;
- le degré d'importance accordé aux aspects architectural et fonctionnel d'un logement en géobéton;
- comment décider sur les programmes cohérents de logements en géobéton avec le concours des autorités politiques.

Conclusion

Somme toute les cinq solutions examinées dans ce projet, sans être exhaustive permettent de répondre aux inquiétudes des uns et des autres quant à la valorisation de la construction en géobéton. Elles donnent un choix aussi large que possible aux promoteurs d'une part et aux consommateurs d'autre part.

CHAPITRE 6

CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

L'objectif de loger le plus de population aujourd'hui dans les villes de pays en développement ne peut être atteinte sans une revalorisation des matériaux locaux de construction. En effet l'utilisation desdits matériaux permet de réduire les coûts de construction. Ainsi les études techniques et économiques que nous avons effectué à travers ce projet ont permis de montrer à partir des chiffres les économies en pourcentage qu'il est possible de réaliser lorsqu'on choisit d'exploiter ces matériaux dans un projet donné. Elles varient de 9% à 35% selon la quantité incluse. Les études ont notamment prouvé, grâce à une maîtrise poussée des technologies de géobéton, que le choix d'une habitation économique construite en géobéton, aujourd'hui peut s'operer librement et sans inquiétude aucune d'autant qu'elle offre non seulement, à confort égal avec la construction classique, une accessibilité hautement avantageuse par rapport à cette dernière.

Au début de ce projet nous avons rappelé les types de matériaux locaux qu'on peut rencontrer très fréquemment et les utilisations qu'on peut en faire.

Enfin ce projet qui se veut un outil de promotion d'habitat social ne peut être complet que si l'on joigne aux

CHAPITRE 6 : CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

volets technique et économique une étude ultérieure de marketing qui présente de façon concrète le degré d'information et le comportement des population face aux produits construits en matériaux locaux.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

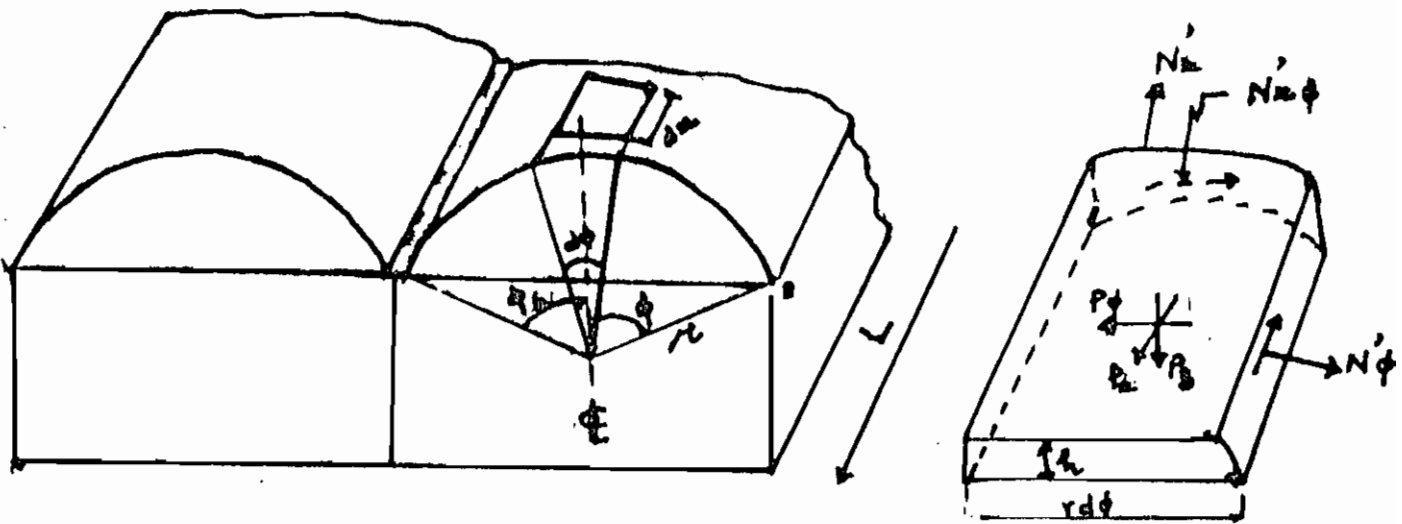
- [1] - A. THIAM et A. NGOM, 1984; Réhabilitation des constructions en terre : Mémoire de fin d'étude ENSUT UCAD SENEGAL.
- [2] - S. DIAW, N. EVORA et NDIAYE, 1987; Géobéton et construction en terre II: architecture et techniques de mise en oeuvre: PFE de EPT UCAD SENEGAL.
- [3] - S. SOGBOSSI, 1992; Conception de quelques utilisations de structures en géobéton: PFE de EPT UCAD, SENEGAL.
- [4] - Principes directeurs pour l'emploi de la terre crue: BIT.
- [5] - Règle Charpente en Bois 71 (CB71) DTU, EYROLLE.
- [6] - Code National du Bâtiment du CANADA 1985 CNRC, 1986.
- [7] - TOITURE EN PAYS TROPICAL ARIDES, 1985, G.R.E.T..
- [8] - Timber design manual Laminated Timber Institute of CANADA, Metric Edition.
- [9] - ANDRE COIN, 1983; Ossature des bâtiments, EYROLLE, Paris.
- [10] - A. RAPOPORT, 1969; Pour une anthropologie de la maison: collection Aspects de l'Urbanisme, DUNOD.
- [11] - BILLINGTON; Thin Shell concrete structure.
- [12] - MITTAG, 1987; Pratique de la construction des bâtiments: EYROLLE.
- [13] - Y. GASC et R. DELPORTE; Les charpentes en bois.
- [14] - NDIAYE DIOUF NDIAYE, janvier 1991; Recherche commerciale pour la promotion du géobéton comme matériaux de...

ANNEXES

ANNEXE 1

Les équations générales donnant les contraintes dans un élément de voûte.

Schéma



Ces équations sont données dans la référence [8] :

ANNEXES

$$N'\phi = -pzr$$

$$N'x\phi = -\frac{1}{r} \int (\partial N'\phi / \partial \phi) - \int p\phi dx + f1(\phi)$$

$$N'x = -\frac{1}{r} \int (\partial N'x\phi / \partial \phi) dx - \int p\phi dx + \int f2(\phi)$$

Les contraintes dues aux charges verticales sont:

soit pd cette charge verticale on a alors sa décomposition suivant les directions (x, p, z)

$$pz = pd \cos(\alpha_k - \alpha)$$

$$pp = -pd \sin(\alpha_k - \alpha)$$

$$px = 0$$

N'_p est obtenu directement des équations générales précédentes

$$N'_p = -pd r \cos(\alpha_k - \alpha)$$

En substituant son expression dans celle de $N'x_p$ on obtient

$$N'x\phi = \frac{1}{r} \int \partial [pdrcos(\alpha_k - \alpha)] / \partial \phi + \int pdsin(\alpha_k - \alpha) dx + f1(\phi)$$

Les conditions aux limites sont telles que $N'x_p = 0$ quand $x = L/2$

(poutre simplement appuyée)

d'où $f1(p) = -pd \sin(\alpha_k - \alpha) * L$

$$N'x_p = -pdL(1 - 2x/L) \sin(\alpha_k - \alpha)$$

En substituant cette équation dans la dernière équation

ANNEXES

générale avec la condition aux limites suivantes $N'_x=0$ quand $x=L$

on a

$$f_2(p)=0$$

$$N'_x = -pd (L/r) x (1-x/L) \cos(p_k - p)$$

ANNEXE 2

Classes de bétons utilisées

	A	B	C
Dosage en ciment (kg/m^3)	350	250	150
Nombre de fraction du granulat	3	2	2
Dosage en eau Eau ciment	0.6	0.75	0.75
Domaine d'utilisation	béton pour béton armé	béton de masse	béton de propreté

ANNEXES

ANNEXE 3

Protection thermique dans le bâtiment

Elle depend de la résistance à la perméabilité thermique $1/K$ des éléments constituant la paroi et le plafond, de la perméabilité à l'air, de ses éléments et du pouvoir d'emmagasinement de la chaleur.

$$1/K = 1/h_e + 1/h_i + \sum_j (e_j/h_j)$$

où

K est le coefficient thermique de la paroi en W/m^2 et $^{\circ}C$

$R=1/K$: résistance thermique de la paroi

$1/h_i=0.11$; $1/h_e=0.06$ en $m^2^{\circ}C/W$

e_j : épaisseur du matériau j

h_j : coefficient de conductibilité thermique du matériau j

Le DTU exige une valeur minimale de $0.65 m^2h^{\circ}C/Kcal$ pour les murs et; cette valeur étant celle maximale pour les toitures.

Protection contre l'humidité

L'humidité relative(= rapport exprimé en % de la teneur existante en vapeur d'eau pour une température donnée et de la

ANNEXES

teneur maximum de vapeur d'eau possible pour cette même température) de l'air augmente avec le refroidissement de celui-ci. Quand par refroidissement, on atteint le point de rosé, l'humidité relative est de 100% c'est à dire que la vapeur se précipitera pour un refroidissement plus prononcé (= condensation).

La rosé peut sensiblement réduire la résistance à la perméabilité thermique des éléments de constructions et de plus occasionner des dégâts au bâtiment.

Protection acoustique des bâtiments

Le son est produit par des vibrations mécaniques. D'après le nombre de vibrations par seconde, on distingue l'infrason, le son audible et l'ultrason. Plusieurs expériences s'effectuent dans les laboratoires pour déterminer la fréquence du son afin de choisir les matériaux adéquats pour prévenir le bruit dans le bâtiment. nous décrirons ici une manière type de calcul de l'intensité du son.

Si on se place à une fréquence déterminée et si on s'intéresse à la paroi de séparation entre le local émission et le local réception (ceci revient à négliger pour l'instant les transmissions latérales), on peut faire un bilan énergétique dans le local réception. Si on appelle (I_e) l'intensité émise frappant la paroi S , l'énergie reçue par cette paroi a pour valeur $W=I_e S$
Cette énergie se partage en trois :

l'énergie transmise $W_t = \tau * W$

ANNEXES

absorbée par la paroi $W_a = \alpha * W$

réfléchi par la paroi $W_r = r * W$

Comme $\alpha + r \gg \tau$, on constate que si on change la nature du revêtement d'une paroi du côté émission, τ ne change pas donc l'énergie transmise n'est pas affectée.

La référence [10] définit l'indice d'affaiblissement d'une paroi R par:

$R = 10 \log(1/\tau)$ et l'isolement brut entre deux locaux par :

$D_b = R + 10 \log(A/S)$ où A est l'aire d'absorption équivalente d'une paroi idéalement absorbante ($\alpha=1$) et S aire de la paroi.

La valeur de l'isolement obtenu dépend de l'air d'absorption équivalente du local receveur, donc en particulier de son occupation, de son mobilier et de ses revêtements. Afin que tout soit comparable, les textes réglementaires définissent l'isolement normalisé comme l'isolement brut du local receveur occupé normalement c'est-à-dire caractérisé par une durée de réverbération (T_r , temps pour que la décroissance du niveau d'intensité soit de 60 décibels) de 0.5 seconde. Il égal à

$D_n = R + 10 \log(0.32V/S) = D_b + 10 \log(T_r/0.5\text{sec.})$ où T_r est donné par la relation de SABINE $T_{r(\text{sec.})} = 0.16 V/A$ où V est le volume du local.

R varie en fonction de la fréquence et de l'épaisseur de la paroi. Il permet de classifier les matériaux en fonction de leur perméabilité et aux chocs vibratoires un D_n de 70 db(A).

ANNEXES

Protection contre le feu et les incendies

Les règles de sécurité affèrent à l'organisation de la circulation et aux matériaux.

Ces règles imposent le découpage de l'immeuble en compartiment de surface inférieur à 2500 m² et de longueur à 75 mètres. Les règles applicables aux matériaux et aux structures sont basées sur le respect de certains critères mesurés au cours d'essais effectués au laboratoires agréés: la réaction au feu et la résistance au feu.