

# Vers une meilleure utilisation des ressources locales en construction

Centre de formation agricole à Nianing

1978



REGIONAL OFFICE FOR EDUCATION IN AFRICA  
BUREAU RÉGIONAL POUR L'ÉDUCATION EN AFRIQUE  
B P. 3311 - DAKAR, Rép. du Sénégal

## ANNEXES

- I. Prix de l'équipement d'un maçon
- II. Essais de compression sur cubes à faible dosage
- III. Données climatiques
- IV. Calcul de l'inertie thermique
- V. Angles solaires
- VI. Calcul de la voûte : Type IV
- VII. Calcul de l'arche
- VIII. Système de blocs modulaires
- IX. Distance entre contreforts
- X. Rotation de la fondation d'un contrefort
- XI. Convention collective du Bâtiment et des T.P.
- XII. Devis quantitatifs
- XIII. Bilan financier - Silo NDiarao

## SOMMAIRE

### AVANT-PROPOS

### INTRODUCTION

1.	Définition d'une approche	1
2.	Ressources Humaines	6
3.	Ressources en matériaux	10
4.	Facteurs climatiques	17
5.	Présentation du Projet	30
6.	Données Techniques	40
7.	Analyse des Coûts	71
8.	Evaluation du chantier et Problèmes rencontrés	83
9.	Projets après les expériences de Nianing	96
10.	Conclusion	105

## AVANT-PROPOS

Cette étude complète deux rapports déjà publiés par les Bureaux Régionaux de l'UNESCO.

Le premier rapport a été publié par le Bureau Régional de l'UNESCO pour l'Education dans les Pays Arabes, Beyrouth (UNEDBAS) (1), le deuxième par le Bureau Régional de l'UNESCO pour l'Education en Afrique, Dakar (BREDA) (2).

Le lien entre ces deux publications et celle-ci est d'autant plus important qu'elles constituent chacune une étape dans la progression d'une recherche de solution au problème de l'auto-suffisance en matière de construction dans une des régions apparemment assez démunie, en ressources, en matériaux, ayant des caractéristiques communes telles que la rareté de bois pour la construction et de façon générale, de matériaux travaillant à la traction.

La première étude jetait les bases d'une réflexion sur un principe de construction, la seconde expérimentait ces principes dans une construction prototype adaptée au milieu sahélien.

Cette étude décrit l'effort fait pour développer et améliorer le système de portée courte, expérimenté dans le premier prototype, par de différentes applications réalisées au Centre de Formation Agricole à Nianing.

L'ensemble des expériences faites sur le système de construction de portée courte a permis, d'une part, l'application de techniques expérimentées pour des autres types de bâtiments tels que le silo, décrit dans cette publication, et des logements, et d'autre part, la participation active de la Section des Constructions Scolaires à un programme de construction pour l'Enseignement Moyen Pratique au Sénégal.

.../...

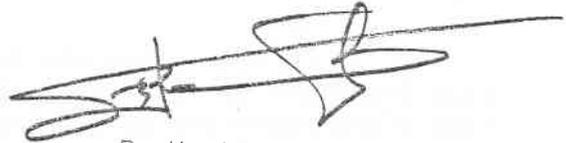
---

(1) Structure Flexible de portée courte pour Bâtiments Educatifs Economiques, UNEDBAS, Beyrouth, Janvier 1973.

(2) Prototype : Structure de Portée Courte, BREDA/PUB/61, Dakar, Janvier 1976.

Ensuite, la Section des Constructions Scolaires a entrepris des études pour le développement des prototypes pour les climats chauds et humides comme étape suivante pour prévoir des solutions adaptées aux différentes zones climatiques du Continent Africain.

J'espère vivement que cette publication apportera une contribution utile dans le développement d'une approche qui vise à résoudre le problème de création d'espaces adaptés à partir des ressources humaines et en matériaux disponibles.



B. Kamian  
Directeur BREDA

## INTRODUCTION

L'architecture, dit-on, est inséparable de son faire. (Une architecture adaptée ne peut naître que d'une expérimentation intensive). On ne doit rien concevoir sans immédiatement se préoccuper de la manière de réaliser.

C'est pourquoi, sur la base des concepts principaux définis dans le rapport de Beirut, nous avons voulu une confrontation à la pratique et à un contexte spécifique. Cette confrontation s'est matérialisée une première fois dans un prototype construit en 1975 sur le terrain de l'habitat rural à Dakar. Ce qui nous a permis d'expérimenter les techniques en vue de parvenir à une notion aussi réaliste que possible du prix de revient, et d'acquérir une connaissance pratique des problèmes d'emploi et de capacité de la main-d'oeuvre locale, de réaliser en vraie grandeur, ce qui permet de démontrer non seulement les possibilités mais aussi les difficultés d'application des techniques (1).

En 1976, CARITAS SENEGAL nous donnait l'occasion de développer cette étude à la lumière de la première expérience dans la construction d'un Centre de Formation Agricole à Nianing sur la "petite côte" à 90 km au Sud de Dakar.

Les études préliminaires ont été faites en collaboration avec l'atelier de troisième année de l'Ecole d'Architecture de Dakar. En prenant pour acquis l'expérience du premier prototype, chaque étudiant a élaboré une esquisse d'avant-projet sous la direction des professeurs et des architectes du BREDA.

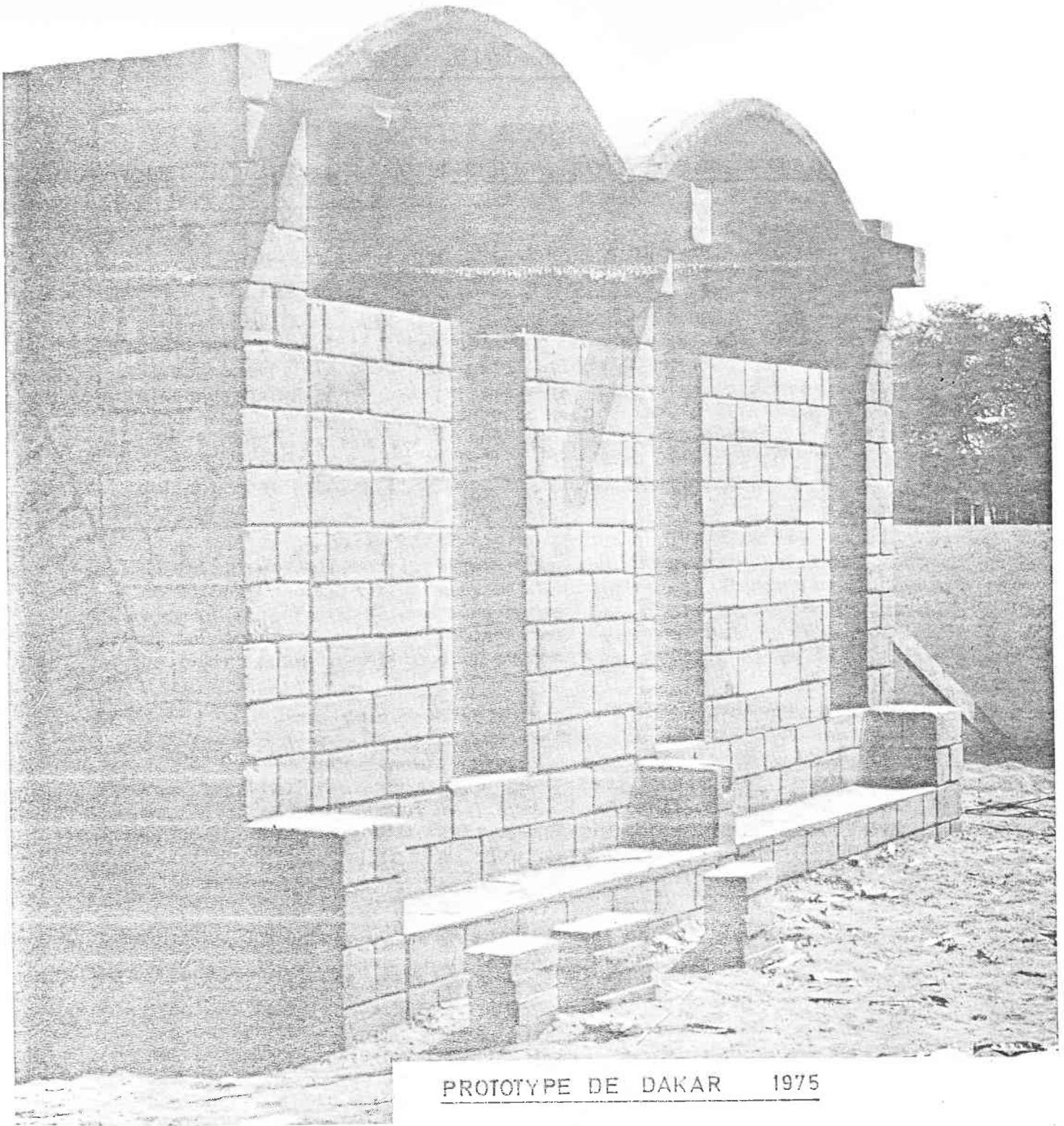
Les plans définitifs inspirés de ces esquisses ont été exécutés dans nos bureaux en collaboration avec des stagiaires de cette même école.

La participation des professeurs et étudiants de l'Ecole d'Architecture de Dakar ainsi que des stagiaires des autres Etats Membres de l'UNESCO nous a permis de réaliser un échange d'expériences et d'idées qui a contribué d'une part, à la formation des étudiants et stagiaires dans la pratique, et d'autre part, à la conception du projet.

---

(1) Rapport de Beirut

# 1 - DEFINITION D'UNE APPROCHE



PROTOTYPE DE DAKAR 1975

# 1. DEFINITION D'UNE APPROCHE

## 1.1 LES CONSTRUCTIONS SCOLAIRES ET L'HABITAT : UNE MEME REFLEXION UN MEME PROBLEME DE CONSTRUCTION

Depuis les années 70, il est de plus en plus évident qu'en dépit des efforts des Etats Africains qui y consacrent jusqu'au tiers de leur budget national, l'éducation de type conventionnel occidental est très loin de répondre quantitativement et qualitativement à l'énorme demande dont elle est l'objet. Dans ce bilan négatif, la part des installations éducatives, malgré l'assistance extérieure, est nettement la moins bien pourvue. En conséquence, non seulement l'approche du problème de l'éducation est complètement bouleversée dans sa stratégie, ses options et les moyens à mettre en oeuvre, mais il en va naturellement de même en ce qui concerne les installations correspondantes.

Il se passe l'inverse de ce qui arrive dans les pays industrialisés. L'éducation scolaire classique se marginalise et l'éducation non conventionnelle, extra-scolaire dans toutes ses formes, y compris le retour à certains modes traditionnels, se développe, et se répand. "Auto-suffisance" (Self-Reliance) est le maître-mot, peut-être pour le meilleur et sûrement pas pour le pire.

L'éducation de base est prise en charge en grande partie par la communauté elle-même (villageoise ou de quartier). Les espaces éducatifs redeviennent naturellement le prolongement des espaces d'habitation : les moyens (matériaux, techniques) disponibles pour les construire sont les mêmes, les conditions de micro-climat et de confort également. L'espace éducatif correspond donc à l'espace d'habitation "libéré" puisque destiné à un groupement plus grand d'individus.

A partir du moment où l'éducation est placée dans cette nouvelle perspective, toute recherche en matière de constructions scolaires débouche nécessairement sur le problème de l'habitat, le problème de fond restant "le logement du plus grand nombre" dans des conditions satisfaisantes. Cette approche met à la disposition de la recherche toutes les expériences en vraie auto-suffisance, qui sont partout faites par l'homme pour réaliser son habitat. La recherche en matière de construction en général contribue directement à la construction scolaire.

Dans le cas particulier de cette étude, la composante "logement pour les stagiaires" du programme architectural de CARITAS (cfr. chap. V) ne faisait que renforcer ce lien -espaces éducatifs-logement.

## 1.2 L'ACUITE DU PROBLEME DE CONSTRUCTION

On compte environ 30 millions de nouveaux urbains chaque année, ce qui représente le triple de l'accroissement annuel de la population. La nécessité de procéder rapidement et en masse a le plus souvent conduit à l'utilisation de techniques élaborées issues de pays développés et donc orientées vers leurs matériaux et une main-d'oeuvre minimale et très qualifiée.

Dans le domaine du bâtiment, il faut se rendre à l'évidence que le secteur dit "moderne occidentalisé" n'a jamais pu répondre qu'aux besoins de 10 à 15 % de la population, c'est-à-dire la part favorisée, monétarisée et elle-même occidentalisée. Pour le reste, à peu près 70 % de la population dans les zones rurales (ceux qui résistent encore à l'exode rurale), ne survit malgré des aspirations entraînant des effets d'imitation le plus souvent désastreux et ruineux, qu'en perpétuant des techniques et des ressources traditionnelles, parfois en voie de dégradation, parfois d'amélioration. Et pour ce qui est des 15 % restant de la population -urbaine-, c'est le règne de la "débrouille" où confrontées avec la nécessité de maîtriser leur cadre de vie quotidienne, les populations s'emparent avec force de toutes les matières et morphologies qu'elles peuvent récupérer. Dans ce maquis urbain, en rupture culturelle avec son milieu d'origine, se constitue peu à peu un savoir faire, savoir construire, appuyé sur un circuit de production économique parallèle au circuit officiel. Quantitativement, ces secteurs sont énormes mais n'étant ni bien structurés, ni monétarisés au sens moderne, il ne sont que peu ou pas pris en compte dans le produit national brut. Or, c'est dans cette masse que résident les véritables ressources potentielles.

Car, si dans les pays industrialisés n'importe quelle architecture peut trouver son faire, dans les pays en voie de développement, la faible capacité d'investissement en espèce (capital intensif) seule capable de permettre d'acquérir et d'exploiter les techniques modernes importées, doit être réservée en priorité aux équipements lourds d'infrastructure, aux gros ouvrages de génie civil et d'assainissement ainsi qu'aux installations sophistiquées indispensables. C'est dire que pour longtemps il ne restera rien ou presque, sous cette forme, pour l'habitat du plus grand nombre et ses prolongements (dont les installations éducatives dans leur nouvelle conception). Seuls les investissements principalement en nature par l'emploi des ressources locales en main-d'oeuvre (abondante) et en matériaux peuvent et pourront répondre aux besoins immenses dans ce domaine.

.../...

### 1.3 PRECARITÉ DE L'HABITAT TRADITIONNEL

Les conditions de vie dans l'environnement de la savane sahélienne n'ont guère contribué à la construction d'un habitat durable. La nature imposait de fréquents déplacements n'engendrant surtout que des constructions temporaires. En dehors d'une solide pratique artisanale et à part l'influence lointaine de l'Orient à travers les monuments de l'Islam et méditerranéenne plus proche, à travers les navigateurs colonisateurs, les éléments d'une tradition architecturale sédentaire ont longtemps fait défaut pour l'habitat dans cette région, à l'exception de la Vallée du Nil, la Vallée du Niger et de leurs abords.

Ce n'est que récemment depuis 50 à 100 ans, autour des pôles naissants de développement que la précarité relative a commencé lentement à faire place à une aspiration vers une plus grande stabilité.

Le concept de bâtir en dur est lié à la notion de propriété foncière où il faut faire la distinction entre la zone rurale et la zone urbaine. En zone rurale, les terrains appartiennent généralement aux collectivités villageoises. C'est à titre précaire qu'une parcelle est cédée à qui veut bâtir une maison, d'où le peu d'empressement à investir pour construire en dur et augmenter la valeur foncière du terrain (3). En zone urbaine, il y a une acceptation du matériau durable comme un bien nécessaire. Il y a même un engouement pour la construction.

Mais faute de tradition précisément, cette aspiration -construire "en dur"- n'a guère trouvé, comme source d'inspiration, que des modèles d'importation occidentaux. Ceux-ci parallèlement subissaient les influences exogènes que l'on sait, sous l'impulsion de l'industrialisation accélérée métropolitaine, les éloignant du même coup des admirables qualités techniques, climatiques et économiques d'adaptation à l'environnement africain qui avaient marqué les modestes réalisations des premiers établissements coloniaux.

### 1.4 QUELQUES DONNEES SUR L'ARCHITECTURE LOCALE

Aux alentours de Nianing, on rencontre deux différents types d'habitations : l'habitation traditionnelle et l'habitation moderne. L'habitation traditionnelle est une case carrée d'environ 3 x 3 m. Les murs sont faits soit de nattes de tiges de mil, souvent crépis avec l'adobe, soit de bloc d'adobe. La toiture en paille est supportée par une charpente en bois de brousse. La chape de la

---

(3) cfr. CCL N° 1 page 27.

case est parfois cimentée. Cette case est bien adaptée au climat de la région. La parcelle d'habitation est en général clôturée par des nattes de tiges de mil.

L'habitation moderne est une maison rectangulaire. Les murs sont en parpaings de sable-ciment, parfois avec des chaînages bas et hauts liés par des poteaux en béton armé. La toiture en tôle ondulée est portée par des poutres en bois rouge (caïlcédrat) ou en bois de ronier. Cette maison n'est pas bien adaptée au climat de la région. Parfois, la parcelle est clôturée par un mur en parpaings sable-ciment.

La case traditionnelle est en voie de disparition malgré son bon confort thermique et son faible coût. La maison moderne qui nécessite moins d'entretien, est considérée comme un bon investissement pour la vie. La faible expérience dans la construction moderne résulte en une mauvaise application des matériaux et techniques modernes.

#### 1.5 APPAUVRISSMENT DES RESSOURCES

En même temps, l'augmentation des concentrations de population dans les lieux déjà pauvres en ressources contribuait à accélérer la raréfaction de certaines d'entre elles -comme le bois par exemple- si utile pour les charpentiers, les menuiseries et la confection des matériaux en terre cuite, tous inducteurs de tradition architecturale.

Ces sources de dépendance sont plus que jamais à l'oeuvre de nos jours : elles laissent la voie ouverte à l'invasion de la tôle ondulée, du béton armé et du parpaing de ciment hâtivement bricolés, symboles coûteux d'émancipation et de réussite sociale, mais qualitativement médiocres et architecturalement insignifiants.

#### 1.6 COMMENCER PAR LE COMMENCEMENT

Dans ces circonstances, pour essayer de créer les fondements d'une architecture adaptée, la plate-forme de départ est étroite : réapprendre à étudier et à intégrer les données du climat, se contenter de ce que peuvent offrir les matériaux locaux disponibles et familiers, tenter de comprendre et de traduire les aspirations d'un monde encore opaque -même pour lui-même- en pleine évolution, mais soumis aux feux-croisés d'influences contradictoires.

Pour y parvenir, l'architecture de base, tout compte fait, n'offre pas de choix tellement nombreux. On ne peut guère que redécouvrir et adapter des techniques et des expressions éprouvées. Mais on ne doit rien concevoir sans immédiatement se préoccuper de la manière de le réaliser dans un cadre fortement limité

en logistique et en capacité technique. Les "trouvailles" de la technologie moderne ne peuvent être envisagées qu'avec réserve, et là seulement où combinées avec les moyens locaux, elles peuvent apporter un progrès significatif réel et à faible coût. Le souci constant doit être de favoriser l'investissement humain contre l'investissement en capital.

Nous considérerons qu'entre les deux extrêmes (techniques importées non adaptées et les techniques traditionnelles non améliorées), il y a de la place pour une architecture adaptée qui réintègre les données du climat qui s'exprime par les meilleures qualités des matériaux locaux disponibles et de la main-d'oeuvre locale.

La première recherche fondamentale consistera donc à déterminer dans quelle mesure et de quelle façon il était possible de tirer partie des ressources locales disponibles. Par la suite, les réflexions et analyses nous ont mené à la proposition des principes suivants comme base initiale de l'étude :

- (i) les matériaux et systèmes de construction doivent être suffisamment simples pour pouvoir être compris et maîtrisés par une main-d'oeuvre non qualifiée ou semi-qualifiée ;
- (ii) les matériaux utilisés doivent être de provenance "locale" de préférence aux produits industrialisés d'importation, qui sont coûteux et sources de dépendance ;
- (iii) les techniques développées doivent être multiplicatrices d'emploi, n'impliquant que des moyens modestes de formation; en d'autres termes, favoriser l'investissement humain plutôt que l'investissement en capital ;
- (iv) les "trouvailles" de la technologie moderne ne peuvent être envisagées qu'avec réserves, et là seulement où combinées avec les moyens locaux, elles peuvent apporter un progrès significatif et à faible coût ;
- (v) on évitera de plagier les formes traditionnelles au moyen de matériaux modernes, mais plutôt s'inspirer de la pureté et de l'originalité qui s'exhalent de ce savoir-faire traditionnel pour développer des matériaux et techniques améliorés ;
- (vi) les techniques doivent être transférables directement pour l'amélioration de l'habitat local.

## 2 - RESSOURCES HUMAINES

### 2.1 PROBLEME DE L'EMPLOI

#### 2.1.1 Acuité du problème

Une étude faite dans quelques quartiers de Rufisque (4), ville périphérique située à 25 km de Dakar, fait ressortir, en 1974, les faits suivants : sur une population totale de 14 540 habitants des quartiers Diokoul, Ndoukou, Médine Cité Filao,

- la population en âge d'activité est estimée à 7 270 personnes soit 50 %
- la population active : 1 920 personnes soit un taux d'activité de 30 %
- si l'on s'en tient à la seule population masculine, 1 homme sur 4 a un travail rémunéré. Or, le nombre officiel de chômeurs représente 8 % de la population seulement -c'est dire que presque toutes les personnes actuellement sans emploi n'ont jamais eu de travail rémunéré.\*

#### 2.1.2 Faible niveau de qualification de la main-d'oeuvre

Selon cette même étude (4), la main-d'oeuvre qualifiée (cadres de direction, techniciens supérieurs, agents de maîtrise, exécutants qualifiés) ne représente que 35,3 % de la population active contre 64,7 % pour la main-d'oeuvre peu qualifiée (employés et ouvriers, manoeuvres, artisans, apprentis).

#### 2.1.3 Importance relative des activités relevant du secteur dit traditionnel

Les activités de la population dans les zones urbaines ou semi-urbaines peuvent être classées en deux secteurs économiques bien distincts. Cet aspect dualiste joue un rôle assez important dans le problème de l'emploi. Le premier dit secteur "formel" ou "moderne" ou "structuré" est caractérisé par des techniques "capital intensif" des salaires relativement élevés et des opérations de grande envergure.

.../...

(4) Stage de maîtrise d'ouvrage. 1974-1975 SMUH -"Extrait du bilan d'urbanisme des trois quartiers Sud-Ouest de Rufisque"- Planification-Habitat Information N° 86 Avril 1977

\* Pour être considéré comme chômeur, il faut avoir, auparavant, un travail officiellement rémunéré, et être inscrit au Service de la Main-d'Oeuvre.

Le second secteur appelé "informel" "non structuré" est le secteur traditionnel constitué d'unités économiques possédant les caractéristiques inverses : main-d'oeuvre abondante, (labor-intensive), opérations de petite envergure, méthode de travail traditionnelle et gains modestes pour le particulier directement répartis dans son entourage (artisans de production ou de service, petits commerçants, transporteurs individuels, vendeurs ambulants, etc...).

Dans le contexte Sénégalais où le chômage "visible" se pose déjà en termes pressants, l'importance de ce secteur traditionnel n'est pas négligeable car il abrite un nombre considérable de "sous employés" à faible productivité. Dans la plupart des cas, il absorbe près de la moitié de la population active : 46 % à Rufisque.

Il constitue très souvent une étape, un refuge pour les travailleurs à la recherche d'un emploi permanent et salarié, sa grande capacité d'absorption permet de réduire la pression sur le marché du travail urbain, en assurant des revenus (aléatoires et modestes) à une partie importante de la main-d'oeuvre (5).

#### 2.1.4 Faible capacité et absorption du surplus de main-d'oeuvre par le secteur structuré

L'offre d'emploi semble plafonner dans le secteur moderne. Une des limites semble être la qualification professionnelle de la main-d'oeuvre. Il faut en effet pour parvenir dans ce secteur, "avoir une instruction, une expérience et une formation professionnelle que les pauvres peuvent difficilement acquérir ; et de surcroît dans un marché où la main-d'oeuvre est pléthorique, les employeurs peuvent se permettre d'exiger des qualifications professionnelles" (6).

En outre, dans ce secteur formel, la mécanisation est déjà si poussée qu'il n'a aucune possibilité restreinte d'absorber le surplus de main-d'oeuvre.

"Dans la construction on a estimé à 11 500 le nombre de travailleurs en 1961, l'emploi y a d'abord regressé et semble s'être stabilisé aux alentours de 9 500 salariés (5).

.../...

(5) Vème Plan Quadriènal Ministère du Plan et de la Coopération  
"Développement Economique et Social" 1977-1981 Tome I Juin 1977.

(6) Extrait du discours de M. R. McNamara, Président de la Banque Mondiale, au Zaïre, Afrique N° 103 Mars 1976.

## 2.2 CONCLUSION ET PRINCIPES D'ACTION

Concernant une amélioration de la situation de l'emploi dans un pays comme le Sénégal, on peut remarquer :

- 2.2.1 - que le seul secteur capable de répondre efficacement et à court terme à la demande de travail est le secteur traditionnel, à condition que sa protection, sa modernisation et son développement soient entrepris ;
- 2.2.2 - qu'il est surtout souhaitable d'avoir un grand nombre d'emplois avec un minimum d'investissement, c'est-à-dire que le pourcentage de l'investissement en main-d'oeuvre pour un produit est plus élevé que l'investissement en capital pour les éléments constants du produit, (surtout les matériaux de base). Par conséquent, le rapport matériaux/main-d'oeuvre de l'investissement doit être ainsi le plus petit que possible, vu les grandes ressources en main-d'oeuvre sous employée ;
- 2.2.3 - que les nouveaux emplois ne demandent pas un niveau élevé de qualification technique. Ainsi, en ce qui concerne le marché des constructions, on ne demandera pas un niveau technique élevé aux manoeuvres mais une formation de base pour les maçons qualifiés qui pourra être améliorée sur le site avec des moyens modestes ;
- 2.2.4 - qu'il faut opter pour une amélioration des apports individuels ou des petites communautés, faits en nature ou même en main-d'oeuvre faiblement rémunérée, en vue d'accroître la valeur ajoutée quantitative et qualitative du domaine bâti et de son environnement. Ces apports constituent une contribution importante, bien que difficilement comptabilisable, à la formation intérieure du capital brut.
- 2.2.5 D'après cette analyse, dans un pays en voie de développement comme le Sénégal, il est évident que les ressources humaines limitées en qualification mais abondantes justifieraient le développement des techniques simples et multiplicatrices d'emplois, n'impliquant que des moyens modestes de formation et un investissement en capital minimum.
- 2.2.6 Selon les expériences faites dans plusieurs pays, l'investissement nécessaire pour créer un emploi dans le secteur de la construction conventionnelle - dite "moderne" - est encore l'un des plus faibles (1-2 millions CFA/poste), comparé à l'industrie au Sénégal en 1975 où en moyenne un poste revient à 8-10 millions CFA. La différence est encore plus grande quand on compare ces

.../...

chiffres avec les investissements nécessaires pour créer des postes dans l'industrie de pointe (ex. : pétro-chimie) qui reviennent à 80-100 millions CFA/poste.

Au contraire, pour créer un emploi hors du secteur structuré, les investissements nécessaires restent très limités et sont souvent à la portée des chômeurs à condition qu'on leur donne un emploi pour amortir leur investissement. Par exemple : pour équiper un maçon de sorte qu'il puisse travailler indépendamment, il faut investir 45 000 francs CFA (voir annexe I pour l'équipement d'un maçon).

Ce serait faire un investissement durable et multiplicateur incomparable puisque l'argent dépensé pour construire dans ces conditions resterait dans le circuit étroit de la communauté.

### 2.3 MAIN-D'OEUVRE DANS LE BATIMENT

Dans le secteur informel :

2.3.1 La main-d'oeuvre disponible est abondante, mais généralement peu qualifiée dans le domaine de la vraie maçonnerie. On ne sait pas faire un appareillage de maçonnerie pour la jonction de deux murs, un double mur, ou des arches.

2.3.2 La formation de la main-d'oeuvre est faible et consiste surtout en pratique directe du travail sous la direction d'un maçon plus qualifié. Les maçons travaillent en régie, toujours en petite équipe avec des aides. La productivité est souvent faible à cause d'une perte de temps dans l'organisation du travail et en raison de l'irrégularité des approvisionnements.

2.3.3 Les travaux se réalisent par phases successives suivant le rythme déterminé par la disponibilité de l'argent du propriétaire (la plupart des matériaux étant acheté comptant par le propriétaire lui-même).

2.3.4 La main-d'oeuvre du marché du bâtiment travaille en forfait sauf le mouleur et son équipe qui sont payés par parpaing à la fin d'une journée de travail (+ 8 francs CFA par unité et ils en font à peu près (300/jour).

2.3.5 La somme forfaitaire pour un certain travail (tâche) le montant et son paiement sont négociés. D'habitude, il est payé au maître-maçon une avance pour les frais initiaux, ensuite une somme en fonction du travail pour qu'il puisse payer à son tour les manoeuvres et aide-maçons qu'il a embauchés.

(Voir annexe XI pour salaires horaires minima des ouvriers et employés).

# 3 - RESSOURCES EN MATERIAUX

## 3.1 REFLEXION SUR LES MATERIAUX DE CONSTRUCTION

3.1.1 Le choix d'un matériau ou d'un système constructif revêt un aspect psychologique autant que technique : il exprime la conception d'un mode de vie. Dans le cas qui nous occupe, cette conception est écartelée entre une aspiration à un logement "en dur", pour renforcer la sécurité foncière nouvellement acquise, et un pouvoir économique très faible, qui entraîne une patiente détérioration des matériaux et moyens de construction.

L'emploi de matériaux locaux et familiers selon des techniques simples plutôt que des produits industrialisés d'importation semble donc répondre à plusieurs avantages :

- les matériaux locaux, on ne le dira jamais assez, ont des qualités indéniables et parfois supérieures aux matériaux dits modernes (leur qualité isolante est souvent inégalée du moins à un prix raisonnable) ;
- de coût peu élevé, ils sont pour la plupart disponibles à volonté dans les environs immédiats de la construction ;
- leur extraction, leur fabrication et leur mise en oeuvre sont par excellence réalisables par une main-d'oeuvre peu qualifiée et abondante ;
- le contrôle de la qualité du matériau est facile et ne demande pas de "spécialistes" venus d'ailleurs. Et lorsque la qualité est faible, elle peut être sensiblement améliorée grâce à une recherche élémentaire et l'acquisition d'outils et de techniques modernes simples ;
- enfin, en matière d'habitat, ils présentent l'avantage de permettre plus facilement l'auto-construction ainsi que la modification possible de l'abri suivant l'évolution de la famille et de l'épargne accumulée.

De plus, les matériaux locaux peuvent être mieux exploités qu'ils ne le sont actuellement. On peut à partir d'eux créer de nouveaux, les améliorer pour répondre aux besoins nouveaux au lieu d'en importer qui soient équivalents. Il convient ici de se mettre d'accord sur la terminologie et de déterminer nos positions.

.../...

3.1.2 Dans la gamme des matériaux disponibles, on peut distinguer, au niveau technique :

a) Matériaux élaborés : les matériaux qui proviennent d'une économie de type occidental qui fait appel à une technologie relativement complexe pour leur production, et ne peuvent donc être produits localement dans les zones rurales même si la matière première est locale. Nous distinguerons dans cette catégorie :

i) les matériaux industrialisés et d'importation

ii) les matériaux élaborés "locaux" ou "semi-locaux", c'est-à-dire manufacturés localement selon des procédés élaborés mais avec une grande proportion de matériaux locaux (ciment, bitume...).

La première sous-catégorie de matériaux sera évitée à tous prix. La deuxième employée sous conditions ci-dessous.

b) Matériaux traditionnels : Ceux qui sont issus du savoir-faire traditionnel et donc des ressources strictement locales. Compte tenu de la mouvance de ce savoir-faire (amélioration successive de la technique et de la composition de ces matériaux au cours des ans), ils sont souvent confondus avec les matériaux de la catégorie suivante : les matériaux intermédiaires.

c) Matériaux intermédiaires : On les trouvera dans les matériaux non compris dans les matériaux locaux non améliorés (b) et les matériaux élaborés non adaptés (a). C'est de cette catégorie dont nous aurons le plus besoin.

On peut encore qualifier ces matériaux de "adaptés", "améliorés" ou "développants". De façon générale, ils mettent en valeur les ressources locales disponibles au moyen de techniques "nouvelles" à la portée de la main-d'oeuvre locale. Il s'agit aussi bien de ressources locales non encore exploitées que de techniques et matériaux locaux traditionnels auxquels on apporte des améliorations considérables et à faible coût. Par exemple, on qualifiera un matériau de "développant" un matériau traditionnel local auquel on ajoute une plus-value (plus durable, plus résistant, etc...) par des moyens adaptés : ex. : murs en banco moulés - "géobéton", briques de banco - "briques de terre stabilisée, compressée, etc..."

3.1.3 Dans la mesure où il y a intervention de spécialistes, il faut qu'il y ait un apport.

Cependant, dans les régions sahéliennes en général, et la région du Cap-Vert en particulier, les ressources en matériaux locaux traditionnels se sont appauvries au cours des 50 dernières années. Par exemple, il a fallu interdire l'utilisation du bois ou du moins la limiter considérablement. La paille, souvent utilisée avec la structure de bois comme matériau de couverture, se fait rare et son usage est de plus en plus réservé aux animaux.

Si l'on exclut les matériaux importés coûteux, tels que l'acier d'armature et de charpente, l'aluminium, etc..., restent essentiellement comme matériaux de base pour la construction les ressources du sol (sable, terre, argile, pierre, calcaire) qui ont comme particularité de travailler à la compression à l'exclusion de tout effort de traction ou de flexion et permettent de remplacer le bois chaque fois que la qualité du liant disponible localement le permet.

Blocs de ciment, briques, éléments en argile ou parfois en terre cuite sont déjà couramment utilisés et fabriqués dans ces régions. Dans ces conditions, c'est leur mise en oeuvre sous des formes géométriques bien déterminées qui permettra de franchir des espaces de proportions raisonnables : ceci implique le recours à des formes d'arches, de voûtes ou de dômes.

Les matériaux de construction occupent une place importante parmi les biens de grande consommation. Dans la plupart des cas, l'amélioration du milieu de vie (habitat) ne constituant pas la priorité dans les occupations du paysan, celui-ci n'y consacre pas une grande part de son revenu et l'effort qu'il consent porte presque entièrement sur l'achat de matériaux (3).

Dans les villes, malgré l'intense activité de construction (due à la course à l'immobilier) -que l'on peut enregistrer- elle n'engendre en fait qu'un faible mouvement économique, vu que les matériaux proviennent de l'étranger dans la proportion de 70 %. Il importe donc de placer le bâtiment dans le secteur productif de l'économie en produisant sur place le plus grand nombre de matériaux locaux.

.../...

---

(3) Réflexion sur la production locale de matériaux de construction  
A. Kouassi  
Bulletin d'information CCL I Cacavelli.

## 3.2 LES MATERIAUX DE CONSTRUCTION UTILISES A NIANING

### 3.2.1 Le sable

Le matériau de base pour la construction est la terre, le seul matériau qui est abondant autour de Nianing. On y trouve le sable de mer (épaisseur des grains : 0,2 - 2 mm) et le sable de dune (épaisseur des grains : < 0,2 mm). Le sable de mer est pris sur les parties supérieures du bord de la mer où les pluies de l'hivernage l'ont dessalé. Le sable de dune est pris sur le site après enlèvement de la couche supérieure du sol qui contient trop de matière organique.

### 3.2.2 Les briques

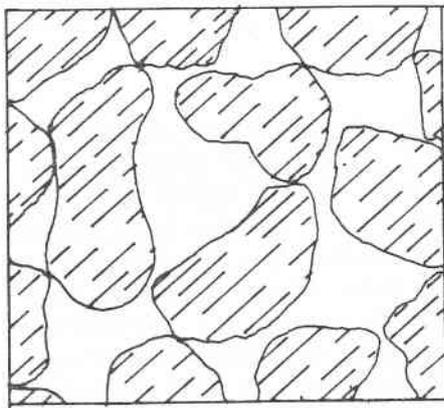
Le sable n'a guère de cohésion. Il faudra un liant pour rendre le squelette du sol suffisamment cohérent afin de résister aux forces de compression. La granulométrie du sable est déterminante pour la résistance à la compression de la brique et la quantité du liant nécessaire.

Si les grains sont tous de même épaisseur, le volume des pores sera maximal, donc il faudra une quantité maximale de liant. Si l'épaisseur moyenne des grains est très petite, la surface totale des grains sera très grande, ce qui nécessitera aussi beaucoup de liant. Ainsi, si les grains sont trop gros, une érosion rapide de la surface des briques sera probable.

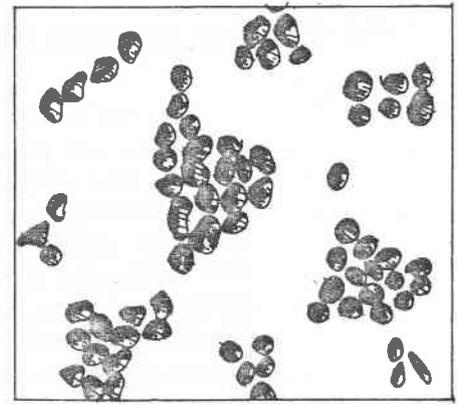
Pour déterminer une granulométrie optimale, des essais de compression ont été faits sur 38 cubes de 10 x 10 x 10 cm de 7 différentes compositions (voir annexe II).

Un mélange de 50 % de sable de dune et de 50 % de sable de mer donne le meilleur résultat. Ce mélange avec un dosage de 125 kg/m<sup>3</sup> (9 % de volume) en ciment résiste en moyenne à 17 kg/cm<sup>2</sup> de compression (voir figure 1).

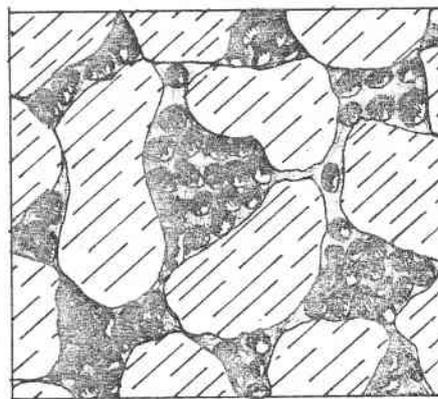
Les conditions de la production des briques peuvent considérablement influencer la qualité finale de la brique. Pour éviter que les briques ne sèchent trop vite, il faudra les arroser et les stocker à l'ombre. Un arrosage irrégulier ou pendant une période trop courte gênera le développement optimal du processus chimique du liant. Les briques de Nianing, ainsi que les cubes d'essai sont arrosés pendant 6 jours (matin et soir) à partir de 24 heures après leur fabrication.



Sable de mer.



Sable de dune.



melange + liant

liant

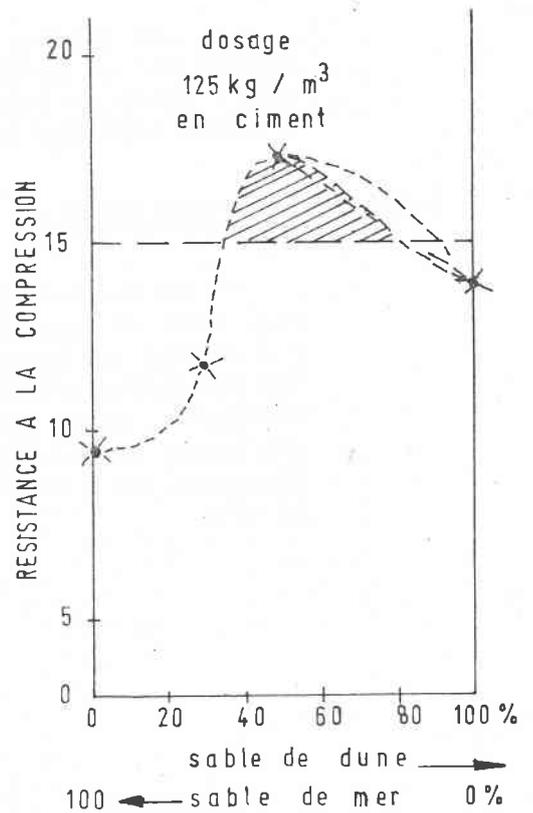
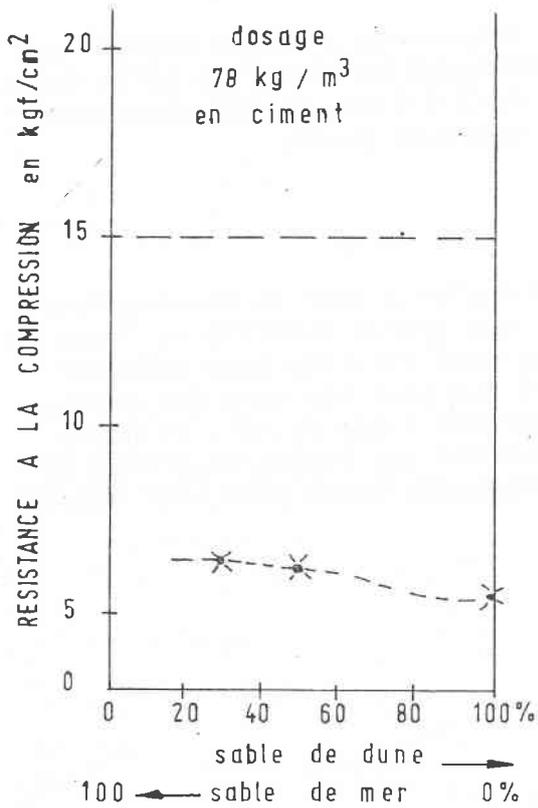


FIGURE 1.

### 3.2.3 Les mortiers de la toiture (voir chap. 6.2)

La voûte de la toiture est composée de trois différentes couches. La première couche, qui est à considérer comme voûte mince, est composée de sable de mer dosé à 250 kg/m<sup>3</sup> en ciment. La deuxième couche sert à contrebalancer les forces horizontales dans la voûte et contribue à l'inertie thermique. Cette couche est composée d'un mélange de sable de dune et de sable de mer dosé à 125 kg/m<sup>3</sup> en ciment (comme les briques). La dernière couche qui assure l'étanchéité de la voûte est composée d'un mélange de sable de dune et de sable de mer dosé à 375 kg/m<sup>3</sup> en ciment.

Pour obtenir une bonne liaison entre les différentes couches de la voûte, il faut finir les trois couches dans une semaine et éviter un séchage trop rapide en protégeant la surface supérieure par une feuille en plastique.

### 3.2.4 Le mortier pour les joints

Le mortier de maçonnerie est dosé à 250 kg/m<sup>3</sup> (18 % de volume) en ciment. Un mortier qui ne consiste que de sable de mer s'est prouvé être le plus pratique pour une bonne exécution de l'appareillage.

Pour que le mortier ne sèche pas trop vite, il faut bien humidifier les briques qui sont à joindre dans la maçonnerie. Ainsi, il est préférable d'arroser la maçonnerie qu'on vient de finir une fois par jour pendant une semaine.

Les joints sont faits en retrait de 2 cm. Ce retrait est bouché par un mortier dosé de 500 kg/m<sup>3</sup> en ciment de telle façon qu'il reste un retrait du joint de 2 à 3 mm. Il est nécessaire d'humidifier les joints pendant quelques jours.

### 3.2.5 Les tiges de mil

La culture de mil dans la région autour de Nianing fournit, sauf la nourriture de base, une grande quantité de tiges de + 2 mètres de longueur. Ces tiges sont utilisés pour clôturer les parcelles d'habitation, ainsi que pour les murs des cases. Néanmoins, après cette application des tiges de mil, il reste une bonne partie non utilisée. Pendant les années de grande sécheresse, on a nourri le bétail avec ces tiges pour leur sauver la vie.

.../...

Comme matériau de construction, les tiges de mil ne sont pas durables. On pourrait augmenter leur durée de vie avec des techniques sophistiquées, par exemple : par plastification. La faible qualité du fibre de mil qui se décompose assez vite même à sec, et le coût élevé pour rendre le matériau plus durable ne justifient pas actuellement l'application de tiges de mil comme partie intégrante d'une construction permanente. Toutefois, les tiges de mil sont valables pour une utilisation temporaire, par exemple, sous forme de nattes, comme coffrage pour les voûtes et par exemple, comme surface de remplissage dans un cadre en bois pour des volets, des portes, etc..., pourvu qu'un système pratique soit prévu pour les remplacer.

Pendant la construction à Nianing, pour toutes les voûtes de la toiture, nous avons profité de l'abondance des tiges de mil pour leur coffrage tout en économisant le bois de coffrage qui coûte très cher au Sénégal.

Pour des constructions de grande envergure où la répétition joue un rôle important pendant la production de la toiture, le "crinting" (natte locale de bambous fendus et tressés) pourrait se prouver être plus économique, comme il est beaucoup plus réutilisable que les tiges de mil.

### 3.2.6 Treillis de poulailler

Le treillis de poulailler est produit au Sénégal. Nous nous sommes servis de ce matériau "intermédiaire" pour assurer une certaine sécurité pendant l'exécution de la voûte de la toiture (voir chapitre VI).

La première couche de la voûte est à considérer comme une voûte mince. C'est pourquoi nous avons armé la voûte sur une largeur d'un mètre au milieu de la voûte par un treillis de poulailler dont la maille est de 4 cm.

Le prix du treillis de poulailler est trois fois plus élevé que celui du fil de fer galvanisé utilisé dans ce treillis. Une manufacture de treillis de poulailler à partir de fil de fer galvanisé que l'on trouve dans chaque boutique villageoise, peut encore davantage substituer l'importation par l'emploi local.

Par rapport à la voûte du premier prototype, le coût de l'armature de la voûte de Nianing n'est que 10 %.

.../...

# 4 - FACTEURS CLIMATIQUES

## 4.1 FACTEURS CLIMATIQUES SUR LE CONTINENT AFRICAIN ET LEURS EXIGENCES

4.1.1 Les facteurs climatiques sont une des contraintes de base qu'il y a lieu de prendre en considération dans toutes les décisions concernant la conception d'ensemble d'un projet de construction.

Ils sont déterminants dans le choix de la disposition et de l'orientation des bâtiments à construire, la forme et les caractéristiques des structures, l'épaisseur des murs, les espaces que l'on doit clore et ouvrir, la dimension des baies, l'environnement immédiat.

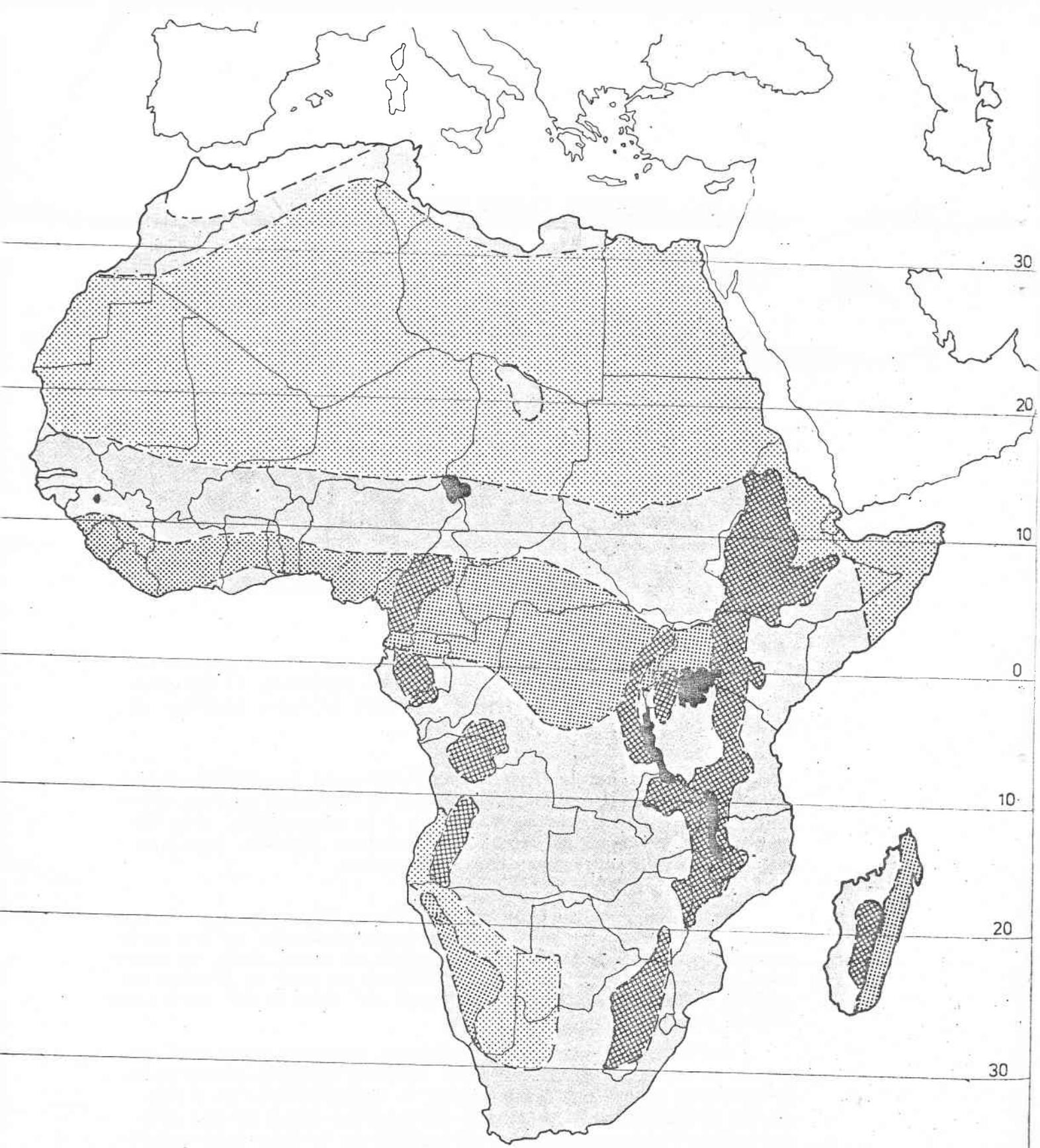
En se basant sur la température de l'air avec ses variations diurnes et annuelles et l'humidité relative, il est possible de classer le continent Africain en types généraux de climat.

Cette distinction intéresse directement les constructeurs non seulement parce qu'elle détermine différentes sources d'inconfort, mais aussi, parce que, liée à la géographie, elle détermine des différences dans les ressources locales, dans les matériaux utilisables pour la construction.

Pour les principes de constructions illustrées par le prototype de Nianing, on peut dire de façon générale, qu'ils intéressent la ceinture aride et semi-aride du monde. Pour le continent Africain, c'est la zone qui s'étend de part et d'autre du tropic du Cancer, entre les latitudes 15° Nord et 35° Nord (voir figure 2).

Cette zone grossièrement définie, regroupe plusieurs types de climats qui présentent des caractéristiques climatiques principales similaires intéressant la construction. On y rencontre principalement un climat continental chaud et sec avec des précipitations faibles d'où les 4/5 de la zone sont constitués par des steppes désertiques ou semi-désertiques, arides ou extrêmement arides, (ce qui limite d'office les ressources en matériaux de construction).

.../...



CLASSIFICATION DU CONTINENT AFRICAIN EN TYPES GENERAUX DE CLIMATS

-  CLIMAT CHAUD & SEC
-  CLIMAT COMPOSE OU DE SAVANE
-  CLIMAT CHAUD & HUMIDE
-  CLIMAT TROPICAL D'ALTITUDE

FIGURE 2.

4.1.2 Ramener aussi les 4/5 de la superficie à un seul type de climat serait une généralisation exagérée. En particulier, la bordure Sud de la zone est difficile à déterminer vu qu'en réalité la zone de discontinuité entre ce climat continental sec et le climat maritime humide n'est pas fixe mais est sujette à un mouvement Nord-Sud une fois par an, ce qui explique dans certains pays comme le Sénégal, l'alternance de deux saisons dans l'année; ce sont les climats composés ou de savane.

La figure 3 montre comment la ligne fictive de séparation entre l'air continental (Sahara) et l'air humide maritime (Atlantique) suit un mouvement vers le Sud en Janvier étendant l'influence de l'air sec continental presque jusqu'à la côte, et en Juillet, vers le Nord jusqu'à une latitude près des 20° Nord.

Cette alternance de saison humide et sèche dans les climats composés ou de savane pose un problème particulier pour la construction. En effet, les exigences de ces deux types de climat peuvent sembler contradictoires. En climat chaud et humide, le confort intérieur dépendra dans une large mesure de la manière de maîtriser - 1) la circulation de l'air, -2) les sources de radiation de chaleur.

Ce climat exige une ventilation transversale permanente (plan ouvert, grande ouverture, structure relativement légère pour éviter l'accumulation de chaleur le matin). Par contre, en climat chaud et sec, la conception du bâtiment devra tirer avantage de l'écart considérable qui existe entre les températures diurnes et nocturnes (plans compacts avec petites ouvertures et possibilités de fermeture), structure plutôt massive (isolation par accumulation). Ainsi, les caractéristiques générales du climat à retenir pour la construction dépendront de la durée et de l'intensité de chacune des saisons. En général, à l'intérieur du Sénégal, les exigences de la saison chaude et sèche prédomineront sur celles de la saison humide (hivernage). Cette dernière étant beaucoup plus courte (3 mois sur 12), ce qui n'implique sur le plan de la conception que certaines modifications du plan de base prévu pour climat chaud et sec.

La construction pour ce groupe climatique doit pourvoir une capacité thermique pour retarder la transmission de chaleur, pour la saison sèche, durant la journée, de l'extérieur vers l'intérieur, et durant la nuit, de l'intérieur vers l'extérieur. La composition en plan doit être modérément compacte avec cour intérieure, tout en prenant avantage des vents dominants durant la saison chaude et humide.

.../...

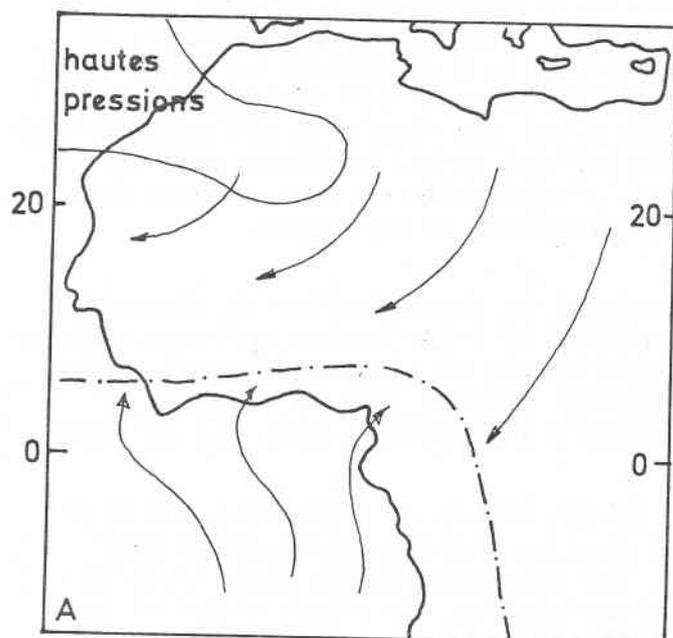


FIGURE 3A

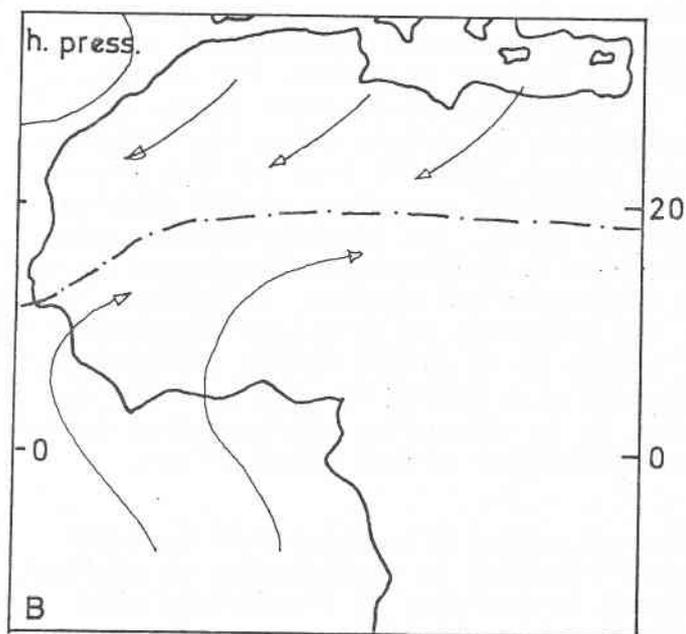


FIGURE 3B

POSITION RELATIVE DE LA "SURFACE DE DISCONTINUITÉ"  
 ENTRE AIR SEC CONTINENTAL ET AIR HUMIDE MARITIME  
 A) EN JANVIER      B) EN JUILLET

#### 4.2 DONNEES CLIMATOLOGIQUES POUR LE SENEGAL

En annexe III on trouve les données climatiques pour la ville de Kaolack, située à 110 kms Sud-Est de Nianing et pour Dakar, située à 60 kms Nord-Ouest de Nianing. (Voir figure 4 pour les influences du climat au Sénégal).

#### 4.3 MICRO-CLIMAT DE NIANING

Une distinction doit être faite entre macro et micro-climat, toutes les considérations qui précèdent relèvent du macro-climat. Il détermine les grands groupes climatiques au niveau des régions, c'est la base sur laquelle le micro-climat peut être évalué.

Le micro-climat est celui du site même, de son environnement immédiat. -Il dépendra surtout de facteurs géographiques-. Plusieurs facteurs contribuent aux conditions spécifiques du micro-climat. Dans le cas de Nianing, la présence de la mer influence assez bien le climat. Surtout en saison sèche, le micro-climat (en comparaison du climat continental sec) est plus humide, avec des écarts diurnes moins grands, mais aussi une température maxima moins élevée. Durant la journée, à partir de 15 heures, un vent frais souffle de la mer. Durant la nuit, un vent chaud et poussiéreux souffle de l'intérieur vers la mer (voir figure 5). (En annexe III, on a trouvé quelques données climatiques pour MBour, ville située à 8 kms de Nianing).

#### 4.4 NOTION DE CONFORT

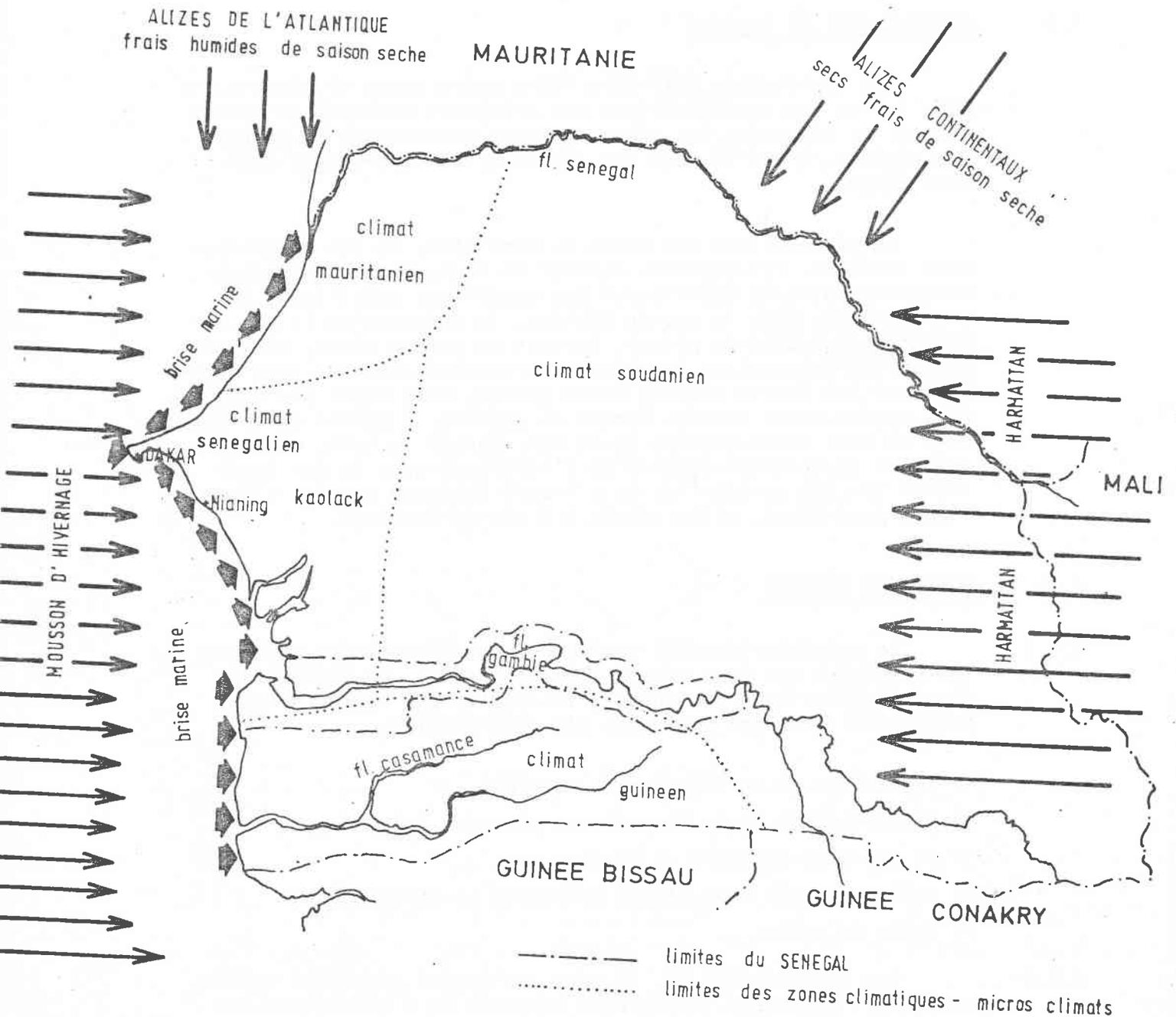
4.4.1 La construction doit protéger ses habitants des contraintes physiques que leur impose l'environnement. De l'étude des données climatiques au Sénégal, il résulte que les principaux facteurs d'inconfort sont pour les constructions :

- 1) la chaleur et le rayonnement solaire
- 2) l'humidité de l'air à certaines périodes (hivernage)
- 3) le froid en Décembre et Janvier
- 4) vents violents avec pluies battantes en hivernage
- 5) vents de sable.

4.4.2 Les facteurs 1), 2), 3) sont intimement liés à la notion de confort thermique. Ce dernier dépendra de 4 conditions essentielles de l'environnement :

.../...

# Influences du climat.



source pascal GALDI IUT Dakar "l'habitat rural au SENEGAL"

FIGURE 4.

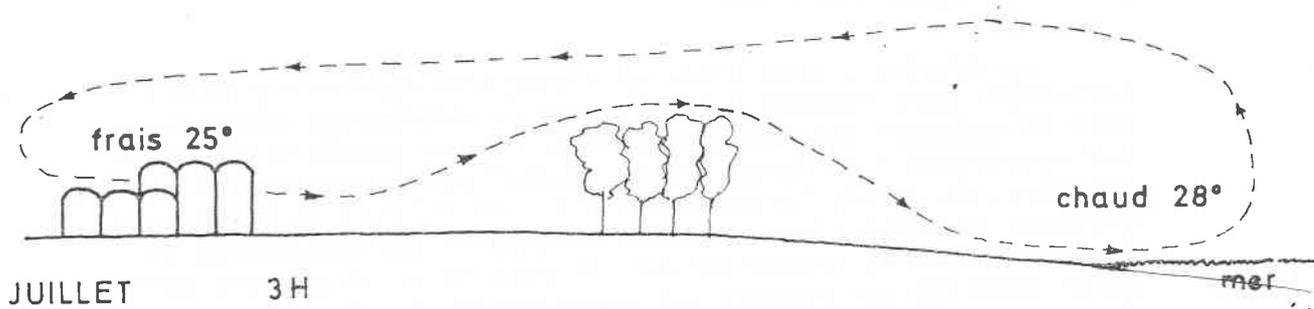


FIGURE 5A

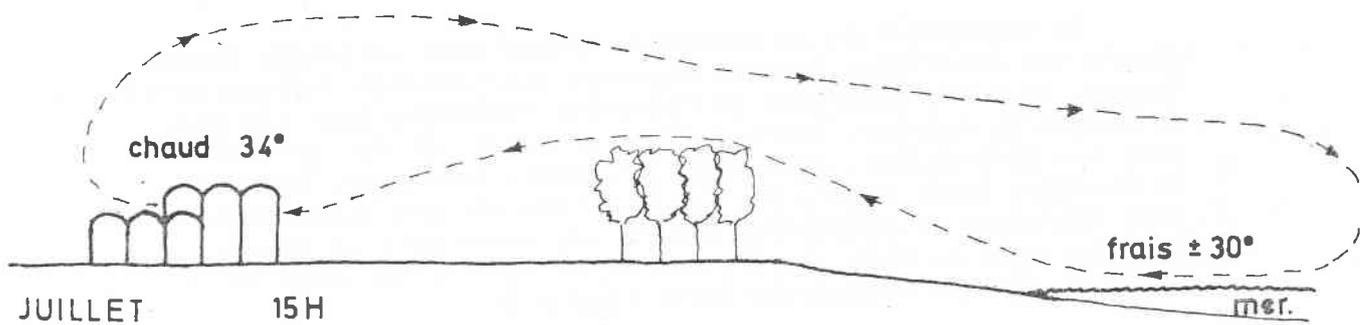


FIGURE 5 B

- 1) la température de l'air
- 2) l'humidité de l'air
- 3) le mouvement de l'air
- 4) la radiation thermique.

La température de l'air et l'humidité sont difficiles à influencer sans recours à l'intervention des moyens mécaniques. Mais en agissant sur les deux autres, il est possible d'améliorer sensiblement la sensation de confort par la conception du bâtiment. En effet, le mouvement d'air rafraîchit le corps sans abaisser la température ambiante uniquement par convection et évaporation de la transpiration. Il sera favorisé par une bonne orientation par rapport aux vents dominants et par le traitement des ouvertures. Quant aux effets de la radiation, ils sont dosés par une bonne orientation par rapport aux angles solaires et la capacité thermique du matériau utilisé.

#### 4.4.3

Il est possible de représenter graphiquement cette sensation de confort et les différents facteurs qui l'affectent.

Le "schéma bio-climatique" (9) décrit la zone de confort en relation avec la température de l'air et l'humidité relative. En dehors de cette zone on devra agir sur les autres facteurs physiques, le mouvement d'air, la ventilation, l'ensoleillement, la radiation thermique et l'évaporation de l'humidité absorbée.

La superposition du schéma de Olygay avec le schéma tenant compte des conditions locales moyennes pour Kaolack indique qu'il faudra, la nuit, favoriser la radiation thermique pour les mois de Décembre, Janvier, Février, Mars et Avril, et la ventilation pour les mois de Mai, Juin, Juillet, Août, Septembre, Octobre et Novembre (voir figure 6). Le jour, fournir une bonne isolation thermique et protection contre les vents secs et chauds pour les mois de Mars, Avril, Mai et la ventilation pour le reste de l'année (humidité) (voir figure 7).

#### 4.5

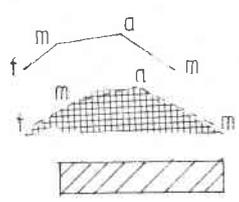
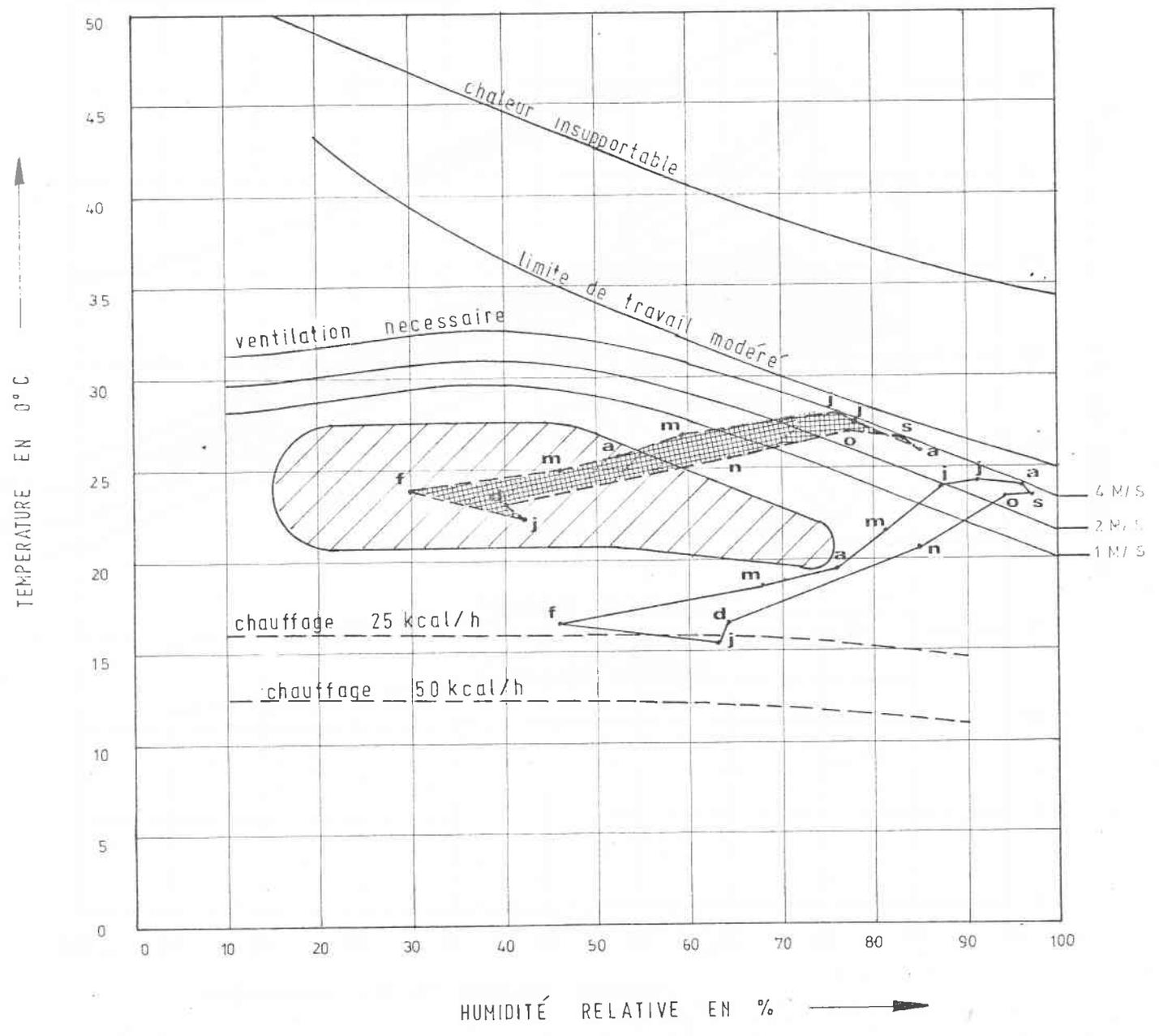
##### INERTIE THERMIQUE

La différence qui existe entre les conditions bio-climatiques diurnes et nocturnes pose ici un problème particulier en saison sèche. On souhaiterait se protéger contre le rayonnement thermique pendant la journée et au contraire, de favoriser ce rayonnement pendant la nuit afin de réchauffer l'atmosphère.

.../...

(9) "Biochimatic approach to architectural regionalism"  
V. Olygay Princeton 1963.

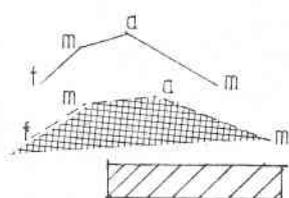
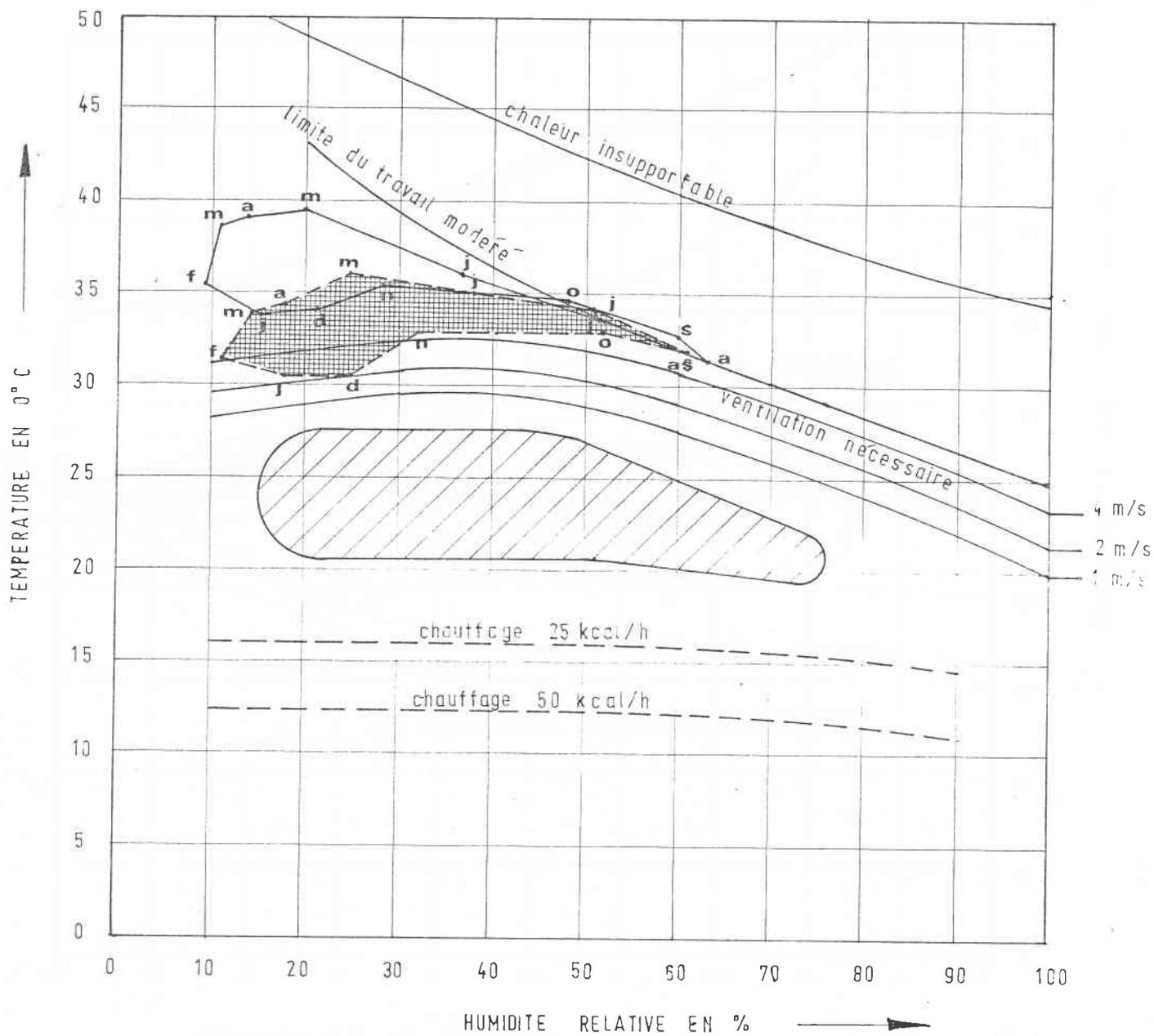
### CONFORT PENDANT LA NUIT



climat naturel  
 climat protégé dans la maison  
 zone de confort sans ventilation

FIGURE 6.

CONFORT PENDANT LA JOURNÉE



climat naturel  
 climat protégé dans la maison  
 zone de confort sans ventilation

FIGURE 7.

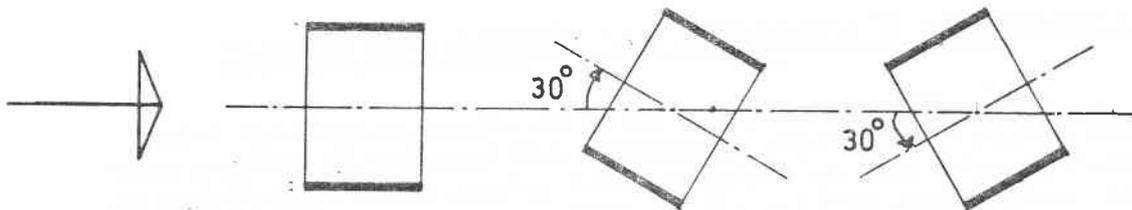
Dans de telles circonstances, le meilleur isolant sera celui qui emmagasiner une grande quantité de chaleur pendant la période d'échauffement et qui la restituera ensuite (isolation par accumulation).

Les figures 6 et 7 montrent l'influence de l'inertie thermique d'un bâtiment dont les murs et la toiture sont de 15 cm d'épaisseur en terre stabilisée sur le climat à l'intérieur du bâtiment en comparaison avec le climat naturel à l'extérieur (voir calcul de l'inertie thermique en annexe IV).

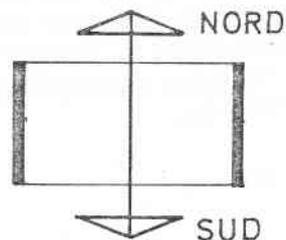
## 4.6

ORIENTATION ET CLIMAT A L'INTERIEUR D'UN BATIMENT

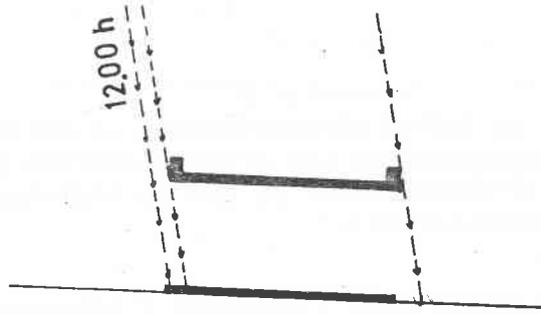
Il y a parfois contradiction entre la nécessité d'orienter l'axe longitudinal et les ouvertures du bâtiment perpendiculairement à la direction des vents dominants (spécialement en saison humide) et celle d'éviter la pénétration directe du soleil dans le bâtiment aux heures les plus chaudes. On a alors recours à une solution de compromis jouant sur une tolérance de  $30^\circ$  par rapport à la direction des vents dominants en saison chaude.



Dans les zones tropicales, l'altitude du soleil est telle que la façon la plus économique de protéger les façades principales (ouvertes) est de les orienter Nord-Sud (c'est-à-dire l'axe longitudinal dans la direction Est-Ouest).



En effet, la façade Sud (ou Nord) sera celle exposée aux heures les plus chaudes de la journée mais avec un angle d'incidence des rayons solaires très grands, vu qu'à cette période (12 heures) le soleil se trouve au point le plus haut de sa trajectoire.



Toutefois, "l'angle d'incidence" des rayons solaires change constamment suivant le mouvement de la terre par rapport au soleil, et la bonne orientation du bâtiment ne sera pas suffisante pour éviter la pénétration des rayons solaires pendant les périodes de surchauffe.

Les "diagrammes d'angles solaires" (8) déterminent les angles solaires critiques correspondant aux positions extrêmes du soleil (21 Juin et 21 Décembre lorsque le soleil se trouve sur l'un des tropiques).

Les diagrammes présentés en annexe V donnent les angles critiques à considérer pour la latitude de  $14^{\circ}$  Nord (Dakar) et les heures de 7 heures à 17 heures couvrant la journée solaire.

4.7

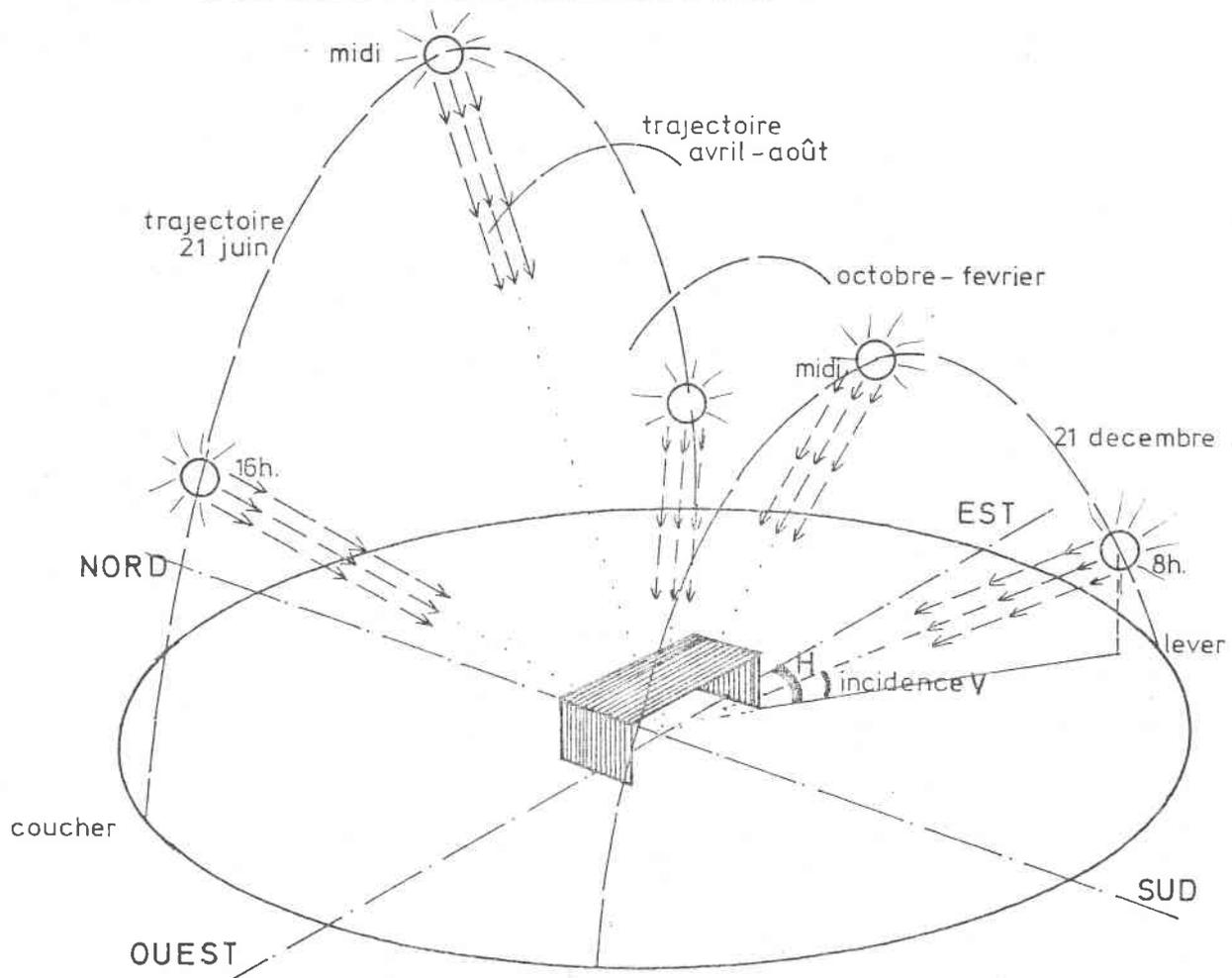
#### L'ORIENTATION ET L'ECLAIRAGE A L'INTERIEUR D'UN BATIMENT

Les activités dans une salle de classe exigent un très bon niveau d'éclairage, notamment, suffisamment de lumière pour bien pouvoir lire de distance ainsi qu'une bonne répartition de la lumière sans qu'il y ait de fortes contrastes qui fatiguent les yeux et diminuent la concentration sur le travail.

Ce qui est évident si l'on est amené à choisir une orientation de compromis pour capter les vents dominants, il faut alors avoir recours à des moyens architecturaux qui auront pour fonction d'éviter le rayonnement direct tout en permettant le passage de la lumière et de la ventilation transversale en saison humide (crous, pare-soleil, claustra, etc...). Le choix et la conception de ces "moyens nécessitent une étude précise des angles solaires d'incidence.

(8) voir "Protection solaire" Bussat, Sonderberg, Beyrouth 1971

## LE MOUVEMENT APPARENT DU SOLEIL



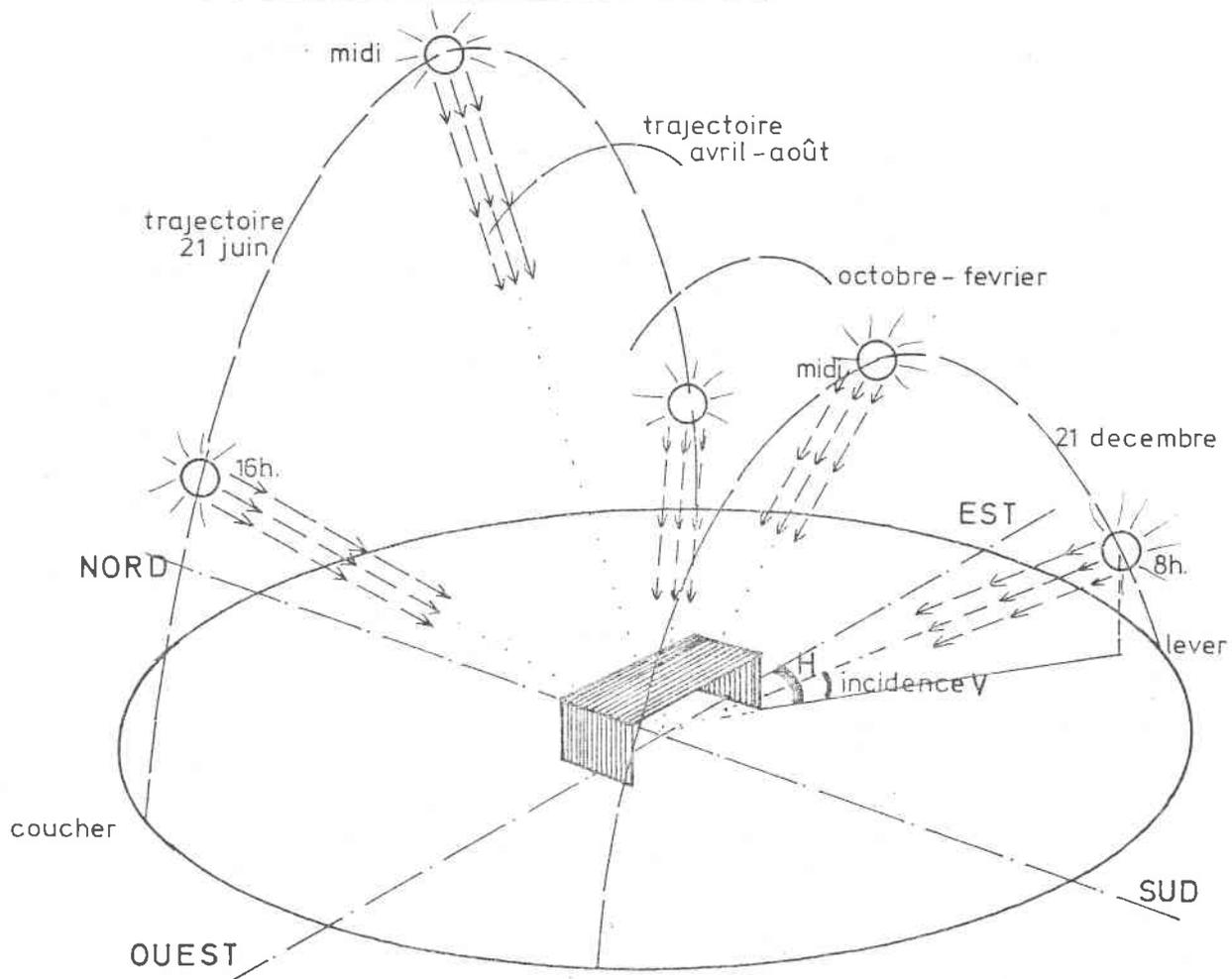
Il importe d'empêcher la pénétration directe du soleil pendant les heures les plus chaudes. Le dessin montre pourquoi on conçoit des pare-soleil pour arrêter le rayonnement le 21 Juin et le 21 Décembre.

Deux angles doivent particulièrement être considérés : l'angle  $V$  (hauteur verticale du soleil au-dessus de l'horizon) et l'angle  $H$  (angle horizontal entre la direction du soleil et l'axe Est-Ouest).

- réf. Rapport sur la construction scolaire N° 2  
Bureau Régional de l'Unesco pour l'Education  
en Asie.

FIGURE 8.

## LE MOUVEMENT APPARENT DU SOLEIL



Il importe d'empêcher la pénétration directe du soleil pendant les heures les plus chaudes. Le dessin montre pourquoi on conçoit des pare-soleil pour arrêter le rayonnement le 21 Juin et le 21 Décembre.

Deux angles doivent particulièrement être considérés : l'angle  $V$  (hauteur verticale du soleil au-dessus de l'horizon) et l'angle  $H$  (angle horizontal entre la direction du soleil et l'axe Est-Ouest).

- réf. Rapport sur la construction scolaire N° 2  
Bureau Régional de l'Unesco pour l'Education  
en Asie.

FIGURE 8.

# 5 - PRESENTATION DU PROJET

## 5.1 PROGRAMME ARCHITECTURAL

Le Centre de Formation Agricole à Nianing (C.F.A.N.), créé par CARITAS-SENEGAL, est de caractère régional. Le C.F.A.N. offre des cours de formation théorique et pratique dans le domaine des cultures maraîchères et du petit élevage.

### 5.1.1 Effectif

Le Centre de Formation Agricole à Nianing est destiné à la formation d'une cinquantaine de stagiaires permanents pour une formation de deux ans (37 pour le cycle 1975-1977). A cela s'ajoute la formation des fils de paysans des villages environnants qui effectuent des stages intermittents d'un mois/deux fois par an/par groupe. Quatre groupes de 24 fils de paysans provenant de villages différents s'alternent au cours de l'année de formation, (8 mois sur 12) ce qui porte l'effectif total du centre à environ 64 stagiaires (61 pour 1975-77). Le personnel d'encadrement comprend 9 personnes réparties comme suit :

- cours théoriques	:	2
- gestion	:	1
- agriculture	:	3
- élevage	:	2
- cuisine	:	1

### 5.1.2 Emploi du temps du mois d'Octobre à la fin du mois de Mai

1) Pour les stagiaires :

8h00	à 12h00	:	Cours pratiques (travaux pratiques sur l'exploitation) - extérieur
12h00	à 15h00	:	Déjeuner, sieste, détente, lecture
15h00	à 17h00	:	Cours théoriques
17h00	à 19h00	:	Travaux pratiques
19h00	à 20h00	:	Repas du soir
20h00	à 21h30	:	Etude en chaîne

.../...

Congés : Juin à mi-Juillet

Mi-Juillet à fin Septembre : Culture d'hivernage (pas de cours théoriques)

Pendant les vacances, il y a des cours de recyclage pour les encadreurs.

2) Pour les fils de paysans :

8h00 à 10h00 : Cours théoriques (salle de classe)

10h00 à 12h00 : Travaux pratiques sur le terrain

15h00 à 19h00 : Travaux pratiques sur le terrain.

5.2

### PROGRAMME DE CONSTRUCTION

- 2 logements de professeurs extensibles de 2 pièces chacun (1 douche par chambre)
- 1 logement pour surveillants de travaux, soit 4 chambres avec douches
- 10 logements pour stagiaires, chacun d'une pièce pour 4 lits (lits superposés)
- 3 logements fils de paysans, chacun d'une pièce pour 4 lits (lits superposés)
- 1 salle de classe pour 40 élèves
- 1 salle polyvalente ouverte pour cours, jeux, rencontres. etc... soit :
  - 40 places assises avec tables
  - 60 places assises (minimum) sans table
  - 1 magasin (minimum) de 12 m<sup>2</sup>
- 1 cuisine, soit :
  - 1 magasin
  - 1 salle de préparation de cuisson et de plonge (semi-ouverte)
  - 1 cour fermée
- 1 bibliothèque avec salle de lecture pour 1.500 livres et 15 lecteurs
- sanitaires : 1 bloc-direction  
1 bloc professeurs et surveillants  
1 bloc avec douches stagiaires et fils de paysans.

Par voie humide et fosse septique.

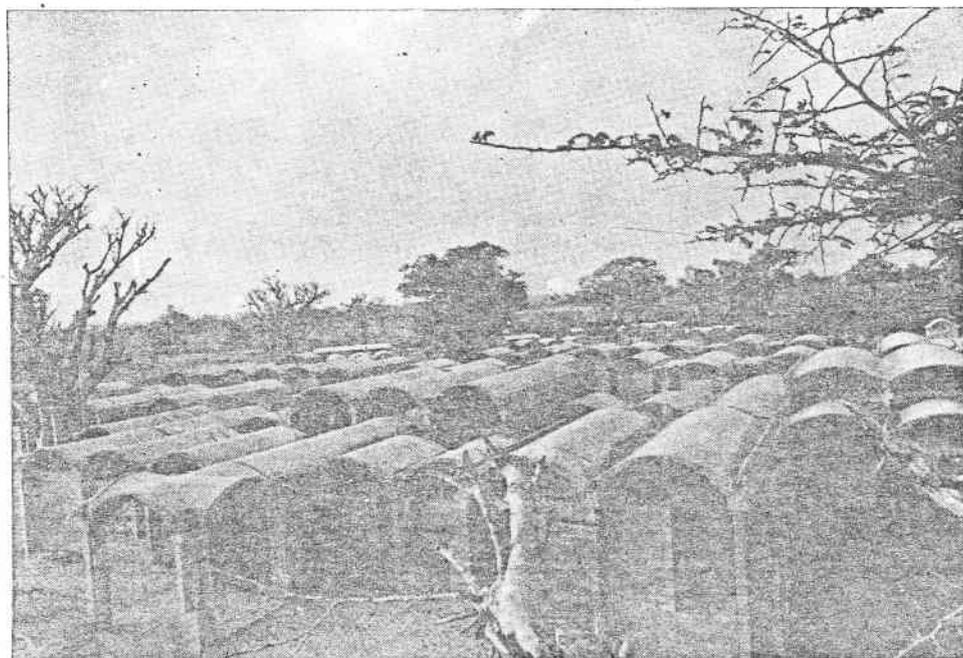


Photo 2 Entrée du C. F. A. N.

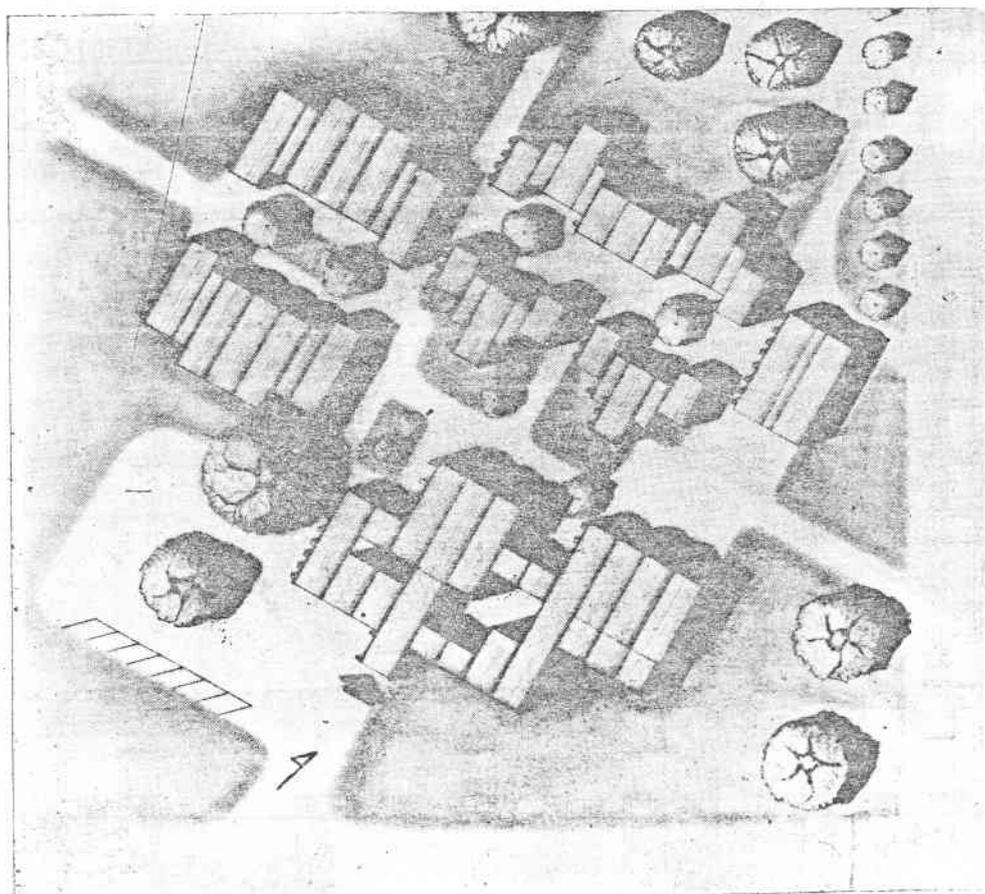
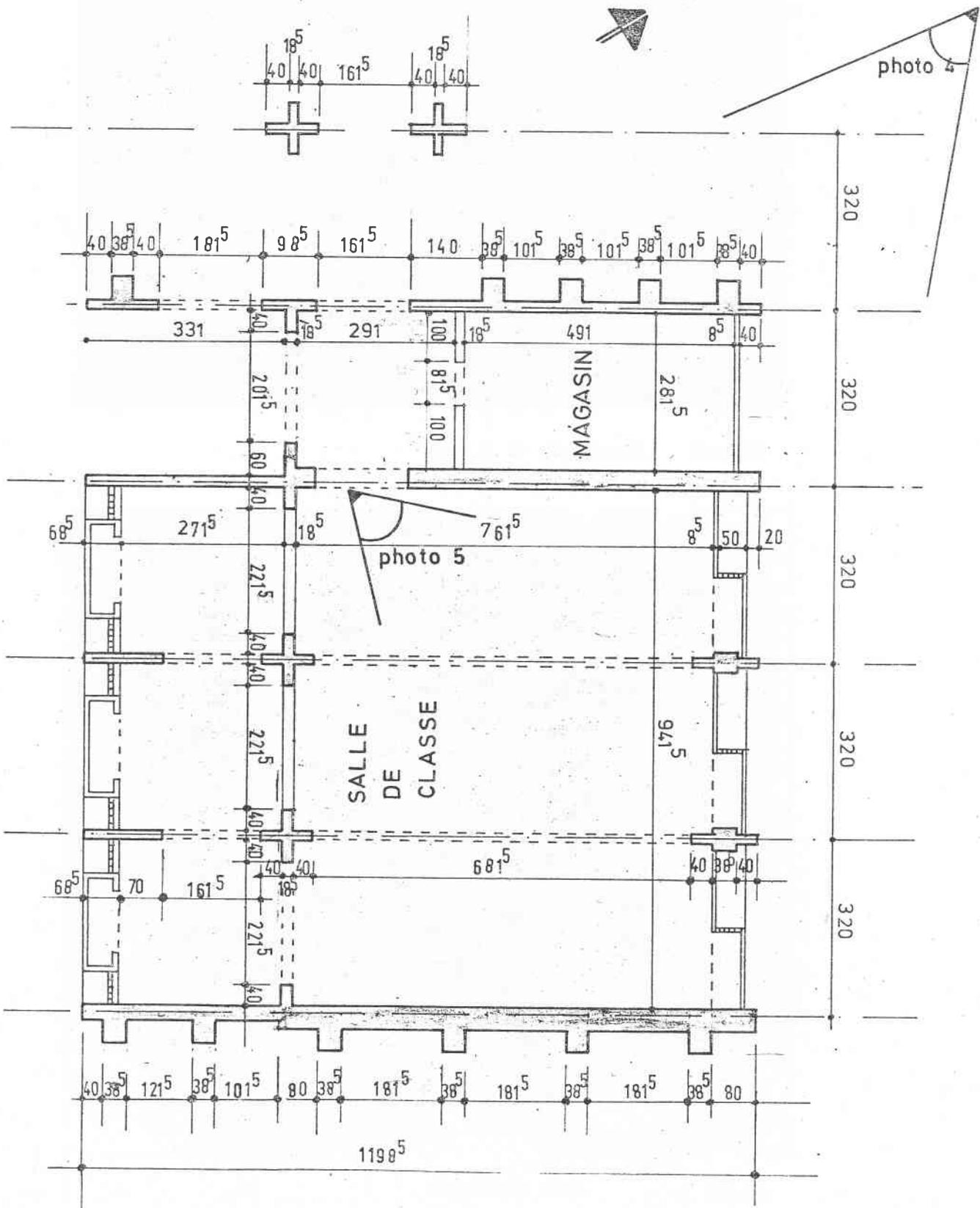


Photo 3 Plan de masse



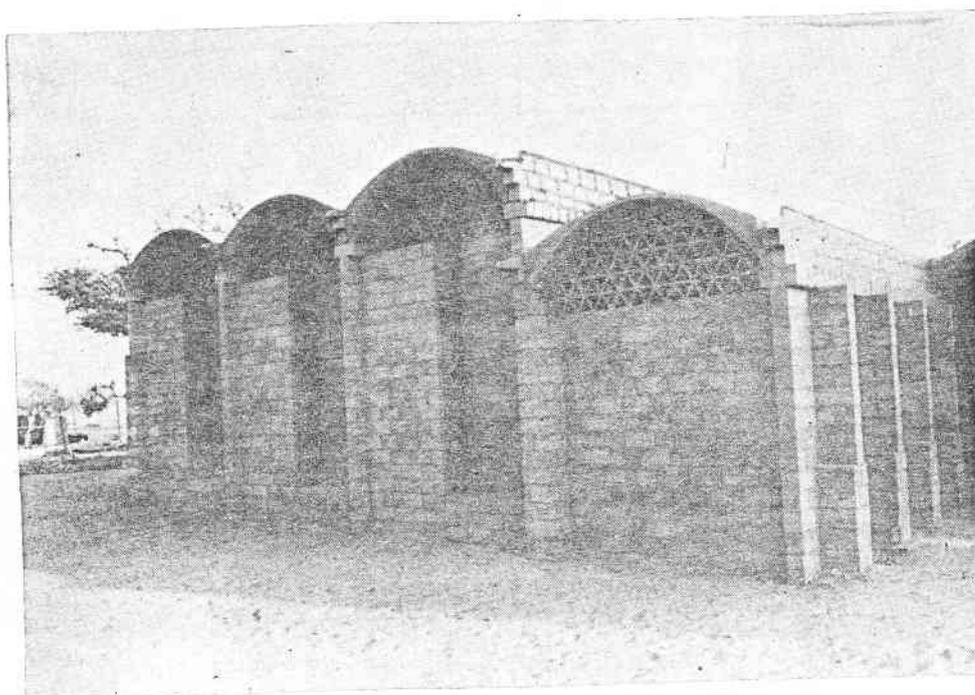


Photo 4 Façade Nord de la salle de classe

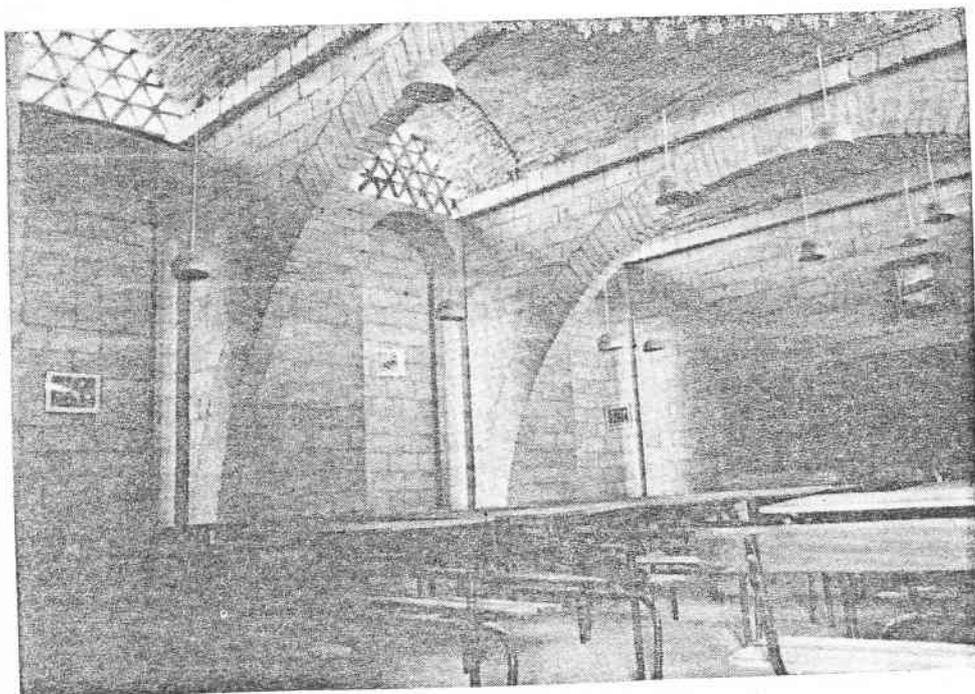
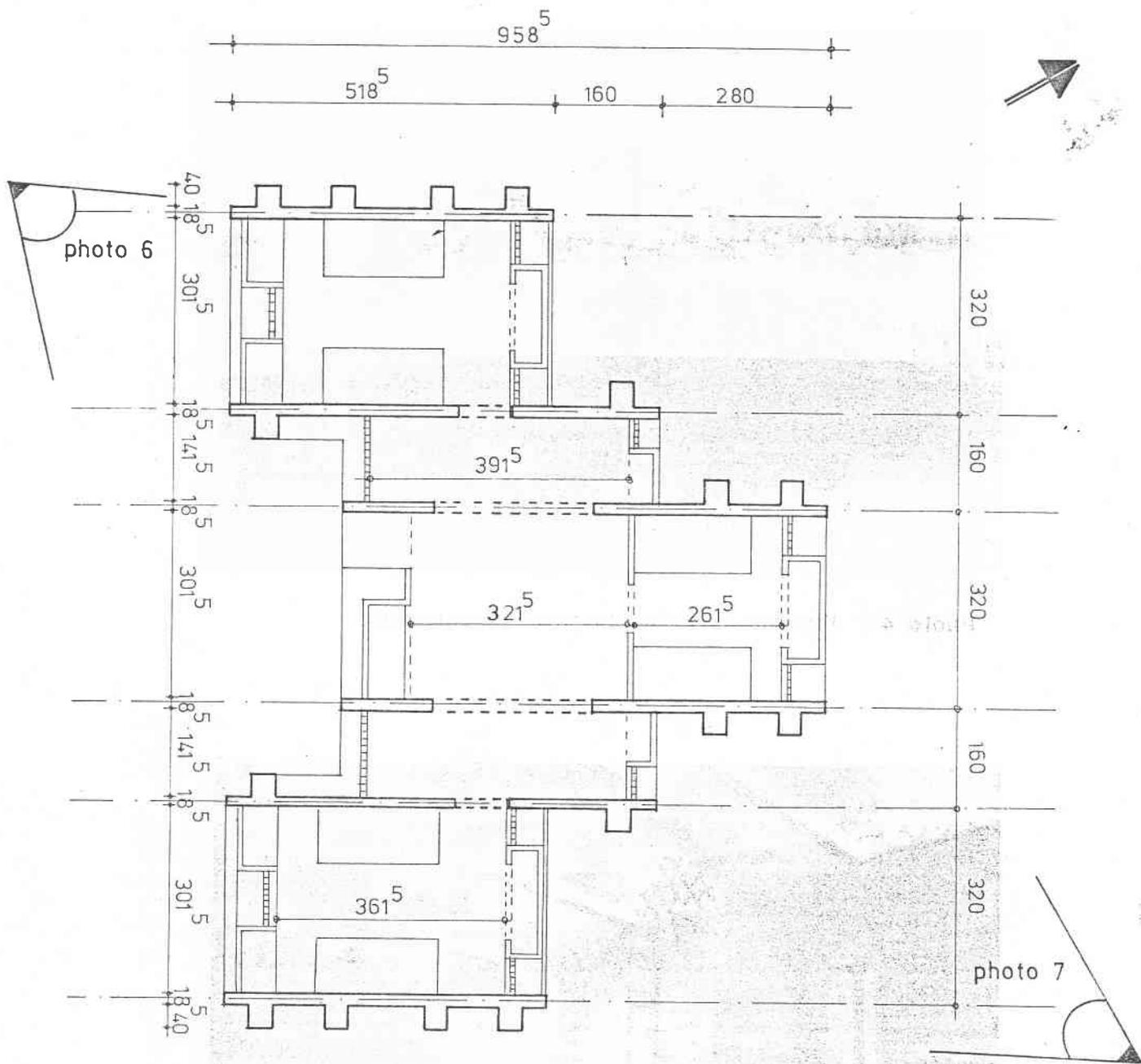


Photo 5 Intérieur de la salle de classe



SEVETE S71.  
POUR TEMENT

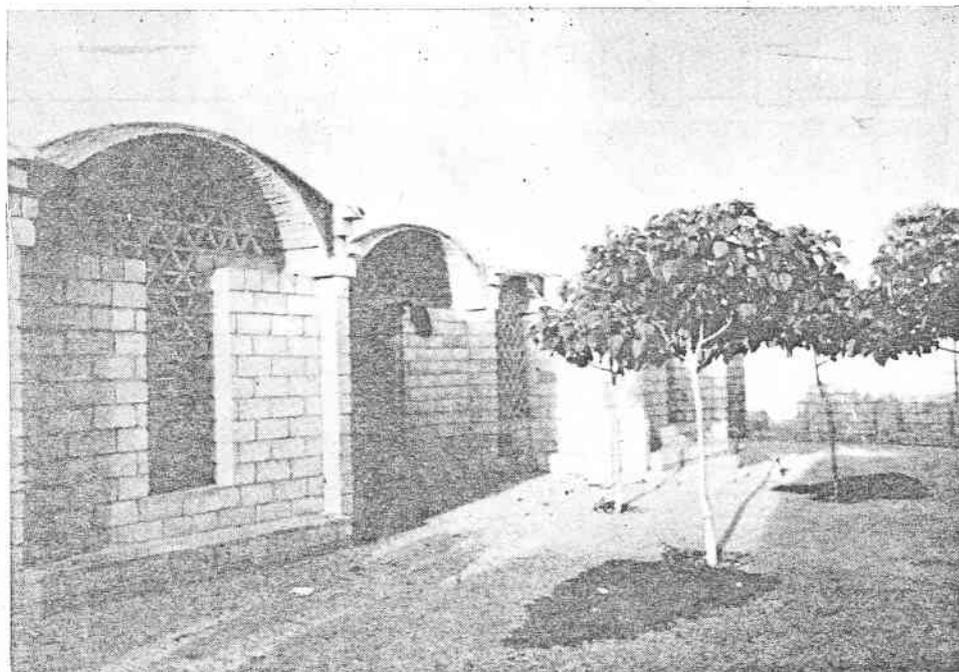


Photo 6 Façade des logements des étudiants qui donne sur la cour

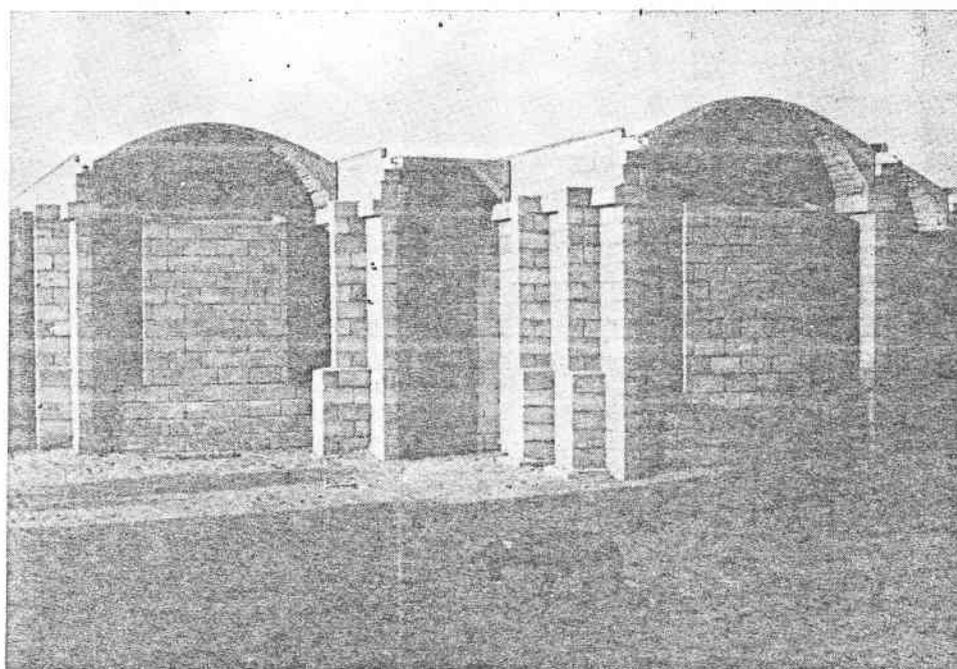
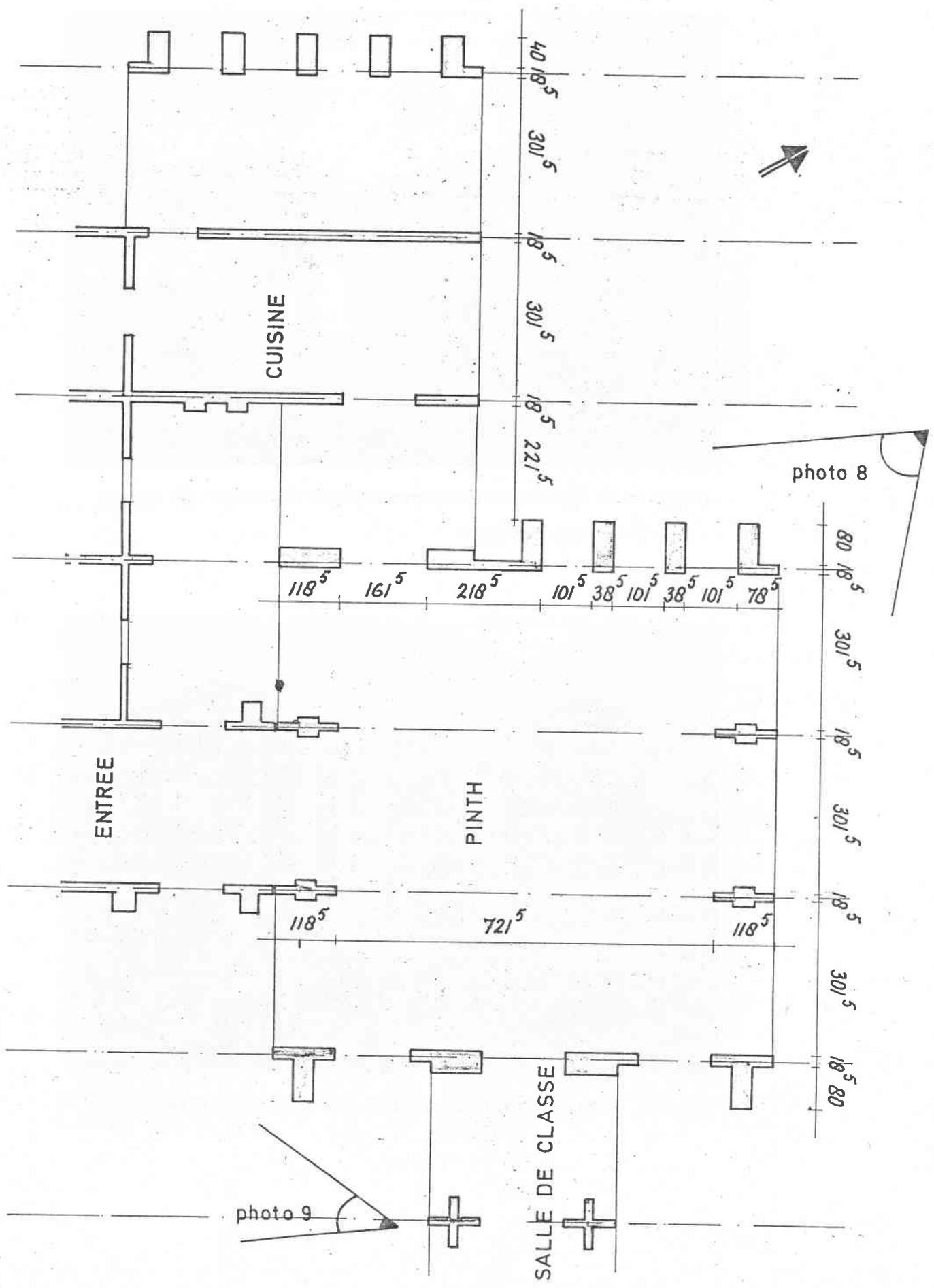


Photo 7 Façade des logements des étudiants à l'extérieur



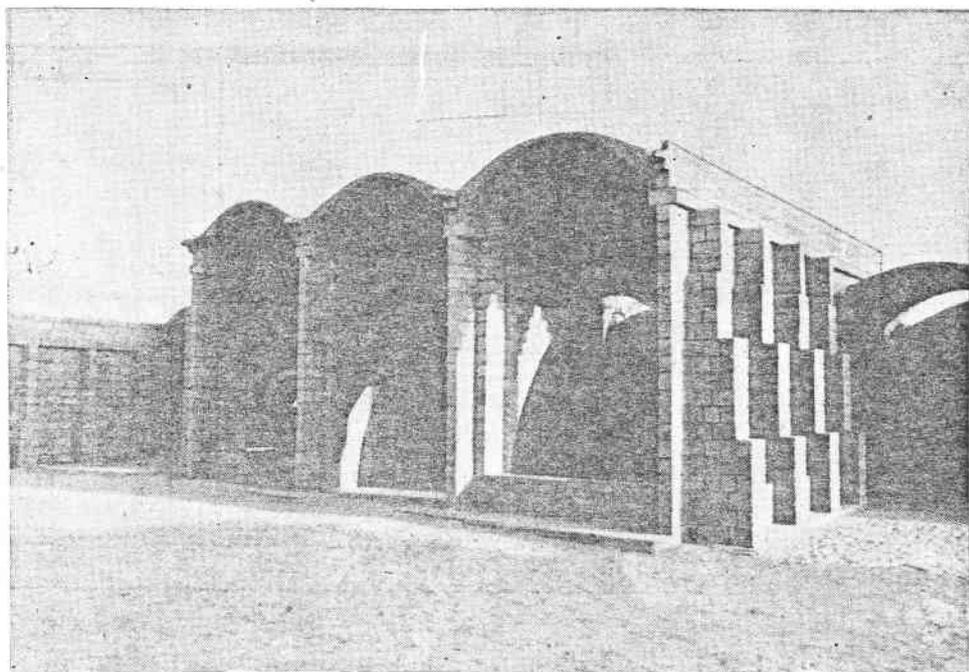


Photo 4 Façade Nord de la salle de classe

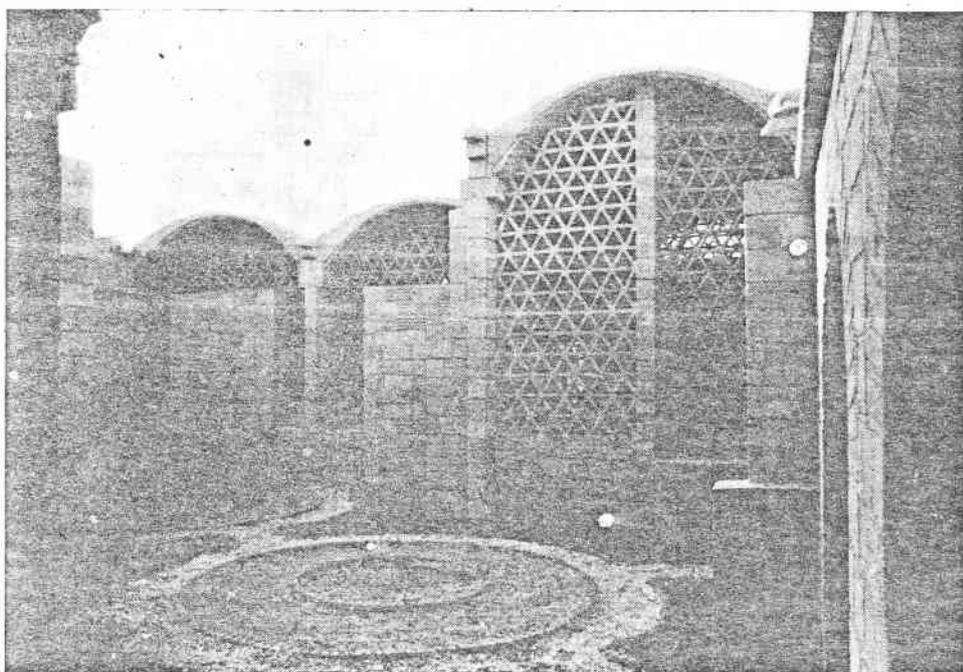
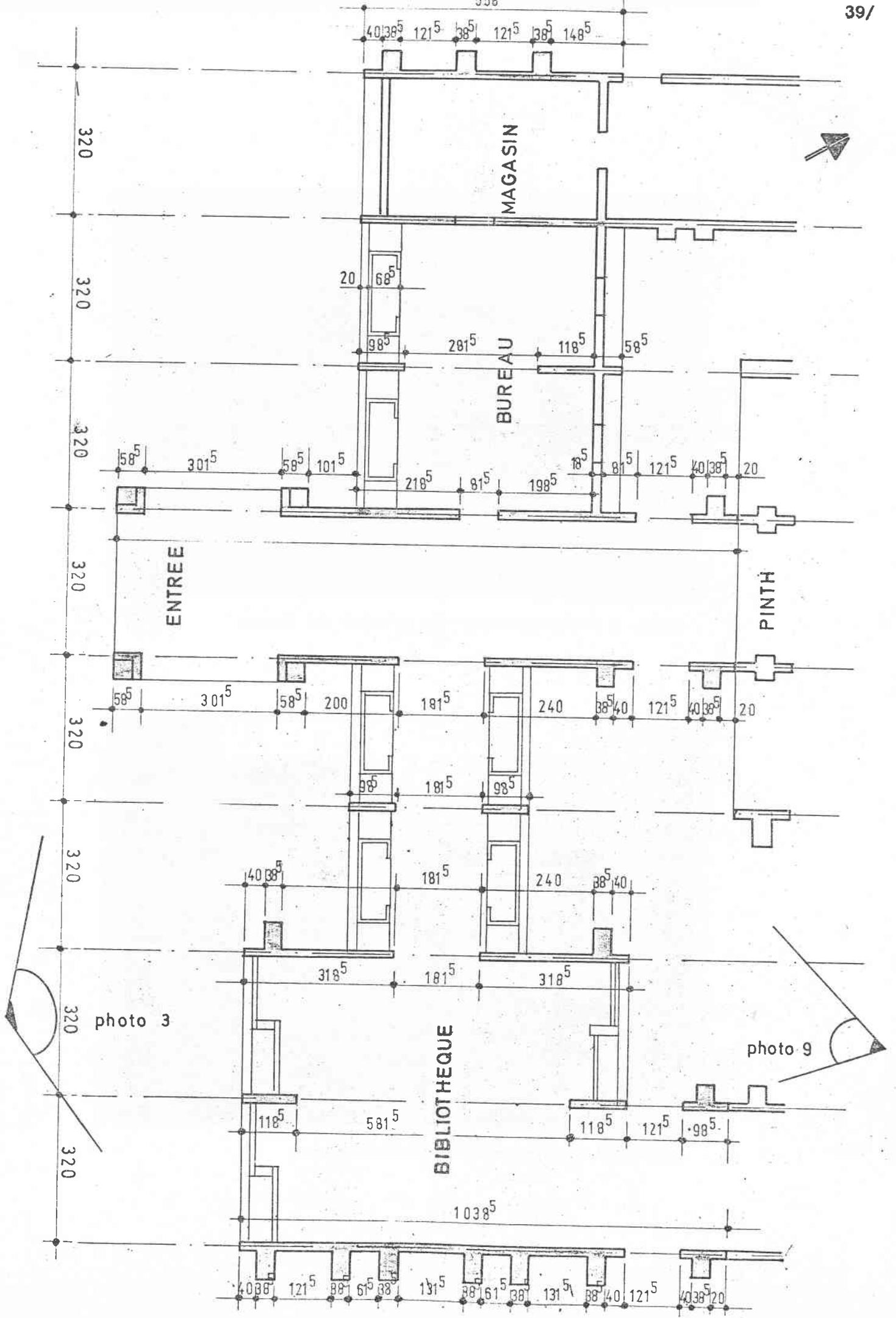
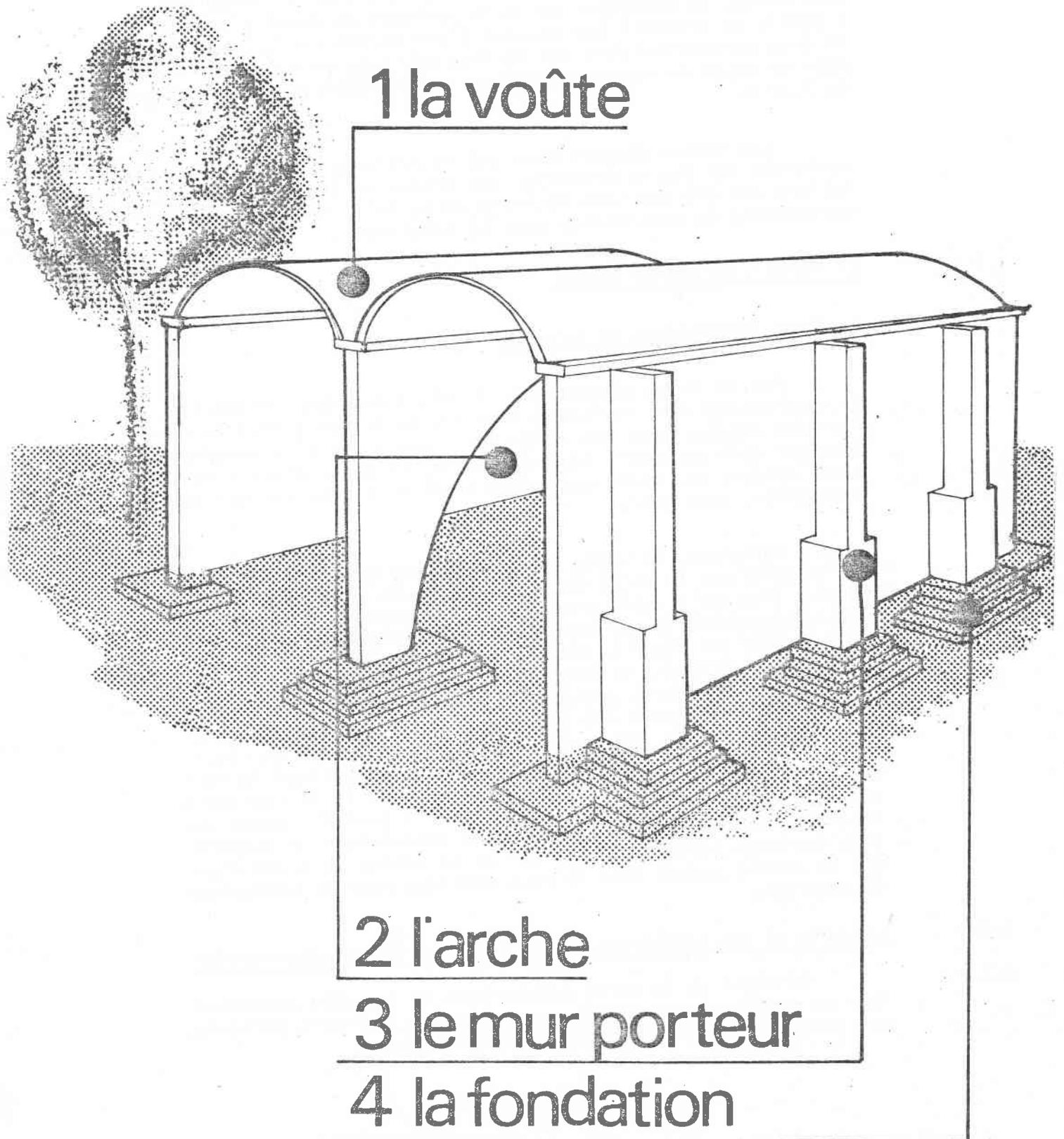


Photo 5 Intérieur de la salle de classe



## 6. DONNEES TECHNIQUES



6.1

LA TECHNIQUE DE CONSTRUCTION

Le système constructif expérimenté est caractérisé par des portées courtes, entre murs porteurs implantés selon des parallèles. Le percement des murs porteurs au moyen d'arches a permis de franchir des espaces d'une portée de 7,20 m. Dans le sens perpendiculaire des portées courtes, on a couvert l'espace au moyen de voûtes en mortier qui franchissent une portée de 3,20 m.

Les formes géométriques des fondations, des murs porteurs renforcés par des contreforts, des arches et des voûtes de la toiture ont été choisies de telle sorte qu'il n'y ait que des contraintes de compression dans la construction.

6.2

LA VOÛTE - LA PORTEE COURTE

6.2.1

La forme géométrique de la voûte

Par sa forme géométrique, il n'y a que des contraintes de compression dans la "voûte idéale". Cela nous permet de couvrir des espaces avec des matériaux travaillant à la compression qui sont abondants (sable, pierre, briques, etc...) sans avoir recours aux matériaux travaillant à la traction qui sont à importer, donc chers.

Toutefois, la voûte idéale n'existe pas. Souvent, il est suggéré que la forme de la chaînette en sens inverse soit idéale. Bien qu'il soit vrai que cette forme offre la plus grande résistance à une charge uniformément répartie sans moment positif ou négatif, des charges concentrées sur la voûte, la pression du vent, la fluctuation de la température de la surface de la voûte ou une consolidation inégale du sol de fondation pourront causer des moments positifs ou négatifs dans la voûte, y compris les contraintes de traction qui en résultent. Pour les voûtes de Nianing, nous avons appliqué la forme d'un arc de cercle qui s'approche beaucoup de la chaînette si son angle de cercle reste petit (voir figure 9). Comme les matériaux de construction disponibles nécessitent le support d'un coffrage pendant l'exécution de la voûte, la forme d'un arc de cercle semble être la plus pratique pour la production du coffrage.

6.2.2

La voûte et son influence sur la stabilité de la construction

6.2.2.1

Le choix de la forme géométrique de la voûte détermine tout un système constructif avec sa portée, ses murs porteurs, son architecture et son confort climatologique.

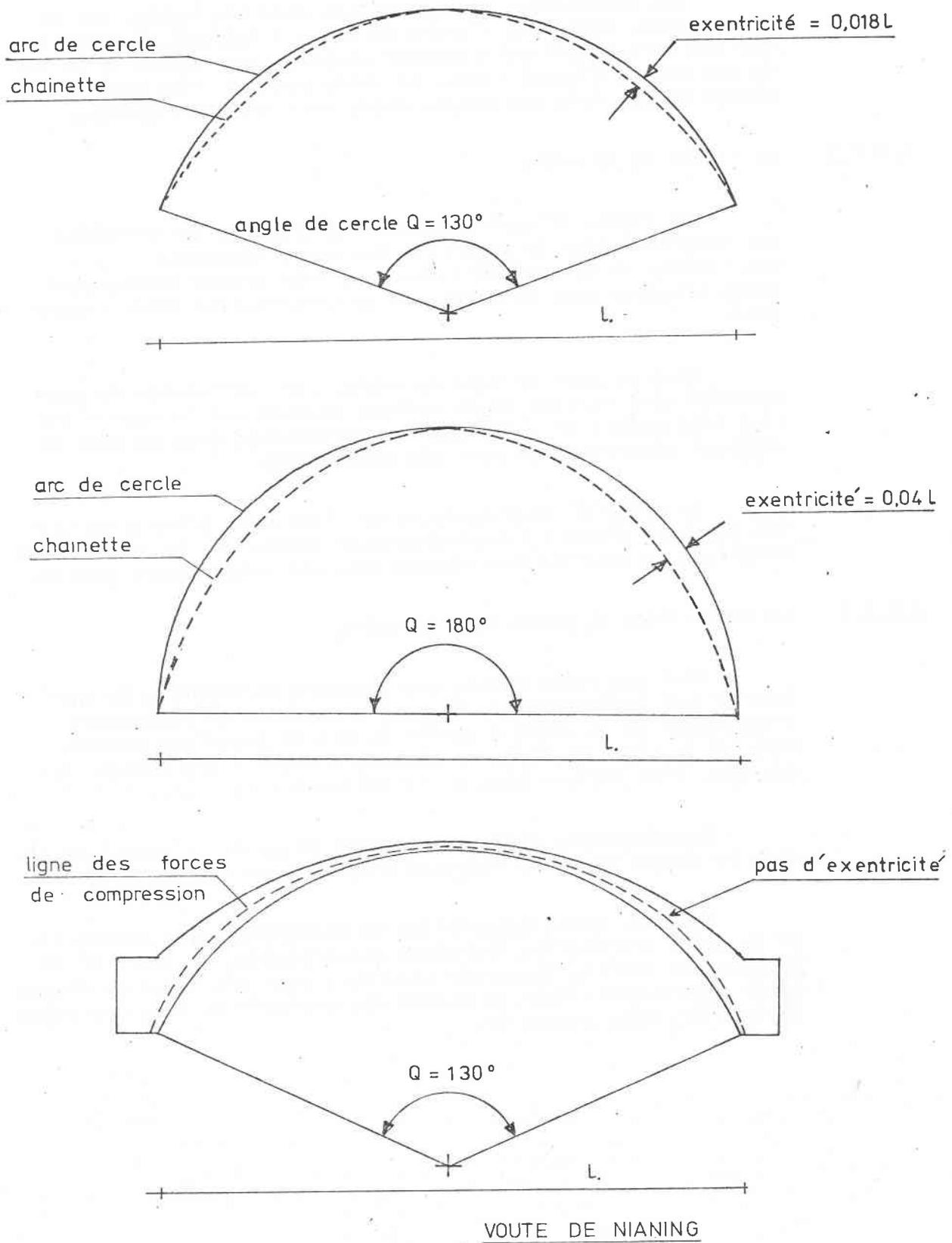


FIGURE 9.

Les contraintes de compression dans une voûte, qui est bien conçue, sont dans l'ordre de 0.5 - 1 kgf/cm<sup>2</sup>. A condition que les murs soient suffisamment stables pour fournir à la voûte des points d'appui fixes, la voûte pourrait résister à une charge de dix fois son propre poids uniformément répartie.

#### 6.2.2.2 La flèche de la voûte

La figure 10 montre qu'une augmentation de la flèche est favorable pour la stabilité des murs. Toutefois il y a une limite, là où une voûte avec une très grande flèche consomme beaucoup plus de matériaux de construction (voir figure 12b).

Dans ce dernier type de voûte, les contraintes de compression sont faibles et la surface touchée par le vent n'est plus négligeable de sorte que les contraintes dues au vent deviennent déterminantes pour une voûte mince.

La voûte N° II s'approche de l'optimale grâce à sa faible réaction d'appui à contrebalancer tandis que la quantité de matériaux de construction nécessaires est relativement petite.

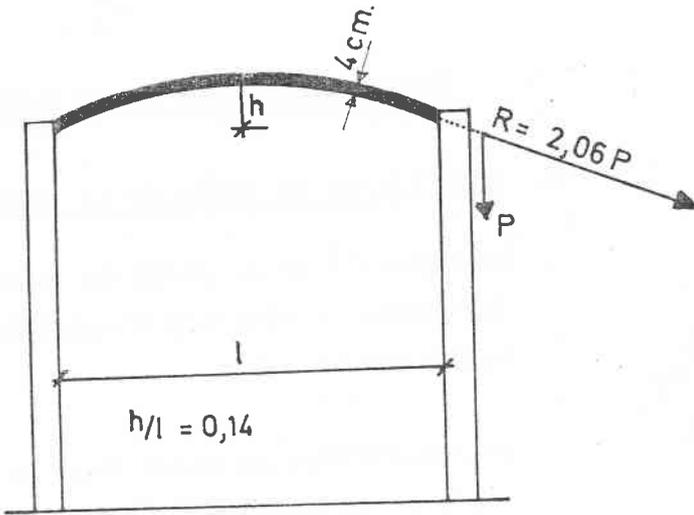
#### 6.2.2.3 La répartition du poids dans la voûte

Pour une voûte mince, une armature de treillis de poulailler est indispensable. On peut y renoncer en augmentant l'épaisseur de la voûte à partir du milieu jusqu'aux appuis. Même si la ligne de force se déplace à cause d'une charge concentrée, elle restera bien à l'intérieur de la voûte.

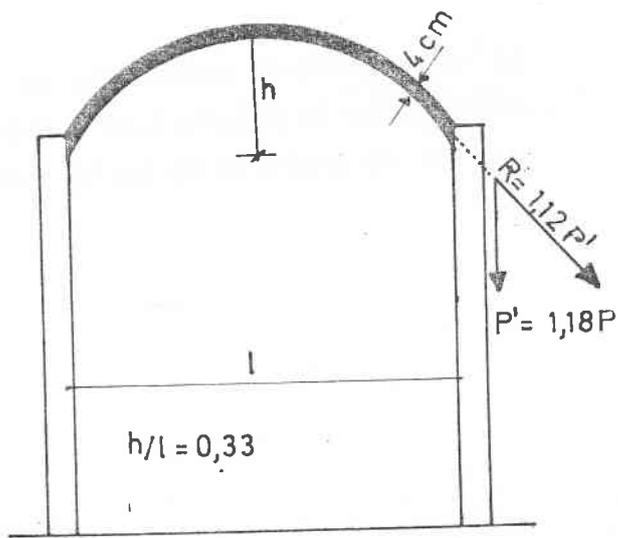
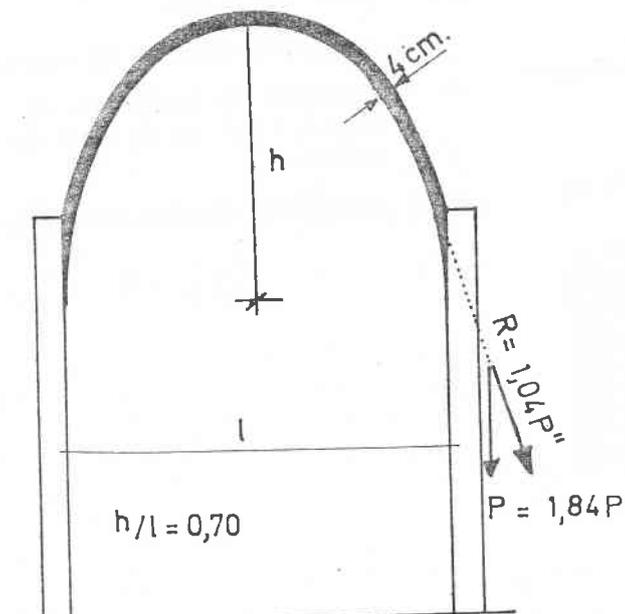
Deuxièmement, cette répartition du poids influence davantage la direction de la réaction d'appui (voir figure 11).

Ensuite, cette répartition du poids offre une possibilité de créer une inertie thermique selon besoin. La voûte N° IV possède une inertie thermique favorable pour une salle de classe (voir figure 12a). Pour le calcul des contraintes dans une voûte du type IV, voir annexe VI.

.../...



I VOUTE DU PROTOTYPE DE DAKAR

II VOUTE DONT LE CERCLE INTERIEUR  
COMME CELUI DU PROTOTYPE DE NIANING.

III VOUTE NUBIENNE

Forme géométrique de la voûteA. La flèche

Le rapport Hauteur/portée influence la réaction d'appui de la voûte sur le mur

Le rapport Hauteur/portée influence la consommation de matériaux de construction dans la voûte.

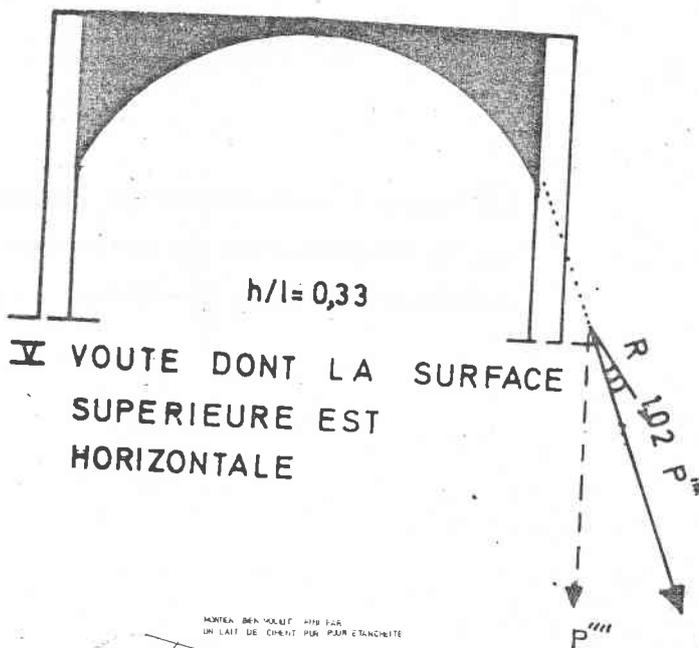
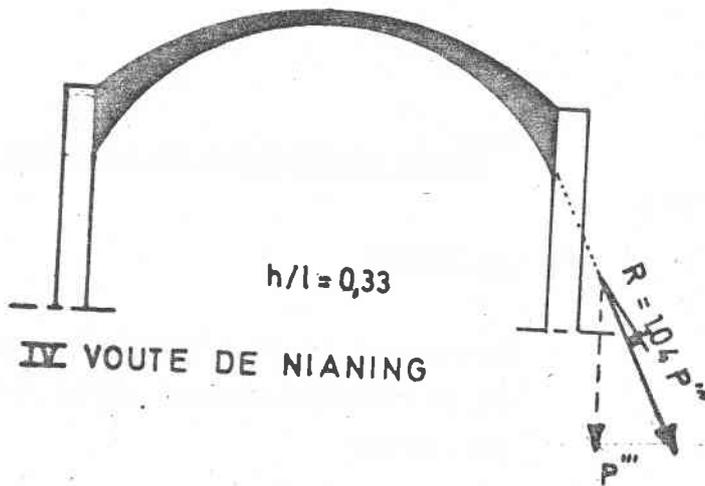
### Forme géométrique de la Voûte

#### B. Répartition du poids de la voûte

La répartition du poids de la voûte influence la réaction d'appui de la voûte sur le mur.

La répartition du poids dans la voûte offre une possibilité de créer une inertie thermique selon besoin.

La répartition du poids dans la voûte offre la possibilité d'économiser sur le treillis de poulailier.



### Production de la voûte

0. - pose coffrage
1. - première couche de mortier
2. - tranche de treillis de poulailier au milieu de la voûte
3. - deuxième couche de mortier

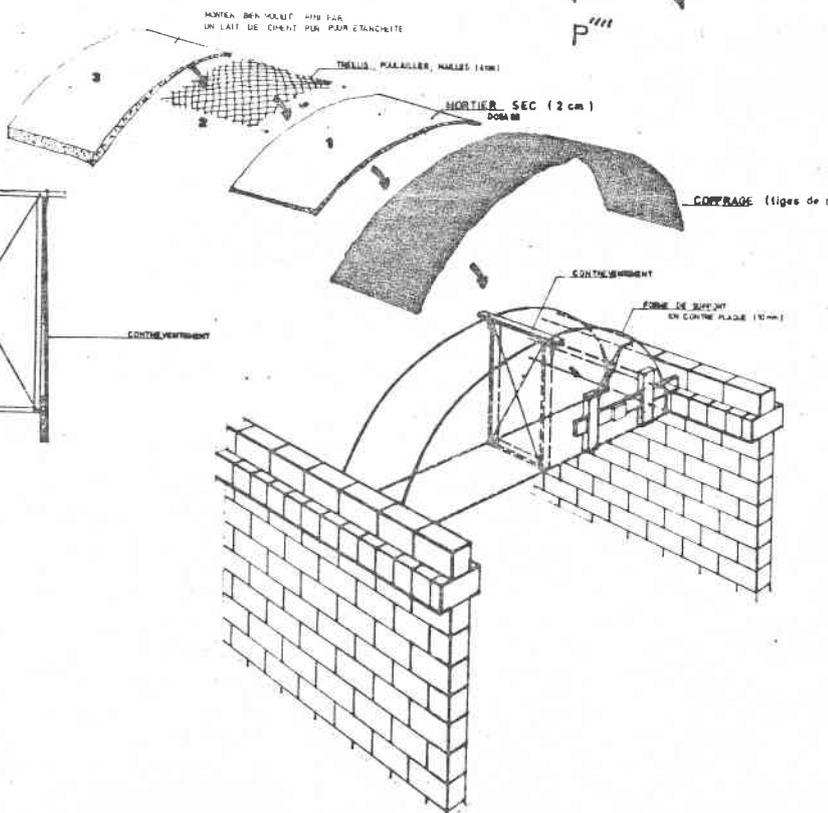
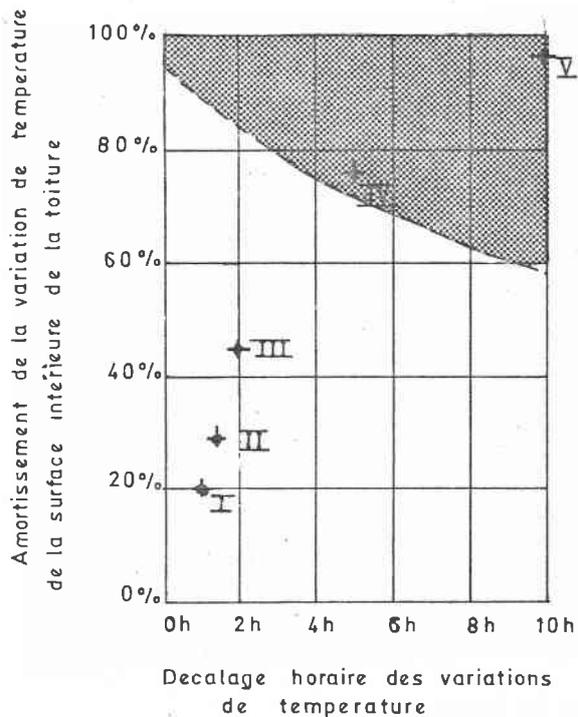
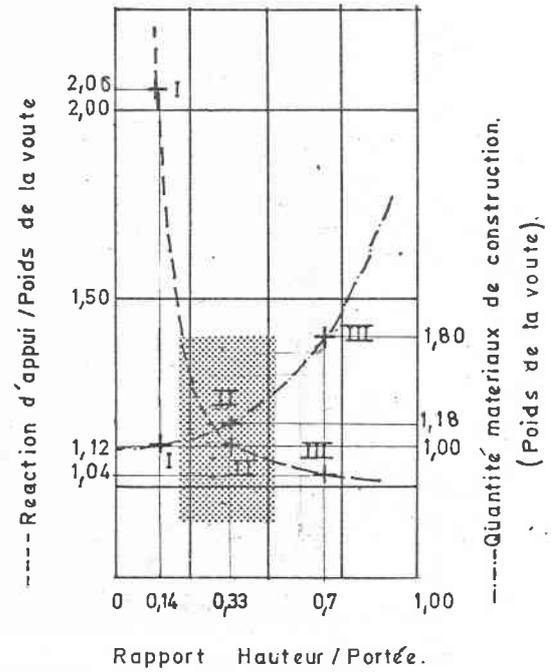


FIGURE 11

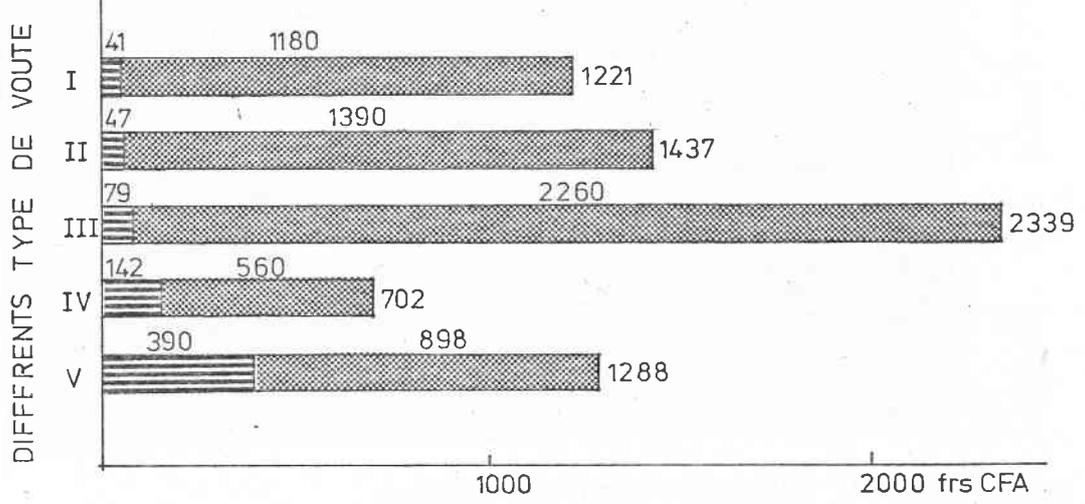


(A)



(B)

PRIX AU M2 DES MATERIAUX DE CONSTRUCTION LOCAUX ET SEMI-LOCAUX



(C)

matériaux locaux (sable)
 matériaux semi-locaux (ciment + treillis de poulailler)

FIGURE 12



Photo 10 Le coffrage de la voûte est posé



Photo 11 Vu à l'intérieur du coffrage

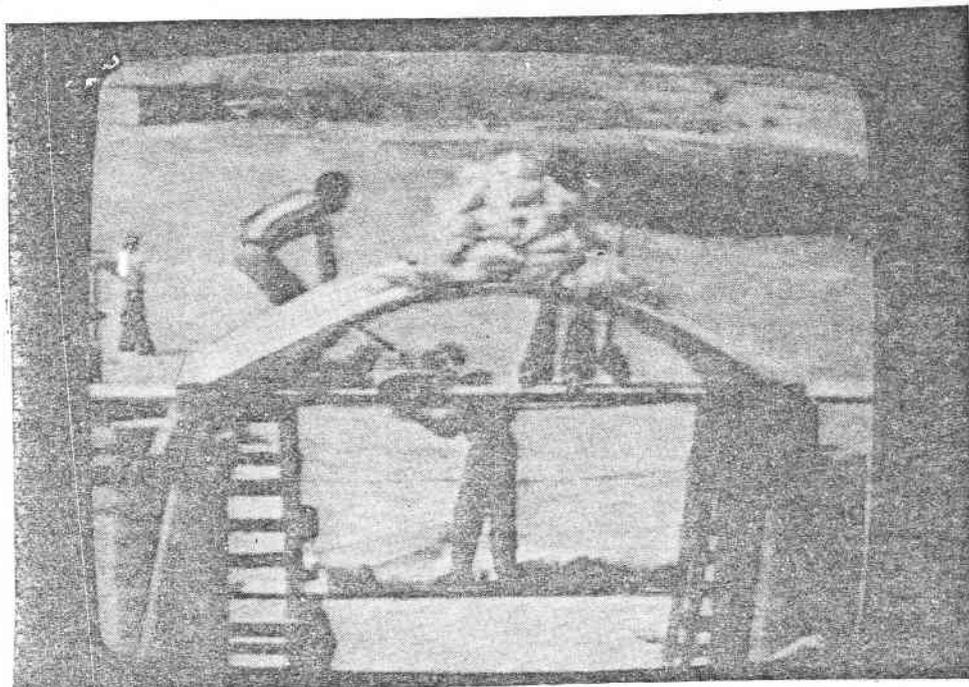


Photo 12 Essai de change de la voûte (1000 kgf)  
(au moment de photographier)

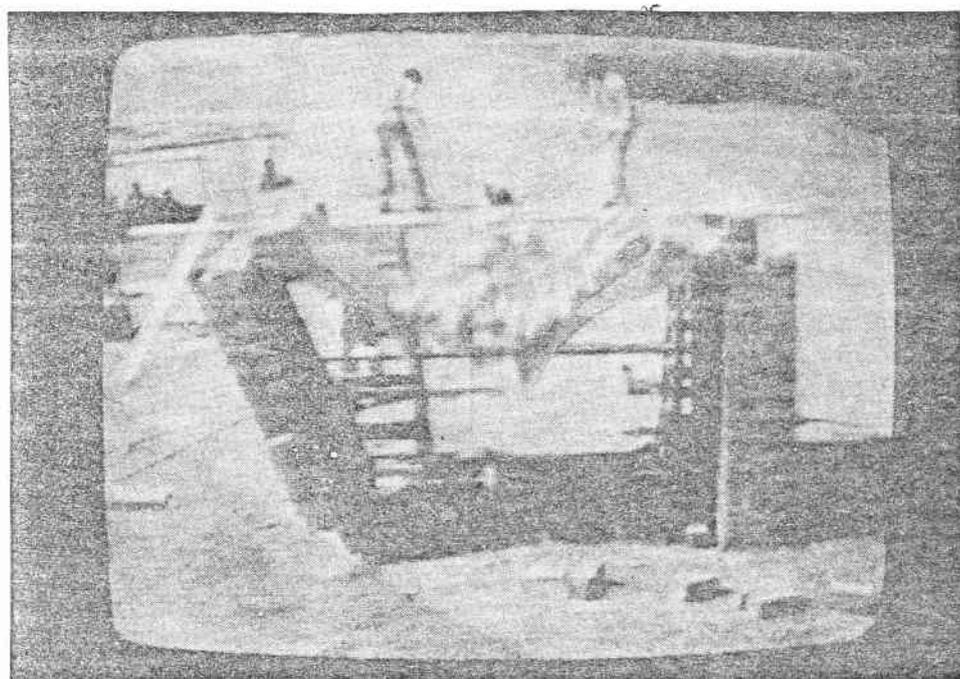
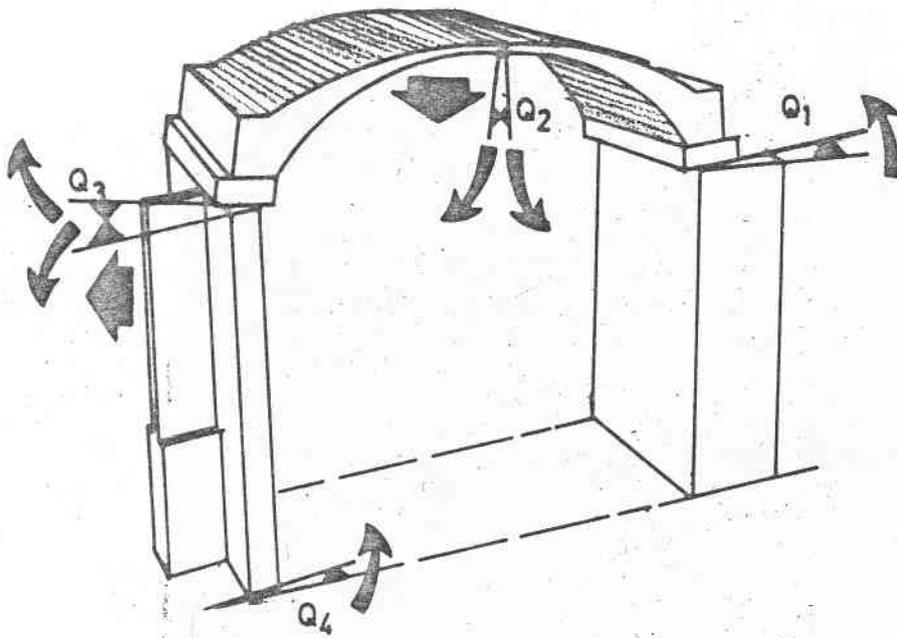


Photo 13 la voûte s'écroule sous une charge de 1200 kgf

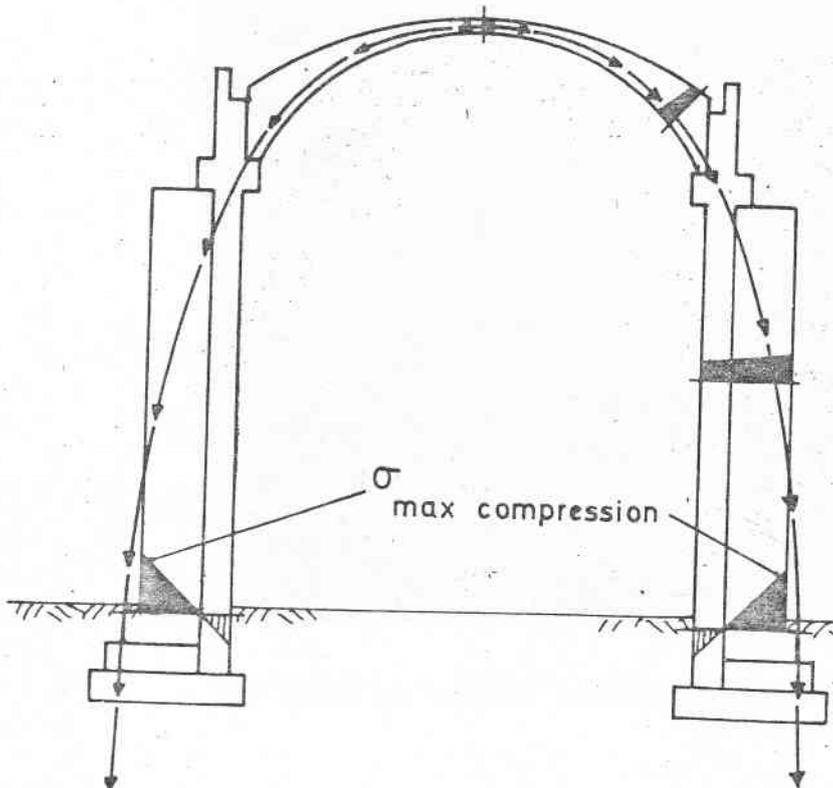


Exemple de déformation si la construction s'effondrait  
Supposons que le milieu de la voûte descend de 2 mm  
dans ce cas :

	fissure
tg Q1 = 0,0025	0,50 mm
tg Q2 = 0,0025	0,10 mm
tg Q3 = 0,00205	0,81 mm
tg Q4 = 0,0008	0,48 mm

La construction s'est effondue à cause de l'instabilité du mur du côté gauche, après une charge du milieu de la voûte de 750 kgf par mètre linéaire parallèle aux murs porteurs.

L'affaissement du sommet de la voûte juste avant son effondrement était de 2mm.



La figure à côté montre que la partie la plus sollicitée de la construction est la surface de contact entre le mur et la fondation. Là où la ligne de force se le plus, hors de la construction la rotation du mur sur cette surface a provoqué toutes les autres rotations de l'effondrement.

**FIGURE 13.**

### 6.2.3 Essai de rupture de la voûte

L'essai de rupture a montré que la voûte peut résister à des forces, plus grands que son propre poids. Toutefois, le résultat le plus important de l'essai est la confirmation que la stabilité des murs porteurs est déterminante pour la résistance de la construction entière.

La déformation de la voûte n'est que moins de 5 % de la déformation totale de caractère élastique. La déformation plastique se concentre dans quelques fissures bien indiquées (voir figure 13).

Pendant l'essai, la voûte a résisté à une charge concentrée au milieu de la voûte de 400 kgf. par mètre linéaire sans que des fissures soient devenues visibles et sans que l'on puisse mesurer un affaissement du sommet de la voûte.

## 6.3 LES ARCHES - LA GRANDE PORTEE

### 6.3.1 La forme géométrique de l'arche

La forme géométrique de l'arche permet de réaliser une grande portée en utilisant que des matériaux travaillant à la compression.

La forme géométrique de l'arche est déterminée par des facteurs de nature économique, technique et de l'exécution.

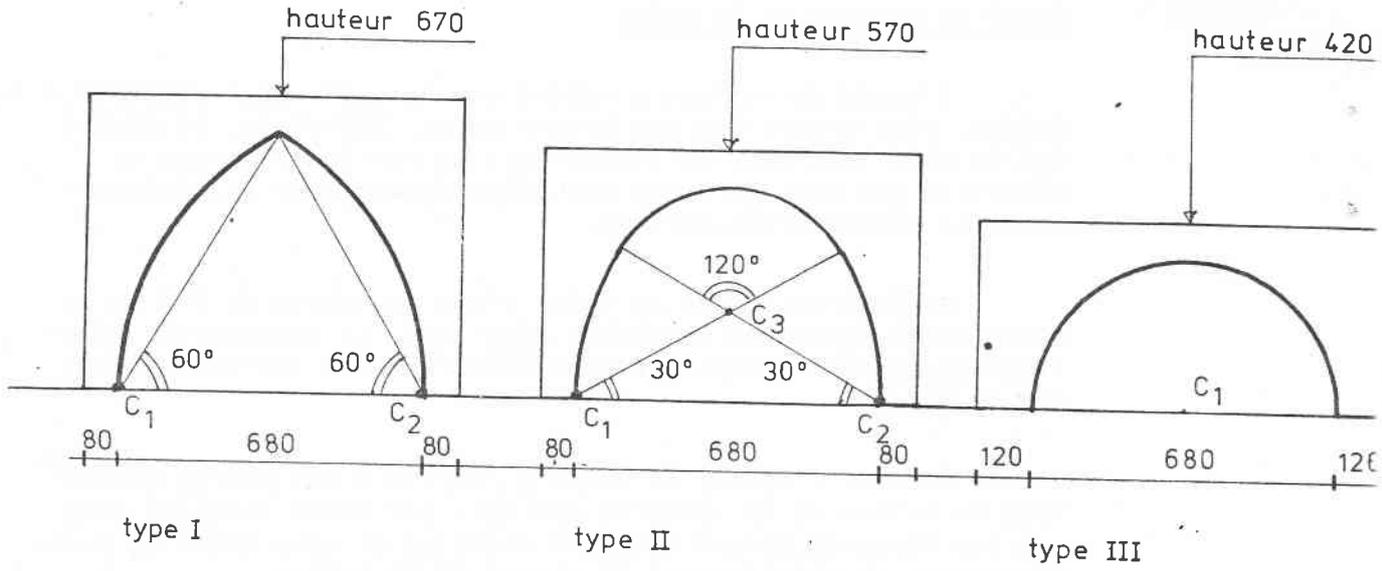
La figure 14 montre différents types d'arches. L'arche en plein cintre permet la moindre hauteur de construction donc est le plus économique. Son exécution à l'aide d'un seul centre de cercle est la moins compliquée (voir figure 15). Toutefois, la sollicitation de la fondation par des forces horizontales est plus grande que dans le cas des arches dont le rapport hauteur/portée est plus élevé. Pour la même raison des arches mébaissées ne sont pas à considérer.

### 6.3.2 La portée de l'arche

La portée de l'arche dépend :

- des besoins d'espaces
- de la résistance à la compression du matériau constituant
- de la nature du sol de fondation.

.../...



EXEMPLE :

Influence de la forme de l'arche sur le volume de maçonnerie pour la salle de classe Nianing

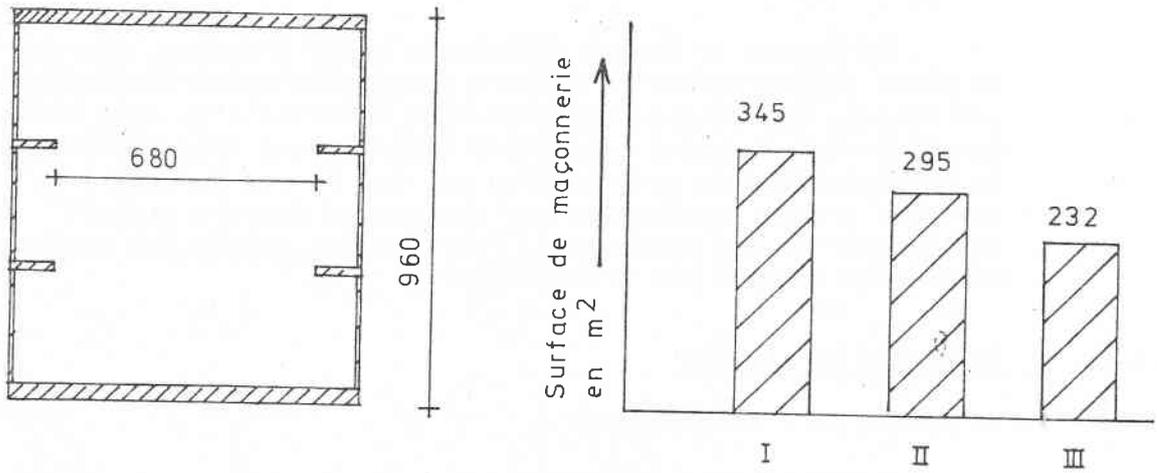


FIGURE 14.

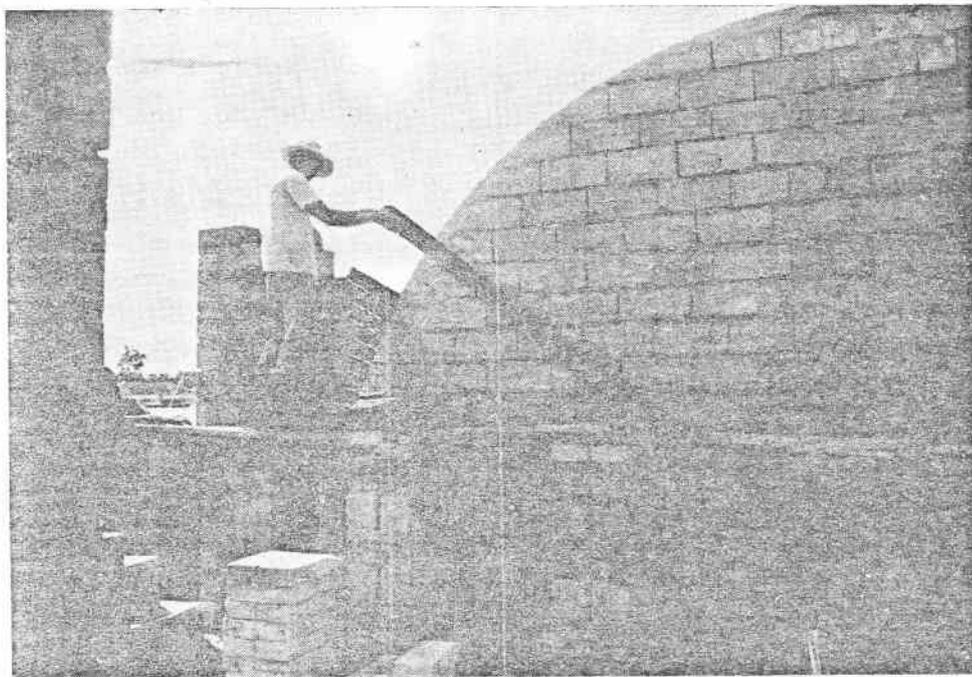


Photo 14 Construction de l'arche à l'aide d'un gabarit

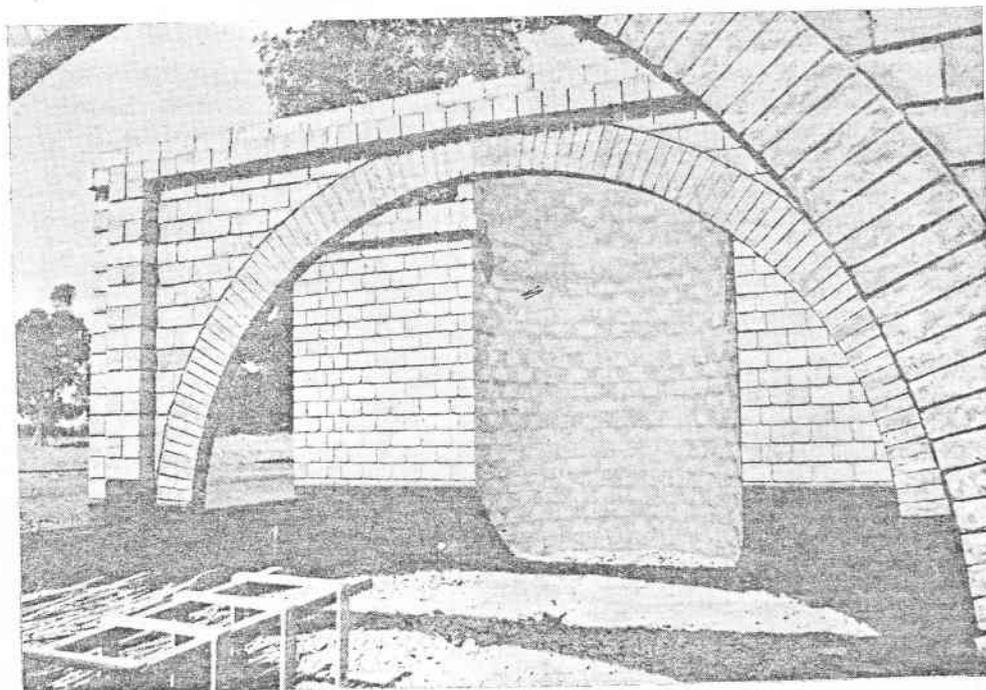
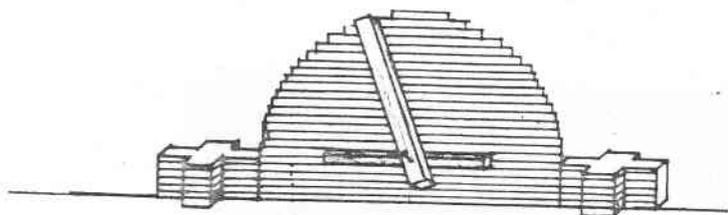
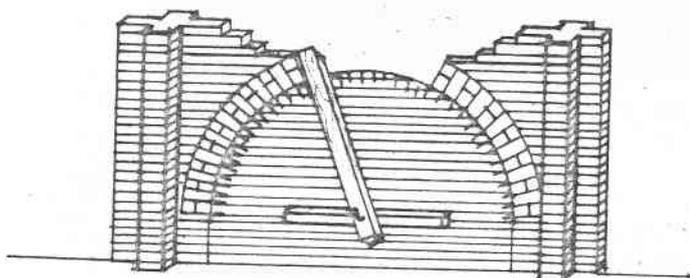


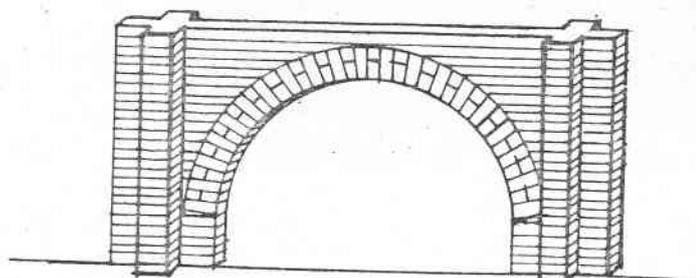
Photo 15 L'arche après l'enlèvement du "coffrage"



Entre les fondations une forme est élevée en blocs de ciment, en briques ou en briques séchées. Ces matériaux sont montés à sec. Un madrier est posé dans cette forme pour marquer le centre de l'arche. Une planche est clouée sur le madrier. La largeur de la planche correspond à l'épaisseur du bloc du ciment.



La forme est arrondie avec de la terre stabilisée. Les extrémités du mur sont montées avant ou même en même temps que l'arche pour éviter que l'arche devienne gauchie.



La forme de l'intérieur est démontée et les matériaux peuvent être réutilisés. Le démontage de la forme doit se faire avant la pose des voûtes sur l'arche pour faciliter le développement des contraintes de compression dans l'arche.

Une portée d'environ 6 m permet déjà de créer l'espace nécessaire pour beaucoup des activités éducatives en salle de classe. Jusqu'à une portée d'environ 7,5 mètres les contraintes de compression ne dépassent pas les 10 kgf/cm<sup>2</sup>, ce qui est la contrainte de compression admissible pour la maçonnerie de Nianing (voir annexe VII, calcul de l'arche).

La consolidation du sol détermine la limite de la portée. Dans la construction à Nianing, des fissures sont apparues dans la clé des arches de grande portée. Des portées jusqu'à environ 6 mètres ont été réalisées dans la construction de Nianing où le sol de fondation se constitue de sable fin sans qu'une fissuration significative du sommet de l'arche soit apparue. Pour des portées entre 6 et 7,5 mètres, le risque de fissuration du sommet de l'arche nécessite des soins spéciaux.

### 6.3.3 La stabilité des arches

6.3.3.1 Il y a plusieurs risques d'instabilité de l'arche :

- flambage de la partie presque horizontale de l'arche, la "poutre" de l'arche ;
- flambage de la partie verticale de l'arche, le "poteau" de l'arche (voir figure 16) ;
- rotation de la fondation ou glissement.

6.3.3.2 La solution choisie contre le risque de flambage de la "poutre" de l'arche est le rang des briques de 38,5 cm d'épaisseur, qui diminue le degré d'élançement avec un facteur de 2,6 à condition que les joints soient bien remplis.

6.3.3.3 Pour résoudre le problème de flambage du "poteau" de l'arche, l'arche est munie de contreforts de deux côtés qui diminuent le degré d'élançement avec un facteur de 3,6 si les contreforts ont la même épaisseur que l'arche.

6.3.3.4 L'excentricité des forces transmises au sol par la fondation, ainsi que le composant horizontal de ces forces provoquent une rotation et un déplacement de la fondation. Comme l'effet de ces déformations est proportionnel à la portée de l'arche, il faut étudier la factabilité de l'arche pour la portée primaire pour chaque sol. Par exemple, pour des sols argileux, les déformations augmenteront pendant des années, dues à l'expulsion lente de l'eau de l'argile sous l'influence du poids lourd de la construction. Dans ce cas, la portée reste limitée tandis que la fondation doit être conçue de telle sorte qu'il n'y ait plus d'excentricité dans la réaction d'appui.

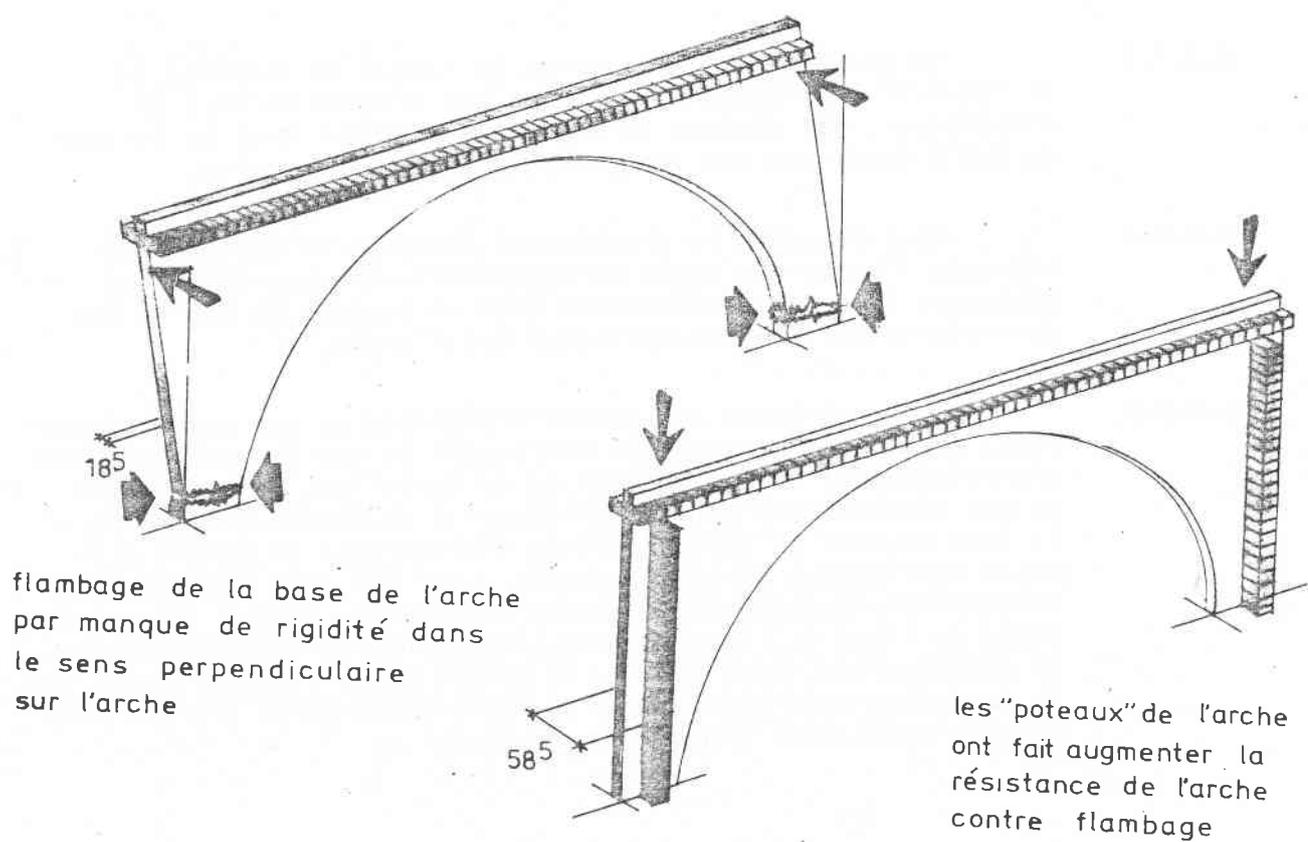
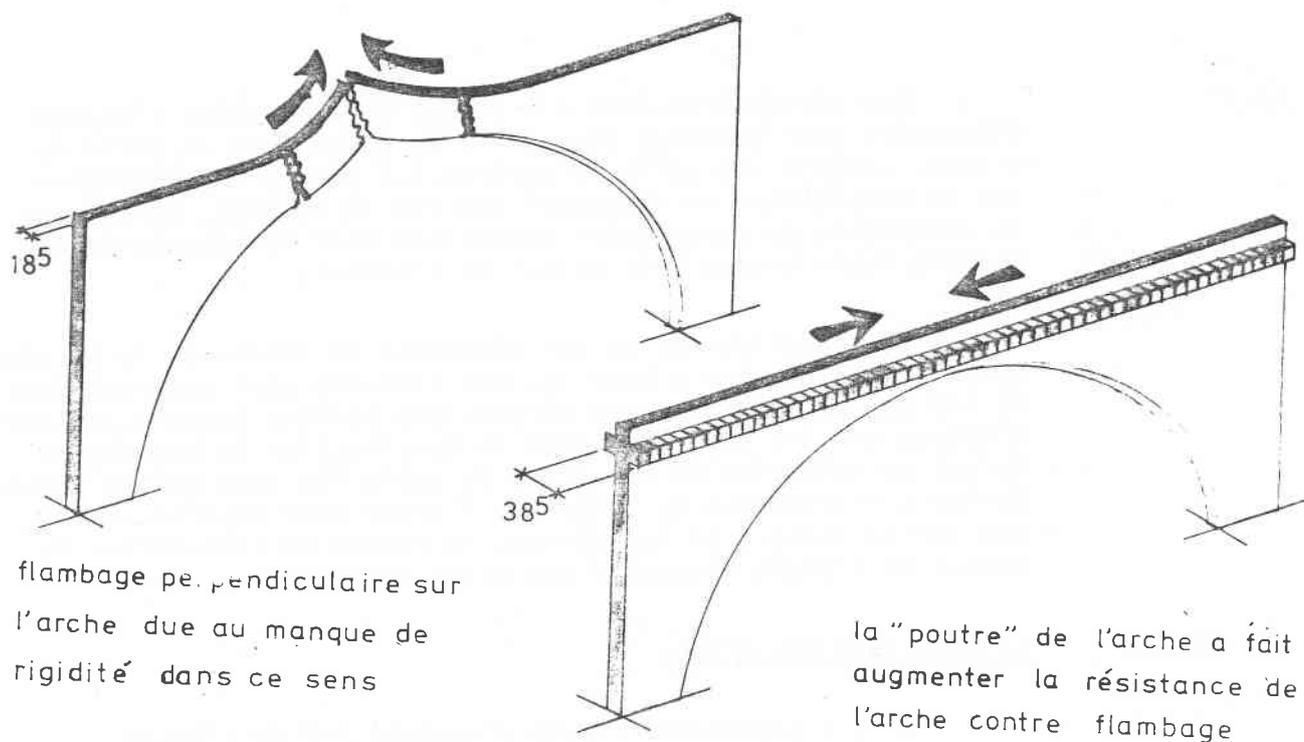


FIGURE 16.

### 6.3.4 La clé de l'arche

#### 6.3.4.1

Pour une arche en forme de demi-cercle, la clé de l'arche constitue un problème particulier. L'axe de symétrie passe par la clé de l'arche. Les forces dans la clé de l'arche sont horizontales et ne peuvent qu'assurer la cohérence entre les éléments de l'arche s'il n'y a pas de traction.

Pendant la phase d'exécution, si l'arche est décoffrée, le centre de compression reste proche du centre de gravité de la section du milieu de l'arche. Il n'y a pas de traction dans l'arche. Tandis que les contraintes de compression sont les plus élevées à l'extrémité supérieure de la section et les plus basses à l'extrémité inférieure.

Pendant la phase définitive, si la voûte est construite sur l'arche, la voûte contribue à la fonction porteuse de l'arche, grâce à sa propre rigidité. Le centre de compression se ré-installe autour du centre de gravité de la section composée de la voûte et de l'arche. Dans cette situation, il y a un risque que des contraintes de traction apparaissent dans la partie inférieure de la section de l'arche ce qui est visible par une fissuration (voir figure 17).

Cette fissuration est encore plus grave si l'on ne décoffre pas les arches avant de poser la voûte parce qu'une compression initiale n'a pas pu s'installer dans l'arche avant la pose de la voûte.

#### 6.3.4.2. Les risques

La fissuration qui monte à partir de l'extrémité inférieure de l'arche ne risque pas de mettre en danger la fonction porteuse de l'arche ni la stabilité de la construction. Toutefois, la fissuration provoque le risque que les briques se détachent du sommet de l'arche et tombent sur quelqu'un.

#### 6.3.4.3 Solutions à cette instabilité locale

Une grande clé de l'arche, dont la longueur supérieure est plus grande que la longueur inférieure rend impossible qu'un élément tombe. La cohérence de la clé de l'arche est assurée par un treillis de poulailler. La longueur de la clé de voûte est de  $1/10 \times$  portée de l'arche (voir figure 18A).

.../...

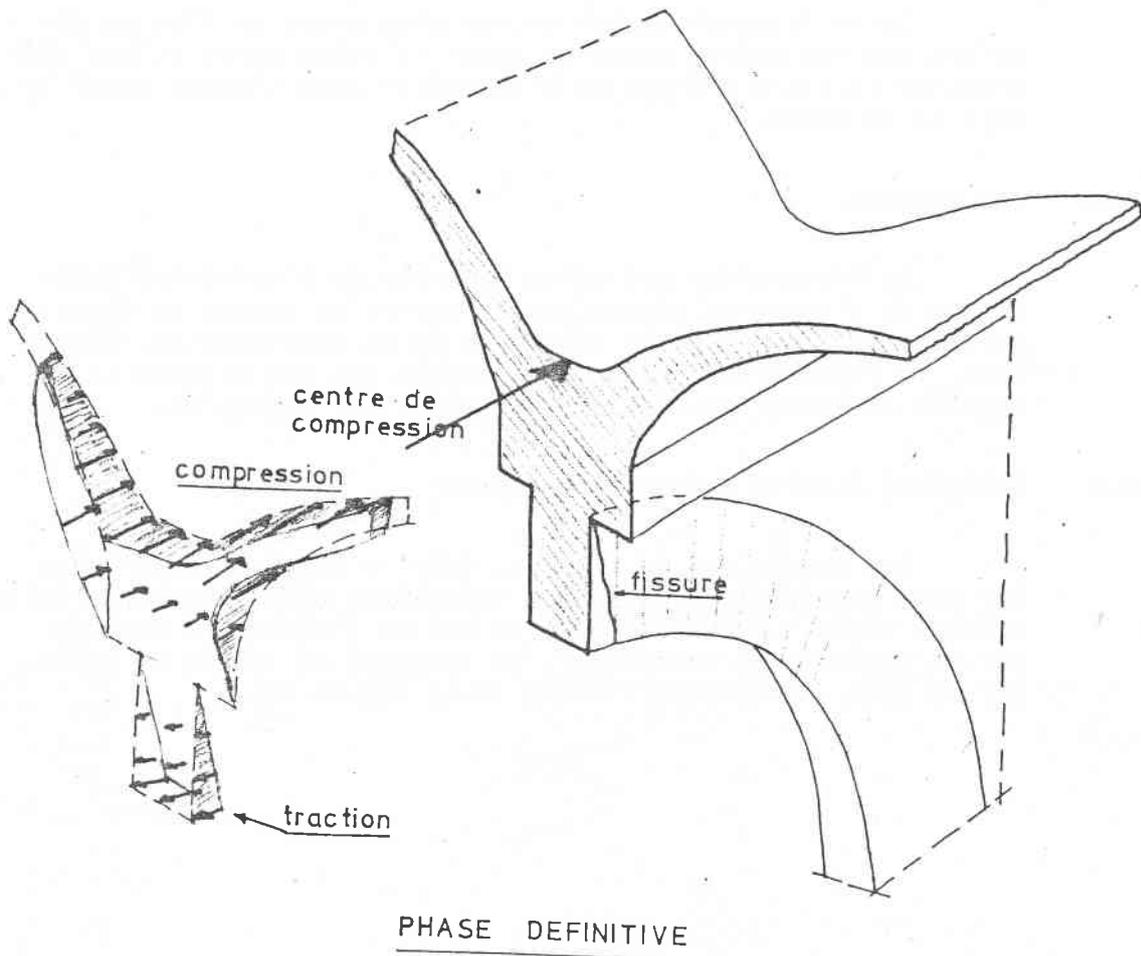
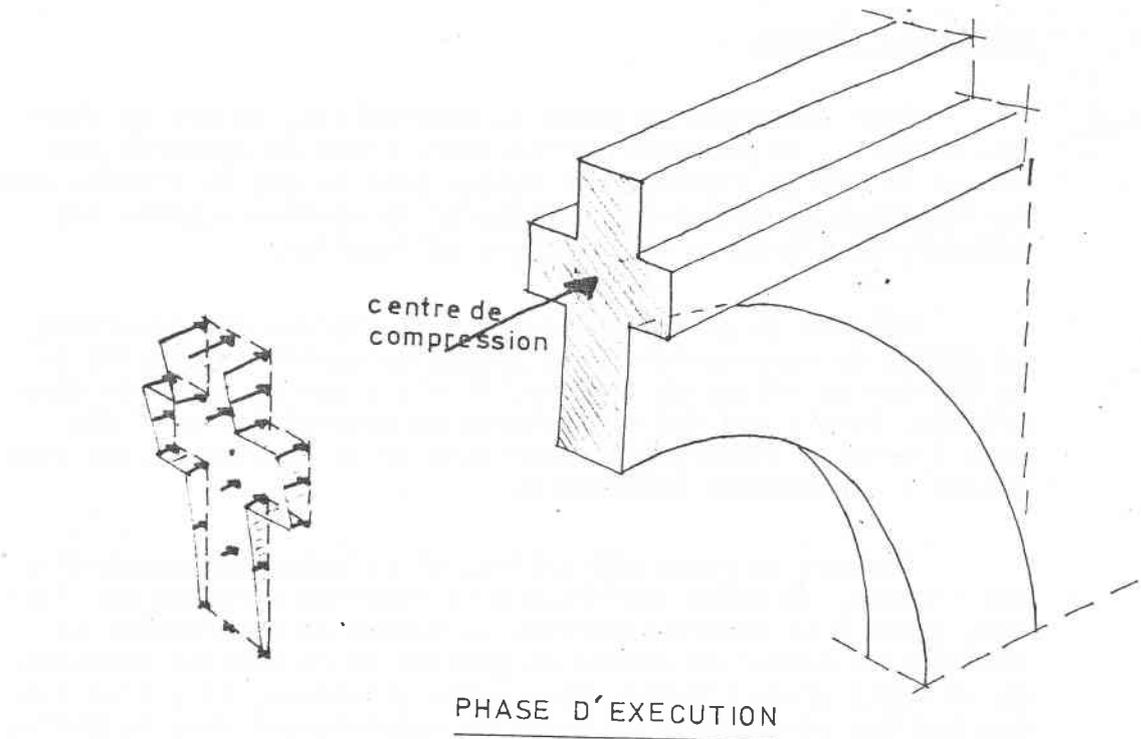
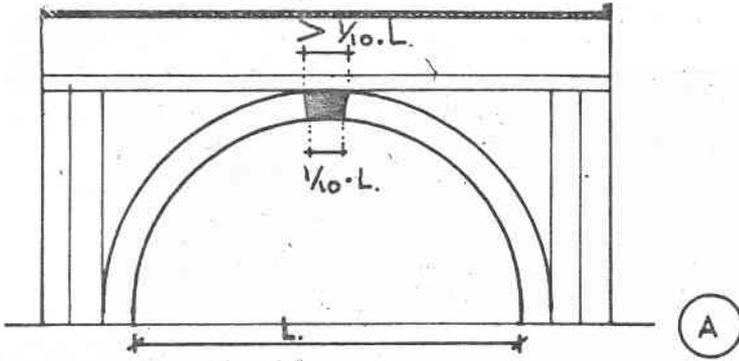
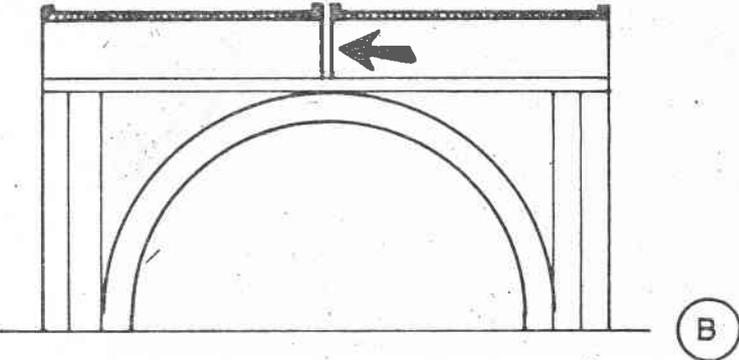


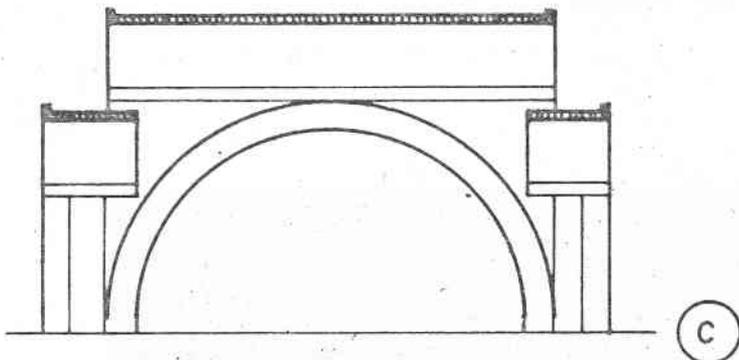
FIGURE 17.



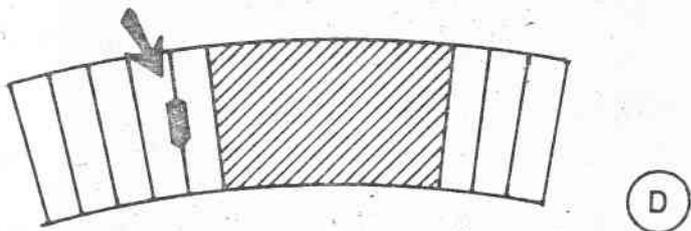
Longueur de la clé de la voûte  
1/10 x portée de l'arche



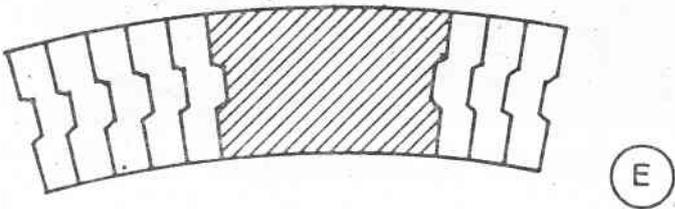
Incision de la voûte



Toiture en deux niveaux  
Partie supérieure en voûte mince



Goujon de mortier fort



Brique spéciale pour l'arche

FIGURE 18

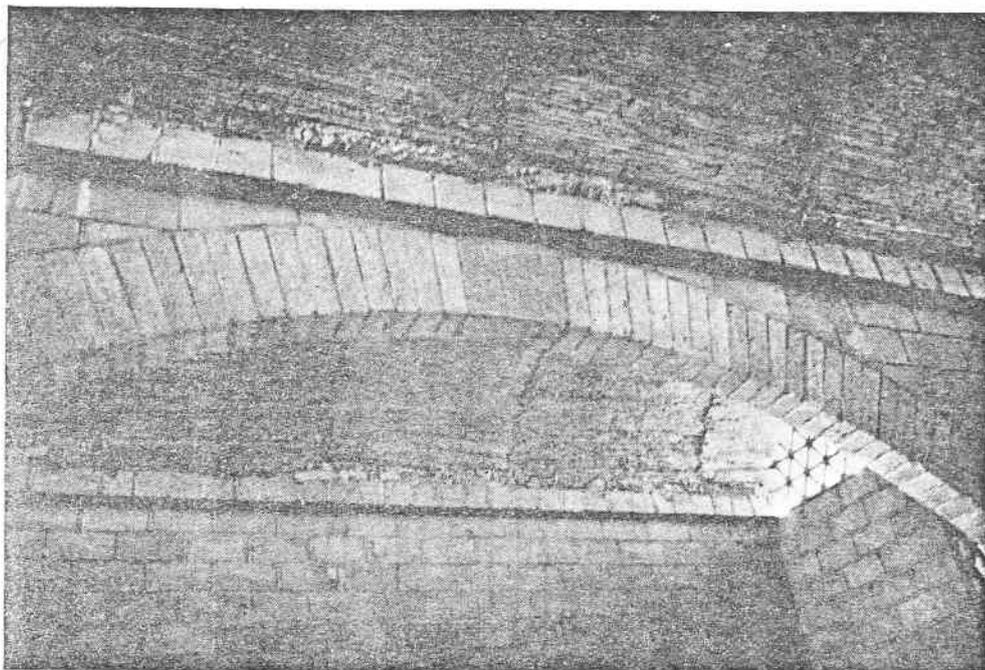


Photo 16 La clé de l'arche

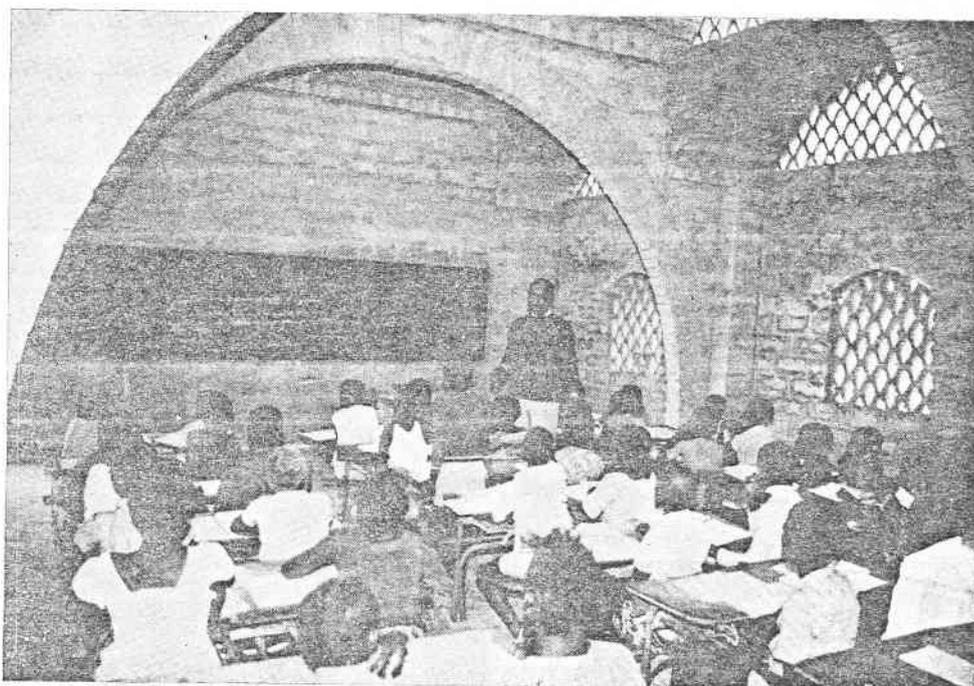


Photo 17 La toiture est exécutée en deux niveaux

- Une autre solution contre la fissuration de l'arche est l'incision de la partie supérieure de la voûte par un joint de dilatation au milieu de la portée de l'arche, de telle sorte que le centre de compression reste proche du centre de gravité de l'arche (voir figure 18B).
- On peut exécuter la toiture en deux niveaux avec une toiture légère pour la partie supérieure (voir figure 18C). Les réactions d'appui sur la fondation sont presque verticales, dans ce cas, la rotation de la fondation sera minimale, ce qui diminue le risque de fissuration.
- Une solution en cas de fissuration existante est une réparation des fissures par moyen de goujons de mortier fort afin d'empêcher le développement de deux surfaces parallèles fissurées entre lesquelles la brique pourrait glisser (voir figure 18D).
- Utilisation d'une brique spéciale pour l'arche (voir figure 18E).

## 6.4

LES MURS PORTEURS

Le poids de la voûte et le poids du mur même ne résultent qu'en une contrainte de compression dans la base du mur dans l'ordre de 1 kgf/cm<sup>2</sup>. Néanmoins, les contraintes de compression augmentent considérablement à cause du composant horizontal de la réaction d'appui de la voûte.

## 6.4.1

Les murs porteurs de la toiture sont toujours construits en parpaing plein afin d'assurer l'homogénéité d'un mur pour créer un contrepois pour les forces horizontales provenant des voûtes de la toiture. Une attention particulière est donnée à la qualité de l'appareillage. Des joints superposés ne sont jamais tolérés. Un système de blocs modulaires a rendu possible l'exécution de la maçonnerie sans tailler des briques (voir annexe VIII).

## 6.4.2

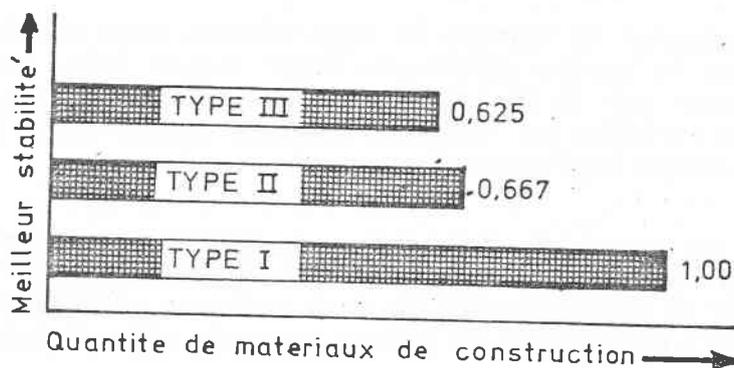
La stabilité du mur porteur

On peut augmenter la stabilité du mur porteur de deux façons :

- augmenter l'épaisseur du mur porteur ;
- renforcer le mur porteur par des contreforts.

.../...

La figure 19 montre que l'augmentation de l'épaisseur du mur porteur est une solution coûteuse qui améliore relativement peu la stabilité du mur porteur. Aussi, la maçonnerie d'un mur de double épaisseur s'est montré assez difficile. La meilleure amélioration de la stabilité du mur est obtenue par des contreforts adaptés à la ligne de force.



#### 6.4.3

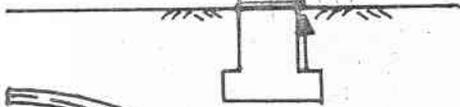
##### La répartition des contreforts le long du mur

Pour obtenir une stabilité optimale au moyen de contreforts, il faut les intégrer dans le mur porteur à des distances régulières. La limite de la distance entre deux contreforts est de 6 fois l'épaisseur du mur porteur (voir annexe IX). Donc, pour un mur porteur de 20 cm d'épaisseur, la distance maximale entre deux contreforts est de 120 cm (voir figure 20). La distance entre un contrefort et l'extrémité d'un mur est au maximum de 2 fois l'épaisseur du mur porteur. Cette distance sera de 40 cm pour un mur porteur de 20 cm d'épaisseur. Les limites sont basées sur les contraintes admissibles de flexion et cisaillement dans le mur porteur (voir annexe IX).

Stabilité du mur porteur

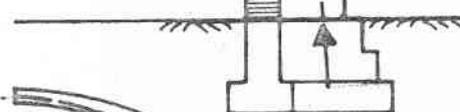
MUR TYPE I

Mur de double épaisseur comme le prototype de Dakar. Stabilité dépend de la capacité de la maçonnerie de résister à la traction



MUR TYPE II

Mur d'épaisseur d'une brique, renforcé par des contreforts. Chaque 120 (cm)  
Bonne stabilité



MUR TYPE III

Mur d'épaisseur d'une brique, renforcé par des contreforts, plus adaptés à la ligne de force. Meilleure stabilité.

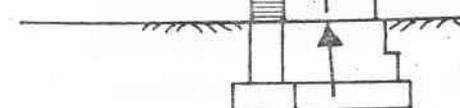


FIGURE 19.

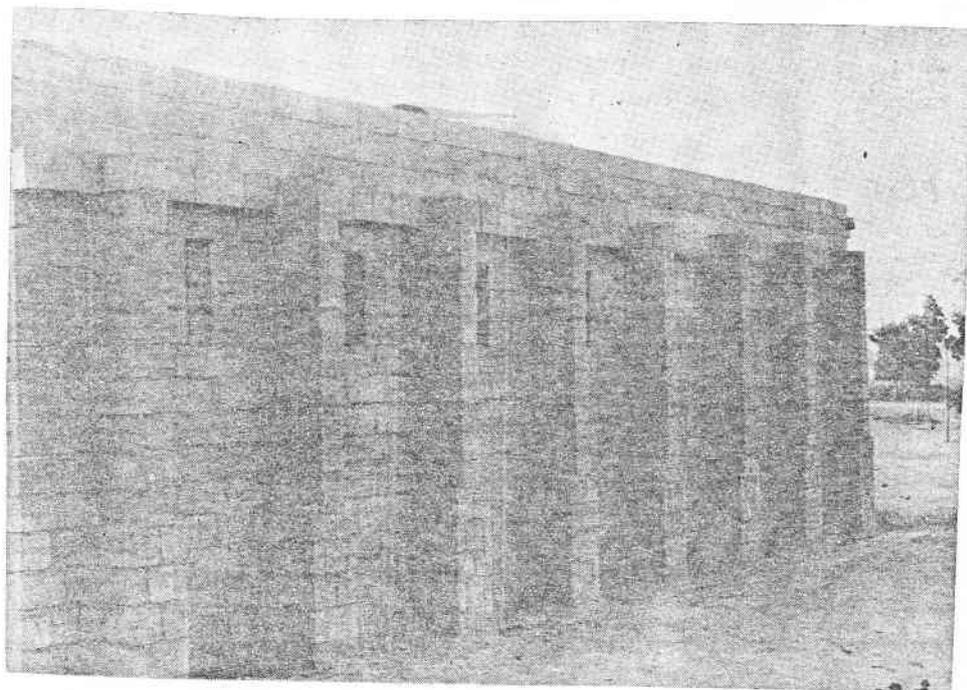


Photo 18 Les contreforts sont placés à des distances régulières de 120 cm

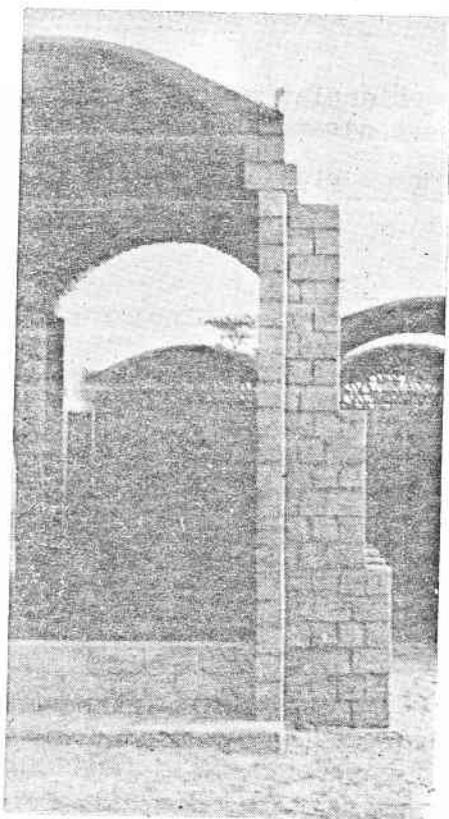


Photo 19 Adaptation du contrefort à la ligne de force

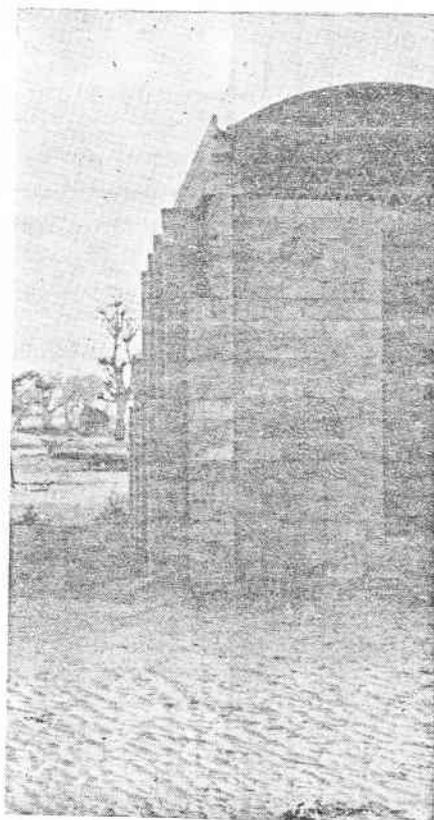
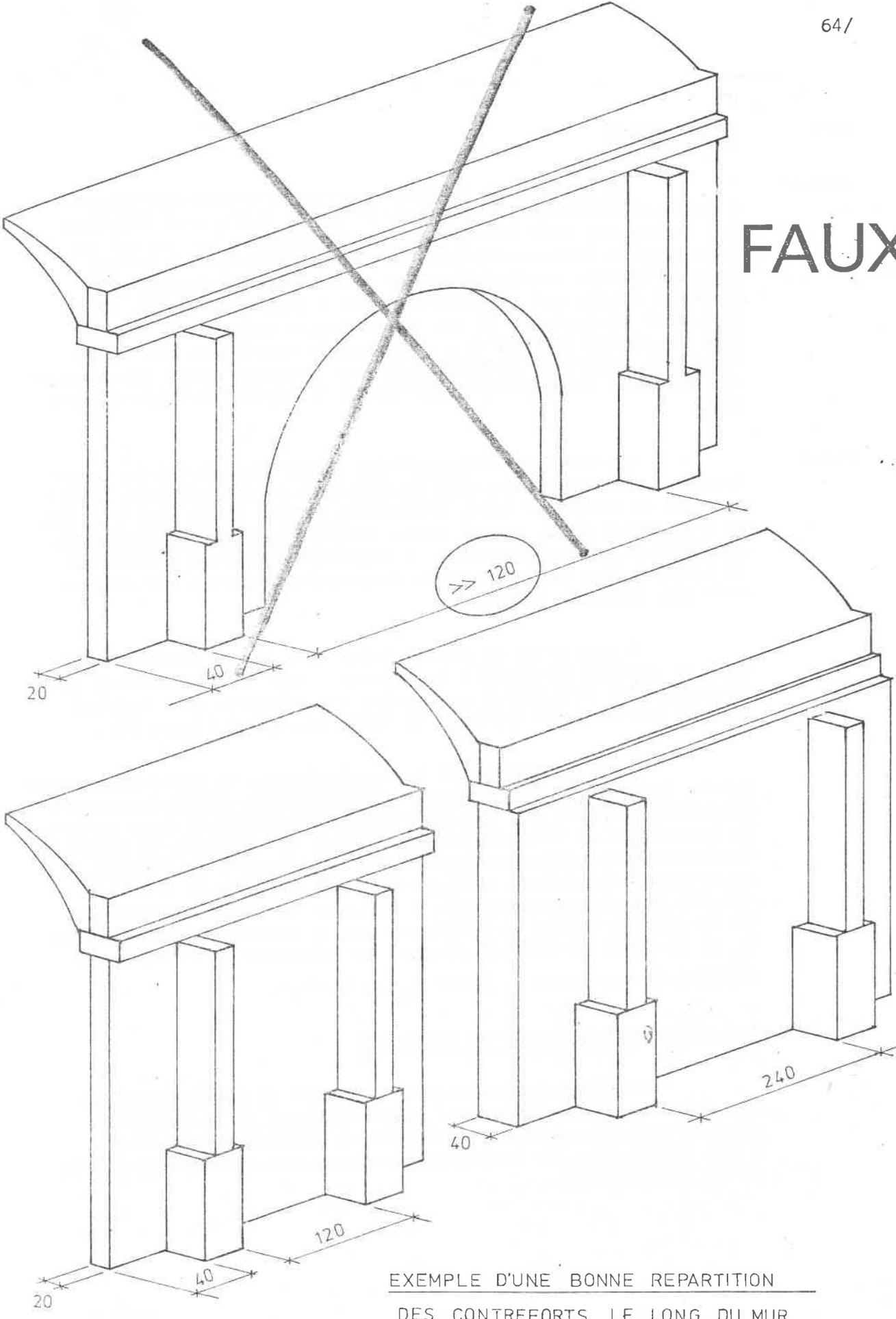


Photo 20 Des contreforts de la salle de classe

**FAUX!**



EXEMPLE D'UNE BONNE REPARTITION  
DES CONTREFORTS LE LONG DU MUR

FIGURE 20.

## 6.5 LA FONDATION

### 6.5.1

La surface de fondation est plus grande par rapport à celle utilisée habituellement. Elle est choisie en fonction des forces qui sont transmises par la construction au sol de fondation de telle sorte que les contraintes soient partout, presque égales. La fondation est de 60 cm de profondeur. La première couche est en latérite stabilisée, bien damée, d'une épaisseur minimale de 20 cm. Cette couche est coulée dans la fouille vierge sans qu'il y ait lieu de remblayer. Sur cette couche de latérite, on monte les deux premiers rangs de maçonnerie qui font intégralement partie de la fondation (voir figure 21).

### 6.5.2

La fondation transmet les forces auxquelles la construction est exposée au sol. Sa fonction d'intermédiaire implique que la fondation fait, d'un côté, partie de la construction, et d'un autre côté, du sol même. Tandis que les contraintes de compression admissibles dans la maçonnerie sont de l'ordre de 10 kgf/cm<sup>2</sup>, les contraintes de compression dans le sol ne peuvent pas dépasser 1 kgf/cm<sup>2</sup>.

A partir de la partie supérieure de la fondation jusqu'à la surface de contact avec le sol, une distribution de contraintes doit résulter à une contrainte maximale de 1 kgf/cm<sup>2</sup> dans la partie inférieure de la fondation (voir figure 21).

Pour les arches et les contreforts, la force résultante sur la fondation a une composante horizontale. Cette composante doit être absorbée par des contraintes de frictions dans le sol. La contrainte de friction admissible  $T_{sol}$  est égale à la contrainte de compression  $\sigma_{sol}$  multipliée par la tangente de l'angle ( $Q$ ) de friction interne du sol  $T_{sol} = \sigma_{sol} \times \text{tg } Q$ . L'angle de friction interne est minimalement égal à 20° pour le sable de Nianing. En faisant le calcul on conclura que la composante horizontale  $R_H$  de la réaction d'appui ne peut pas dépasser le tiers de la composante verticale  $R_V$  (donc  $R_H < 1/3 R_V$ ).

### 6.5.3

#### Les déformations du sol de fondation

Les déformations à craindre sont un affaissement et une rotation de la fondation. L'affaissement de la fondation dû à un compactage du sol de fondation est à craindre s'il y a des différences de l'affaissement pour les différentes parties de la construction.

LA FONDATION  
D'UN CONTREFORT

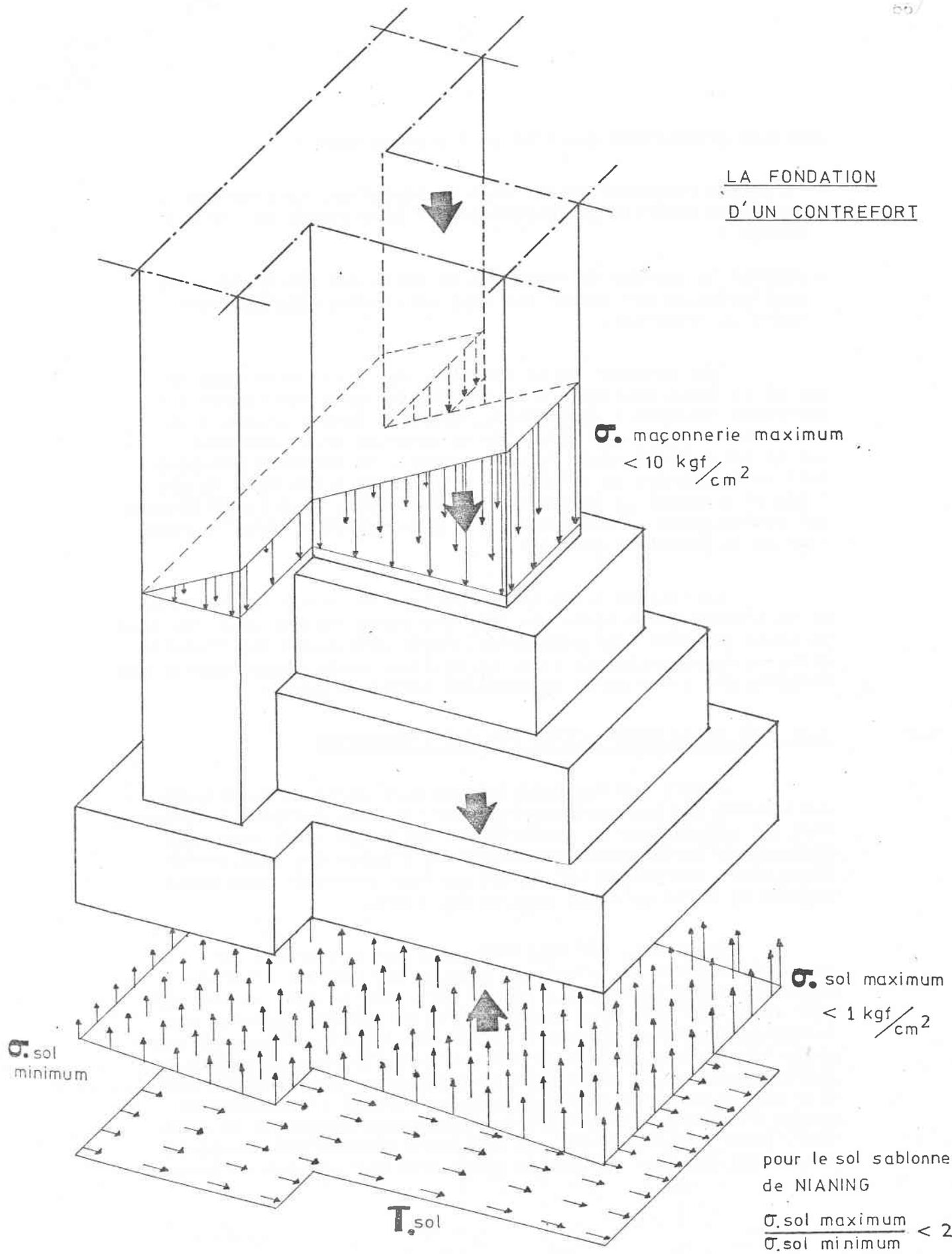


FIGURE 21.

Quelques précautions que l'on peut prendre sont :

- ne jamais remblayer le sol sous la fondation. La première couche de latérite de fondation doit être coulée sur le sol vierge ;
- adapter la surface de fondation de sorte que les contraintes appliquées au sol soient les plus constantes possible pour toute la fondation.

Une rotation de la fondation est à craindre dans le cas où la force appliquée à la surface de fondation serait excentrique (exemple : contreforts, arches). Dans l'annexe X on trouvera un exemple de calcul de la rotation d'un contrefort sur le sable de Nianing. Selon le calcul, la rotation provoquerait un écartement de la base de la voûte de 2 mm. Dans la pratique on a mesuré un écartement correspondant. Plus la différence est petite entre  $\sigma$  sol maximum et  $\sigma$  sol minimum, plus la rotation de la fondation sera petite.

La fissure entre le mur porteur et le mur de remplissage ne s'étend guère après une première consolidation pour les sols de sable qui sont bien perméables. Après jointoyage des fissures, elles ne ré-apparaissent plus. Le meilleur moment pour réparer ces fissures est situé après la première saison de pluie.

6.6

#### STABILITE DE LA CONSTRUCTION PENDANT L'EXECUTION

Tandis que la stabilité des murs porteurs extérieurs est assurée par les contreforts, pour les murs porteurs intérieurs, elle est assurée par la symétrie des voûtes de la toiture. Les composantes horizontales des réactions d'appui des deux différents côtés des voûtes sur le mur porteur intérieur sont aussi grandes de sorte qu'elles sont en équilibre.

Toutefois, cet équilibre n'existe pas encore dans la phase d'exécution si, à un seul côté du mur porteur intérieur, une voûte a été faite (voir figure 22). Dans ce cas, le mur porteur intérieur doit être supporté afin de pouvoir résister aux forces horizontales provenant de la voûte. Cette méthode de supports temporaires pendant la phase d'exécution risque d'être une source d'erreurs et nécessite une supervision stricte pour vérifier si les supports sont bien placés. Pendant l'exécution du projet à Nianing, ces erreurs ont causé deux accidents de chantier. (voir chapitre VIII). La meilleure méthode est d'exécuter les voûtes des deux différents côtés d'un mur porteur intérieurs

# FAUX!

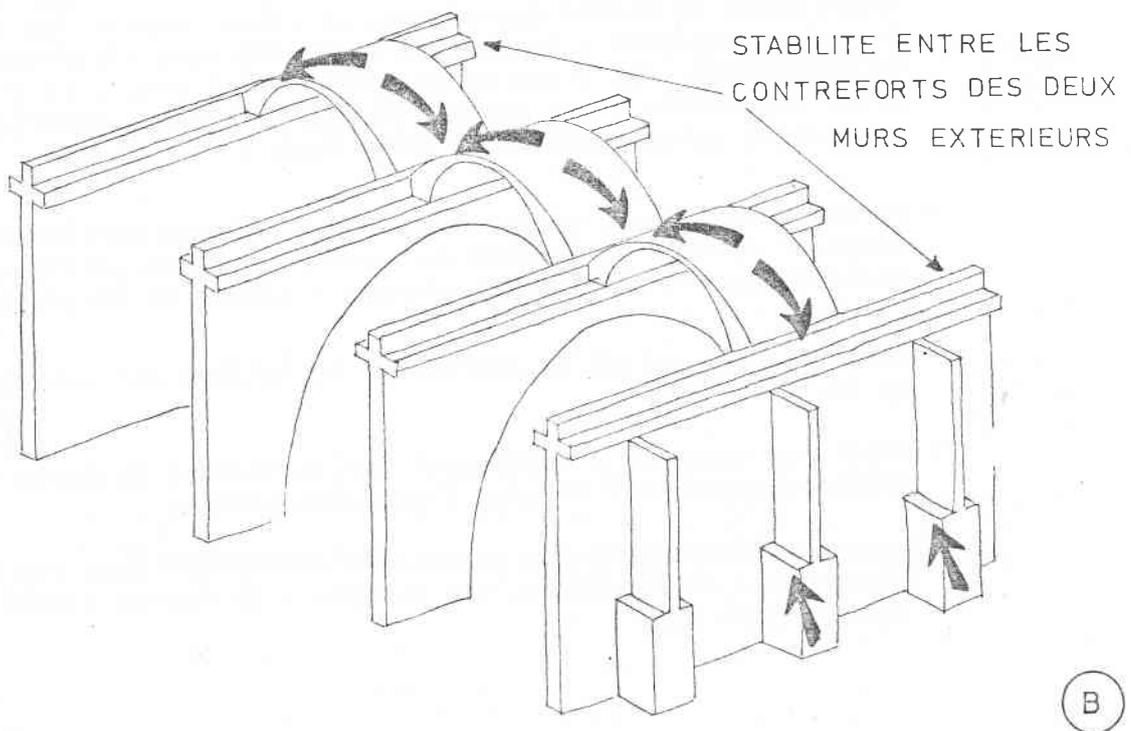
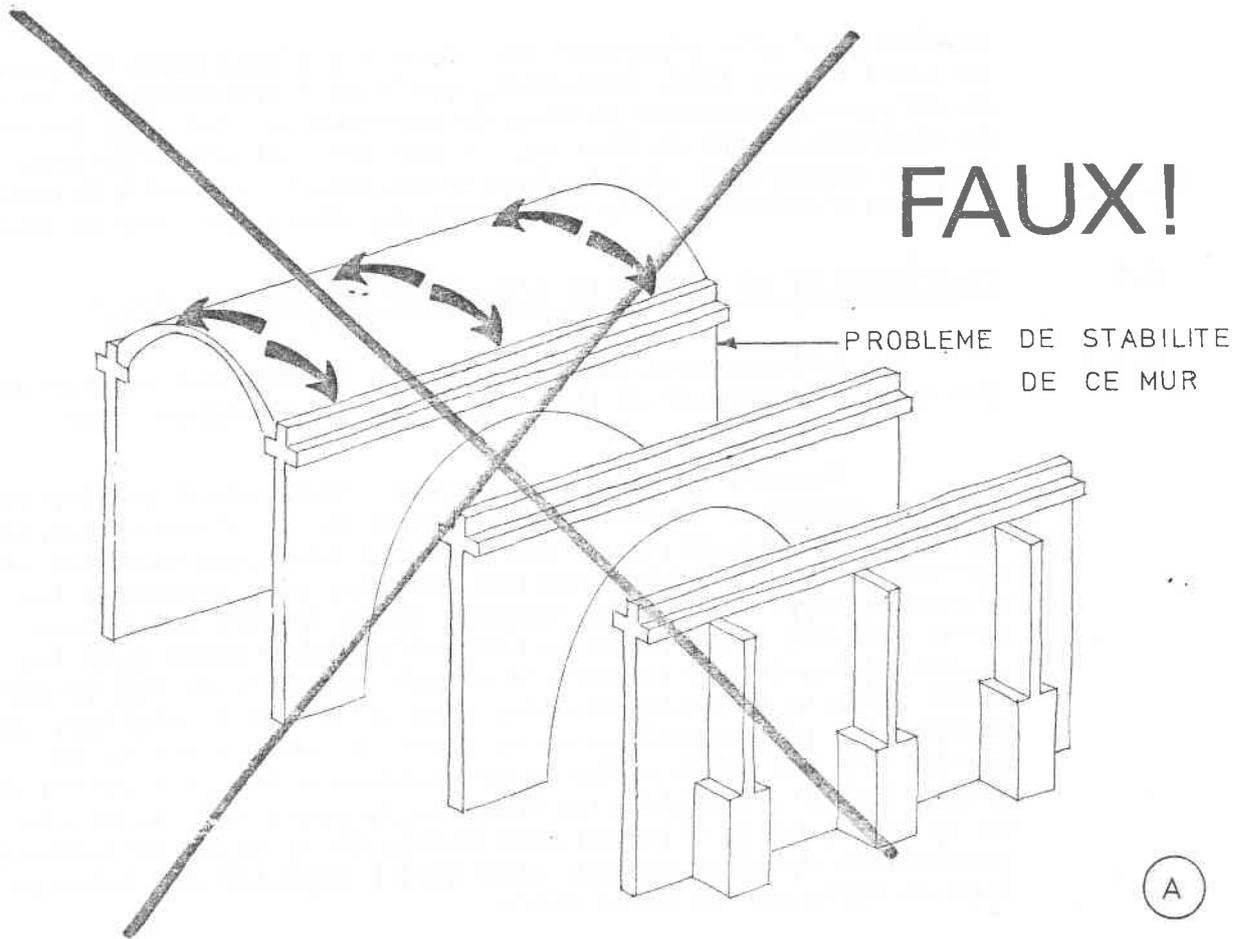


FIGURE 22.

le même jour afin d'obtenir tout de suite l'équilibre nécessaire (voir figure 22B). Toutefois, cette dernière méthode risque de nécessiter beaucoup de bois de coffrage si l'on veut éviter de nombreux joints de reprise. Il est donc important de prévoir dans la conception architecturale également la stabilité pendant la phase d'exécution (voir chapitre IX, école primaire de Nianing).

## 6.7

ETANCHEITE DE LA TOITURE ET ECOULEMENT DES EAUX DE PLUIE

## 6.7.1

L'étanchéité des voûtes de la toiture est assurée par une couche de mortier en dosage fort de 400 kg/m<sup>3</sup> en ciment.

Toutefois, la dilation due au rayonnement solaire pendant la journée et la contraction due à la radiation froide pendant la nuit peuvent causer des fissures microscopiques sur la surface de la voûte ainsi que des fissures plus grandes à des distances régulières si la longueur de la toiture est grande. Cette dernière fissuration se concentre généralement dans les joints de reprise de la toiture et est, environ, de 0,2 mm par mètre linéaire de distance entre deux joints de dilatation. Les contraintes de compression ou de traction sont, environ, de 0,5 kgf/cm<sup>2</sup> par mètre linéaire de distance entre deux joints de dilatation. L'utilisation de treillis de poulailler au milieu de la voûte, là où elle est plus mince, et là où la variation de température est plus grande, contribue à empêcher une fissuration de cette partie de la voûte.

## 6.7.2

Pour assurer l'étanchéité de la toiture, il faut :

- peindre la surface extérieure de la toiture à la chaux chaque année avant la saison des pluies. La chaux remplit les fissures microscopiques ; comme elle se dilate sous l'influence de l'humidité, les fissures se ferment s'il pleut. Il y a un effet secondaire : une surface peinte à la chaux absorbe moins de chaleur qu'une surface de béton rude ;
- partager la surface de la toiture en plusieurs parties, avec une longueur réduite de 6 mètre au maximum, par des joints de dilatation afin d'éviter de grandes fissures de dilatation ;
- recouvrir les joints de reprise de la toiture par une bande de feutre bitumé ;
- munir les conduits d'écoulement sur la toiture de pente suffisamment grande pour écouler l'eau rapidement ;
- assurer l'étanchéité des conduits d'écoulement avec une couche imperméable et élastique, par exemple : un feutre bitumé (voir figure 23).

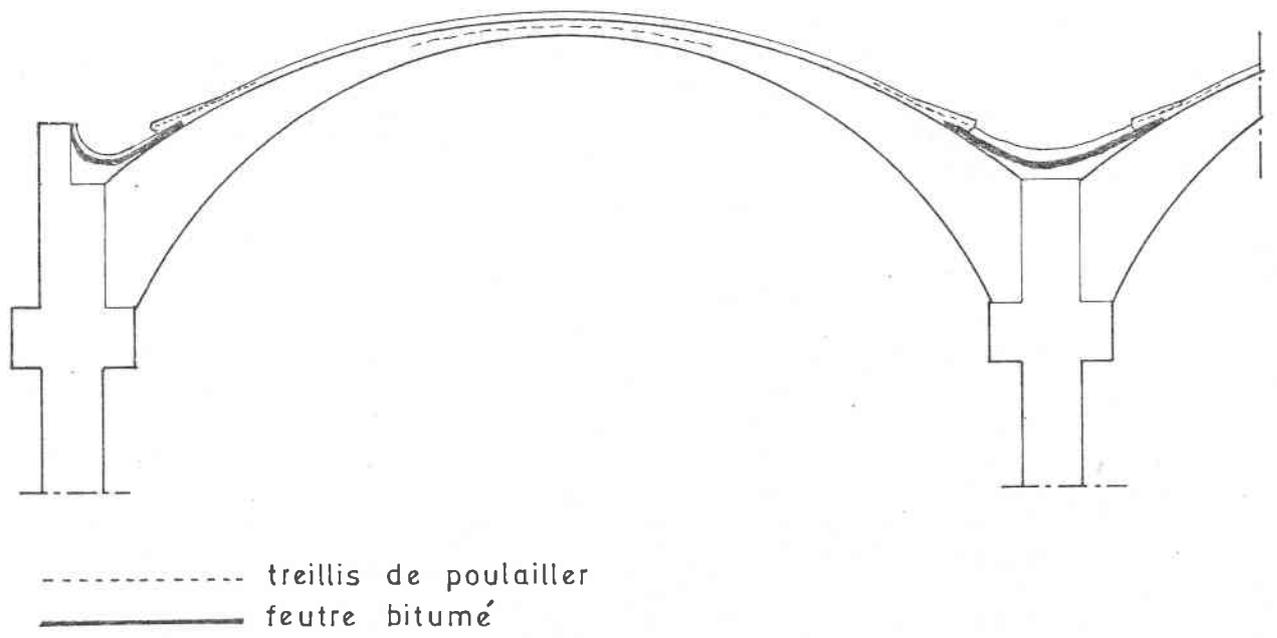
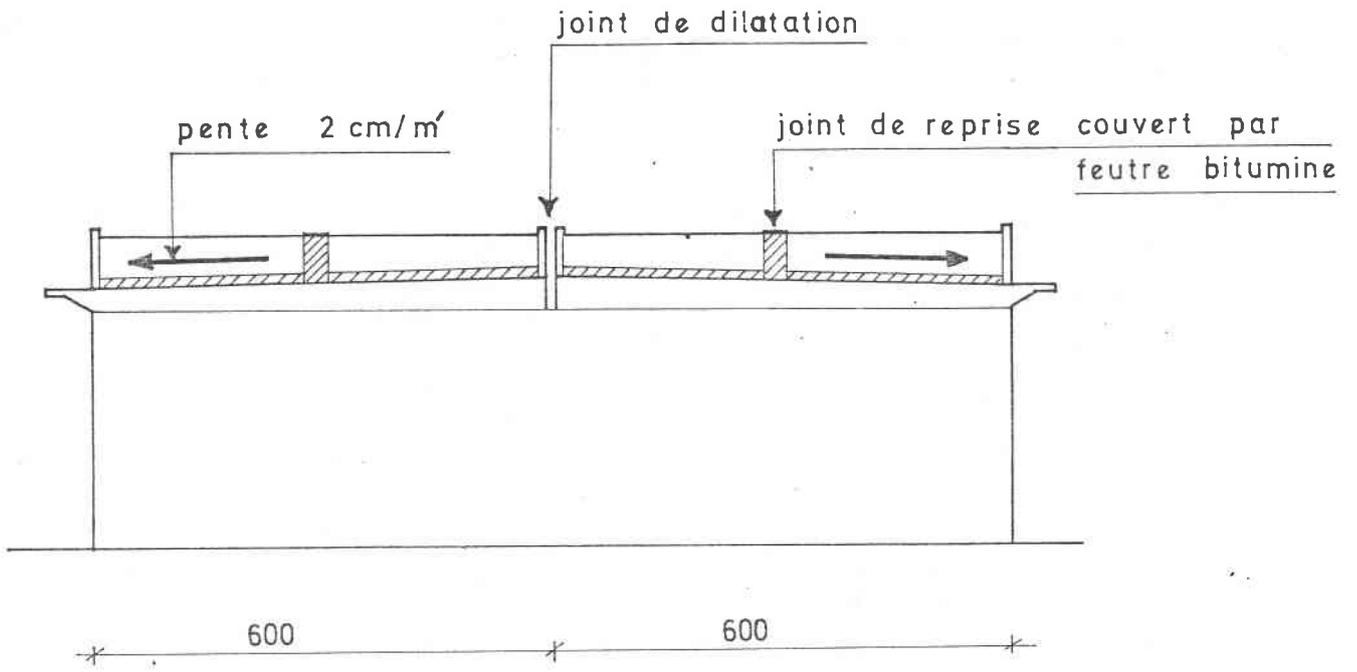


FIGURE 23.

# 7 - ANALYSE DES COÛTS

## 7.1 DONNEES GENERALES

Une remarque importante doit être faite d'emblée : les coûts ne peuvent avoir qu'une valeur relative, compte tenu du lieu, de l'époque et des circonstances particulières de l'expérience. En période d'évolution rapide de la conjoncture économique, il convient en effet de rappeler que l'expérience a eu lieu à Nianing (région de Thiès, sur la petite côte) entre Mai 1976 et Juillet 1977.

Les matériaux, livrés par CARITAS, ont été achetés sur le marché local de détail, en "toutes taxes comprises", c'est-à-dire aux prix pratiqués vis-à-vis de n'importe quelle personne privée.

La distribution de l'eau au chantier était gratuite. Conformément à l'approche choisie, CARITAS a recruté la main-d'oeuvre dans les environs de Nianing. Les ouvriers sont payés conformément à la convention collective du bâtiment et des Travaux Publics (voir annexe XI). Depuis le début du chantier, les maçons ont été classifiés dans une catégorie où ils ont atteint le niveau après un apprentissage de six mois.

Pour l'élaboration des plans de construction, CARITAS a payé pendant huit mois et demi deux stagiaires de l'école d'architecture (25.000 francs CFA par mois, pour chacun).

La Mission Catholique de Nianing est propriétaire du terrain de construction, et l'a prêté à CARITAS.

La construction du Centre de Formation Agricole à Nianing a commencé par la construction des logements pour les élèves, le bloc sanitaire et la salle de classe. Au début du chantier, aucun planning n'était établi pour le déroulement des travaux et les ouvriers étaient payés comme des journaliers. Il faut considérer la construction des premiers bâtiments comme un apprentissage pour les ouvriers qui s'initiaient à la méthode de construction. Les bâtiments construits à la fin du chantier ont coûté de 30 à 40 % moins chers par rapport aux premiers grâce à l'expérience acquise par les maçons et l'équipe du BREDA et grâce aux modifications faites pendant l'exécution du projet.

.../...

7.2 ANALYSE DE LA DUREE DE TRAVAIL PAR ACTIVITE

Bien que nous nous soyons efforcés d'utiliser autant que possible la main-d'oeuvre locale, il n'en demeure pas moins qu'il faut lui faire exécuter les travaux de construction de la manière la plus efficace possible et dans un délai raisonnable. Pour cette raison, une analyse de la durée de travail a été faite pendant la construction des premiers bâtiments. Cette analyse a donné les résultats suivants : (voir tableaux 1)

TABLEAU 1

<u>ACTIVITE</u>	<u>UNITE/QUANTITE</u>	<u>MACON</u>	<u>MANOEUVRE</u>
		<u>Jour/homme</u>	<u>Jour/homme</u>
Piquetage	1 m3	0,02	0,02
Creuser	1 m3		0,33
Nivelage	1 m3	0,02	0,02
Béton de propreté			
- fabrication	1 m3		0,3
- couler	1 m3	0,2	0,2
Plots pleins 18,5			
- fabrication	1 plot		0,008
- poser	1 plot	0,011	0,011
Plots creux 18,5			
- fabrication	1 plot		0,005
- poser	1 plot	0,01	0,01
Plots pleins 8,5			
- fabrication	1 plot		0,004
- poser	1 plot	0,012	0,012
Mortier : fabrication	1 m3		0,3
Claustras			
- fabrication	1 cl.		0,011
- poser	1 cl.	0,014	0,007
Jointoyer	1 m2		0,15
Toiture			
- fabrication tige de mil	1 m2		0,03
- poser le coffrage	1 m2	0,015	0,015
1ère couche			
- fabrication	1 m3		0,3
- poser	1 m2	0,1	0,15
2ème couche			
- fabrication	1 m3		0,3
- poser	1 m2	0,08	0,12
3ème couche			
- fabrication	1 m3		0,3
- poser	1 m2	0,1	0,1
Gargouille			
- fabrication	1 pce		0,135
- poser	1 pce	0,25	0,12
Acrotère	1 m1	0,13	0,13
Chape			
- fabrication	1 m3		0,3
- poser	1 m2	0,07	0,14

.../...

Avec les données ainsi rassemblées, nous avons pu établir un planning qui a eu soin d'indiquer d'une part, le déroulement des travaux, -quand commencer la fabrication des matériaux (par exemple : les claustras)- d'autre part, en fonction de la quantité du travail, la durée d'exécution des travaux.

Pour l'exécution des derniers bâtiments, nous avons travaillé avec une équipe de 25 ouvriers (9 maçons et 16 manoeuvres) et donc la durée de l'exécution devait aussi dépendre de ce nombre d'ouvriers. Le planning (voir tableau II), qui est basé sur ce nombre d'ouvriers, a permis au chef de chantier de connaître le chemin critique de l'exécution des différents travaux, ce qui rendait possible l'exécution du travail à la tâche dans les délais imposés et honorés par une majoration de 10 %.

Le délai et le montant pour le contrat à la tâche étaient basés sur ce planning majorés d'une marge de flexibilité de 20 %. Le résultat montrait que l'équipe des ouvriers s'appliquait à la production quantitative et non qualitative. Le montage des murs porteurs se faisait plus vite que prévu dans le planning. Toutefois, dans l'effort de gagner du temps sur la production de la toiture, l'équipe des ouvriers négligeait les prescriptions de sécurité pour avancer les travaux. Les accidents à la suite de cette négligence ont finalement causé des retards par rapport au planning. Quoique les plannings aient contribué à un meilleur avancement des travaux, le système de travail à la tâche s'est montré "risqué" pour une construction encore expérimentale.

### 7.3

#### DEVIS QUANTITATIFS

Ensuite, nous avons établi des devis quantitatifs pour les logements des professeurs, le pinth plus cuisine et la bibliothèque, entrée, bureau plus magasin. Pour un élément de façade/placard, pour l'arche du pinth et pour la toiture du pinth/cuisine (voir annexe XII) en fonction des plans architecturaux.

Pour le calcul des devis quantitatifs, nous sommes partis des données de bases suivantes (voir tableaux III, IV, V et VI).

.../...

# PLANNING PINTH + CUISINE

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
Nombre de jours prévus																									
Nombre de jours réels																									
Fabrication des plots																									
Implantation																									
Fondation Fouilles																									
nivelage. Bétonde propreté																									
faire le mortier																									
Maçonnerie mur Axe 7																									
8																									
9																									
10																									
11																									
12																									
13																									
faire les nattes de tiges de mil																									
Poser le coffrage 1ère couche																									
2ème couche																									
3ème couche																									
Acrotère																									
Gargouille fabrication																									
pose																									
détail 8 placards																									
mur entre axe 11 & 12																									
bancs																									
claustras fabrication																									
pose																									
chape																									
rejointoyage																									
nombre de maçons	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	

PLANNING PINTH + CUISINE

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Nombre de jours prévus																									
Nombre de jours réels																									
Fabrication des plots																									
Implantation																									
Fondation Fouilles																									
nivelage. Bétonde propreté																									
faire le mortier																									
Maçonnerie mur Axe 7	1120																								
8	900																								
9	900																								
10	1000																								
11	420																								
12	330																								
13	450																								
faire les nattes de tiges de mil																									
Poser le coffrage 1ère couche																									
2ème couche																									
3ème couche																									
Acrotère	44 m'																								
Gargouille fabrication	16																								
pose	16																								
détail 8 placards	190																								
mur entre axe 11 & 12	115																								
bancs	105																								
claustras fabrication	110																								
pose	110																								
chape	136 m2																								
rejointoyage	440 m2																								
nombre de maçons		9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	

## Composition des mortiers

Tableau III	Ciment	Sable	Latérite	Produits
Briques	1 sac	3 brouettes* sable de dune 3 brouettes sable de mer		25 plots pleins de 18,5 35 plots creux de 18,5 52 plots pleins de 8,5
Béton de propreté	1 sac		5 brouettes	
Mortier à maçonner	1 sac	3 brouettes		
La voûte 1 couche	1 sac	3 brouettes		
2 couches	1 sac	6 brouettes		
3 couches	1 sac	2 brouettes		
Claustras, Gargouilles	1 sac	2 brouettes		100 claustras
La chape	1 sac	3 brouettes		
Jointoyer	1 sac	2 brouettes		

volume d'une brouette = 60 litres (plein-plat)

## Tableau IV

## Prix des matériaux (30/6/77)

Article	Unité	Prix unitaire	Remarques
Ciment	kg	* 13	par sac de 50 kg
Sable	m <sup>3</sup>	750	par camion de 8 m <sup>3</sup>
Latérite	m <sup>3</sup>	750	
Treillis de pou- lailler	m <sup>1</sup>	325	
Tige de mil	1 botte	100	
Contreplaqué 18m/m	310x155 mm	9500	
Porte (bois rouge) + cadre		13400	
Porte (contreplaqué) + cadre		12000	
* l'eau était fournie gratuitement			

\* Ciment = 12000 CFA/Tonne + 1000 CFA/t transport

Prix de la main-d'oeuvre par heure en francs CFA

Maçon	6ème catégorie	189.55
	5ème catégorie	170.60
	4ème catégorie	151.00
	3ème catégorie	133.00
	2ème catégorie	121.75
Manoeuvre		107.05

Tableau V

Maçons

<u>Catégorie</u>	<u>Nombre</u>	<u>Salaire Horaire</u>	<u>Heure par Jour</u>	<u>Total</u>
6ème	1	189,55	8	1516
5ème	3	170,60	8	4094
4ème	3	151,00	8	3624
3ème	2	133,20	8	2132
	<u>9</u>			<u>11366</u>

Salaire moyen par jour  $\frac{11366}{9} = 1263$  CFA

Manoeuvres

<u>Catégorie</u>	<u>Nombre</u>	<u>Salaire Horaire</u>	<u>Heure par Jour</u>	<u>Total</u>
1ère	16	107,05	8	13702

Salaire moyen par jour  $\frac{13702}{16} = 856$  CFA

.../...

Tableau VI

## Prix des plots

Plots pleins 18<sup>5</sup>

Dosage	1 sac de ciment (40 litres) + 6 brouettes (360 litres)	25 plots
Ciment	40 litres	650
Sable de mer	180 litres	135
Sable de dune	180 litres	
Main-d'oeuvre	25 x 10	250
		1035
		41,5 CFA par plot

Plots creux 18<sup>5</sup>

Dosage :	1 sac de ciment (40 litres) + 6 brouettes (360 litres)	
Ciment	40 litres	650
Sable de mer	180 litres	135
Sable de dune	180 litres	
Main-d'oeuvre	35 x 10	350
		1135
		32,5 CFA par plot

Plots pleins 8<sup>5</sup>

Dosage :	1 sac de ciment (40 litres) + 6 brouettes (360 litres)	52 plots
Ciment	40 litres	650
Sable de mer	180 litres	135
Sable de dune	180 litres	
Main-d'oeuvre	52 x 5	260
		1045
		20 CFA par plot

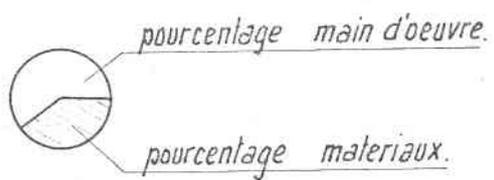
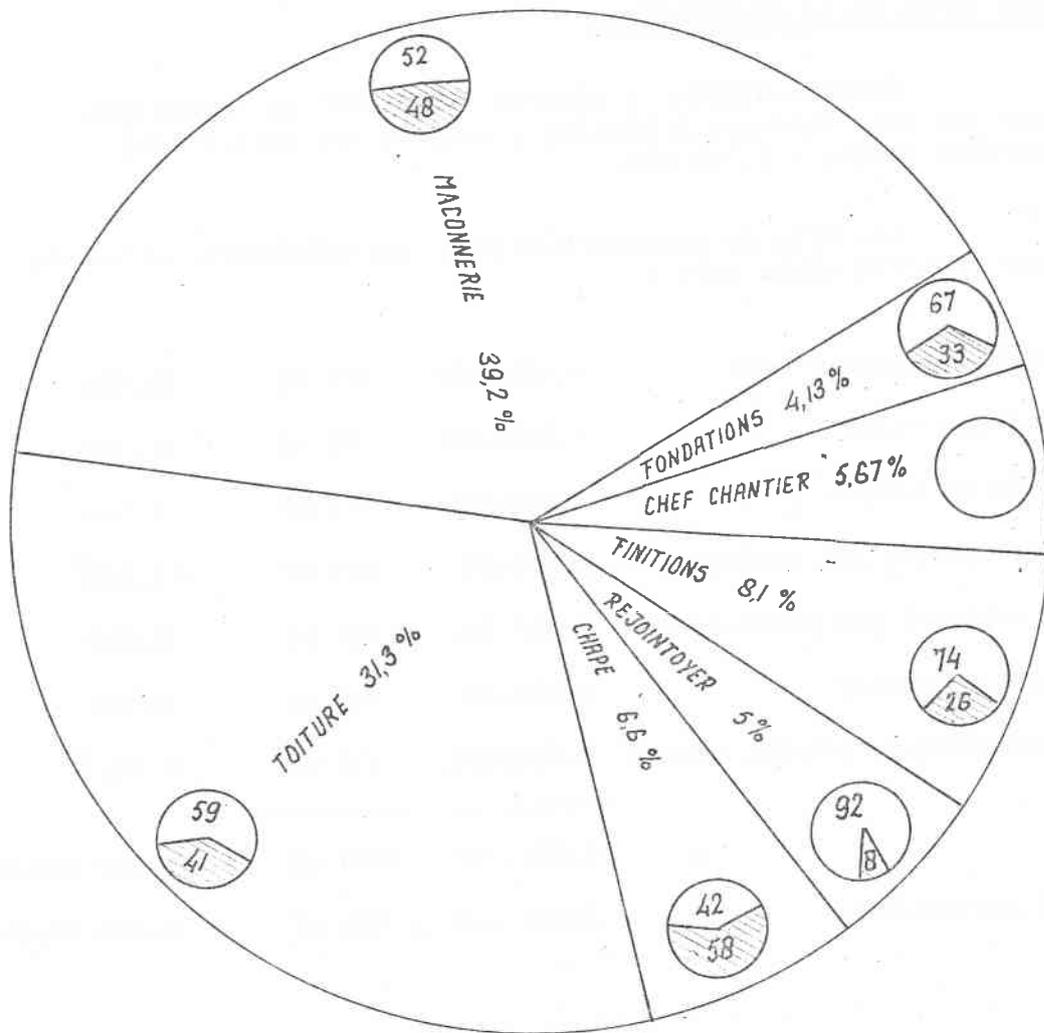
- \* Sable de dune extrait sur place
- \* L'eau était gratuite

EXEMPLE DE PRIX DE CONSTRUCTIONPINTH + CUISINE (165 m<sup>2</sup>)

	QUANTITE	PRIX UNITAIRE	PRIX MATERIAUX	PRIX MAIN- D'OEUVRE	TOTAUX
<u>FONDATIIONS</u>					
Ciment	1811 kg	13	23 543		
Latérite	10830 L	750	8 122		
Sous-Total			31 665		
Amortissement + perte 20 %			6 331		
TOTAL			37 998		
Maçons	4	1 263		5 052	
Aides	16	856		13 696	
Sous-Total				18 748	
					56 746 (4,13%)
<u>MACONNERIE</u>					
Ciment	12187,7 kg	13	158 440		
Sable	76153 L	750	57 115		
Sous-Total			215 555		
Amortissement + perte 20 %			43 111		
TOTAL			258 666		
Maçons	90	1 263		113 670	
Aides	103	856		88 168	
Sous-Total				201 838	
Prime 10 %				20 184	
TOTAL				222 022	
Fabrication Plots	4850	10		48 500	
Perte 20 %				9 700	
TOTAL				58 200	
					538 888! (39,2 %)

<u>TOITURE</u>					
Ciment	8233kg	13	107 029		
Sable	30477 l	750	22 858		
Treillis de poulailler	50 m <sup>2</sup>	325	16 250		
Sous-Total			146 137		
Amortissement + perte 20 %			29 227		
TOTAL			175 364		
Maçons	85	1 263		107 355	
Aides	145	856		114 120	
Sous-Total				231 475	
Prime 10 %				23 147	
Total				254 622	429 986 (31,3%)
<u>CHAPE</u>					
Ciment	2792kg	13	36 296		
Sable	10037 L	750	7 528		
Sous-Total			43 824		
Amortissement + perte 20 %			8 765		
TOTAL			52 589		
Maçons	14	1 263		17 682	
Aides	20	856		17 120	
Sous-Total				34 802	
Prime 10 %				3 481	
TOTAL				38 283	90 872 (6,6%)
<u>REJOINTOYER</u>					
Ciment	317 kg	13	4 121		
Sable	380 L	750	285		
Sous-Total			4 406		
Amortissement + perte 20 %			881		
TOTAL			5 287		

Aides	68	856		58 208	
Prime 10 %				5 821	
TOTAL				64 029	
					69 316 (5 %)
<u>FINITIONS</u>					
Portes	2	12 000	24 000		
Maçons	27	1 263		34 101	
Aides	48	856		41 088	
Sous-Total				75 189	
Prime 10 %				7 519	
TOTAL				82 708	
				(8,1 %)	
Chef de chantier + prime				77 000	
				(5,6 %)	
					183 708 (13,7%)
TOTAL			553 904	815 612	1 369 516
PRIX PAR M2			3 357	4 943	8 300



REPARTITION DES COUTS EN POURCENTAGE POUR LE PINTH + LA CUISINE

7.4 COUT TOTAL DE LA CONSTRUCTION

CARITAS-SENEGAL a dépensé 17.000.000 de francs CFA pour les constructions à Nianing y compris les poulaillers (surface totale : 1.700 m<sup>2</sup>).

Les prix de construction pour les différents bâtiments sont répartis comme suit :

Logements pour élèves	4.000.000	323 m <sup>2</sup>	12.400
Bloc sanitaire	1.500.000	92 m <sup>2</sup>	16.300
Salle de classe	2.000.000	173 m <sup>2</sup>	11.500
1er logement des professeurs	2.000.000	181 m <sup>2</sup>	11.500*
2è logement des professeurs	1.600.000	181 m <sup>2</sup>	8.850
Pinth + cuisine	1.500.000	165 m <sup>2</sup>	9.100
Bibliothèque, entrée, bureau	2.000.000	170 m <sup>2</sup>	11.800*
	<hr/>	<hr/>	
	14.600.000	1285 m <sup>2</sup>	11 362 CFA/m <sup>2</sup>
Les poulaillers	2.400.000	+ 400 m <sup>2</sup>	6.000 CFA/m <sup>2</sup>

\* Dans ces prix, la perte à cause des accidents de chantier y est incluse.

# 8 - EVALUATION DU CHANTIER ET PROBLEMES RENCONTRES

## 8.1 LES MATERIAUX DE CONSTRUCTION

8.1.1 Les matériaux de base suivants ont été utilisés pour la construction : sable de mer, sable de dune, ciment (C.P.A. 325), latérite, eau et treillis de poulailler en faible quantité.

Des tiges de mil, du fil de fer et des plaques de contreplaqué ont servi pour le coffrage de la toiture.

A partir de ces matériaux de base, les matériaux de construction suivants ont été produits : les mortiers, les briques, les claustras, les gargouilles, les formes de segments de cercle en contreplaqué et les nattes en tiges de mil tressés par le fil de fer.

8.1.2.1 Les briques ont été fabriquées par un mouleur et son équipe sur le chantier même. La fabrication a été faite au moyen de moules métalliques dans lesquels le compactage se fait en battant et en secouant le mortier.

Le moule utilisé est conçu de sorte qu'avec le même moule, on peut produire des briques de 18,5 x 18,5 x 38,5, des briques de 18,5 x 18,5 x 18,5 et des briques de 8,5 x 18,5 x 38,5, en utilisant des plaques de séparation. Puisque dans un bon appareillage de maçonnerie des joints superposés ne sont pas tolérés (voir annexe VIII), il fallait tailler des briques de 18,5 x 18,5 x 28,5 à partir des briques de 18,5 x 18,5 x 38,5. Au début, on a scié des briques entières pour obtenir des briques 3/4. Toutefois, cette méthode revenait très chère en lames de scie et en temps de manoeuvre. L'investissement pour un deuxième moule, que l'on a fait faire, pour les briques de 18,5 x 18,5 x 28,5 seulement, s'est remboursé rapidement.

8.1.2.2 Problèmes rencontrés pendant la fabrication des briques :

- au début, les briques n'atteignaient pas la hauteur souhaitée de 18,5 cm à cause de l'affaissement de la brique pendant la prise de ciment sous l'influence de son propre poids. Une augmentation de la hauteur du moule de 3mm a été nécessaire.

.../...

- Les briques ont été produites sur une dalle en ciment de sorte que toutes les surfaces étaient bien lisses. Toutefois, la pluie et les animaux ont parfois endommagé les surfaces des briques. Une clôture autour du lieu de séchage des briques était nécessaire, ainsi qu'une feuille en plastique ou une couche de paille pour protéger les briques contre la pluie.
- Souvent, les briques ont séché trop rapidement à cause d'un arrosage insuffisant et le manque de protection contre le soleil et le vent sec. Une solution aurait été de les couvrir par une couche de paille humidifiée. Toutefois, la paille, étant rare dû à la sécheresse, était réservée pour le bétail. Une clôture des briques déjà séchées autour du lieu de séchage ainsi qu'un arrosage de deux fois par jour pendant six jours ont permis d'obtenir une prise de ciment satisfaisante. Il fallait une supervision stricte du mouleur par le chef de chantier.
- Le sable de mer était parfois recueilli à une trop grande proximité de la mer de sorte que le taux de sel était trop élevé. Les briques produites avec ce sable ont été arrosées abondamment après la découverte de l'erreur.

L'utilisation de sable de dune pour le mortier a été favorable pour diminuer le taux moyen de sel dans le mortier. La construction a montré que la présence du sable de dune dans le mortier a agrandi la résistance à l'érosion des briques.

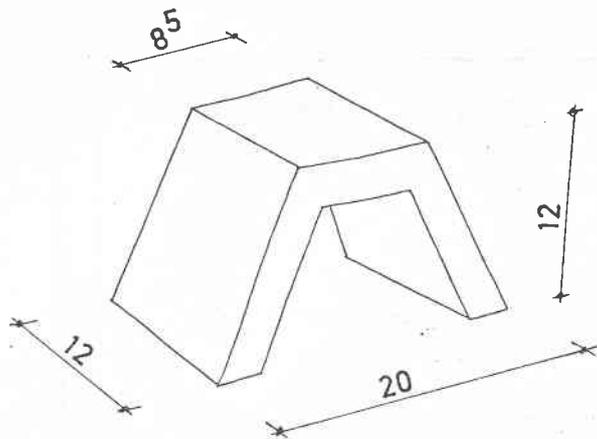
### 8.1.3

#### Les claustras

Pour fermer les ouvertures dans les façades, des claustras de deux modèles différents ont été utilisés : l'un en forme de trapèze (voir figure 24A) et l'autre en forme de triangle (voir figure 24B).

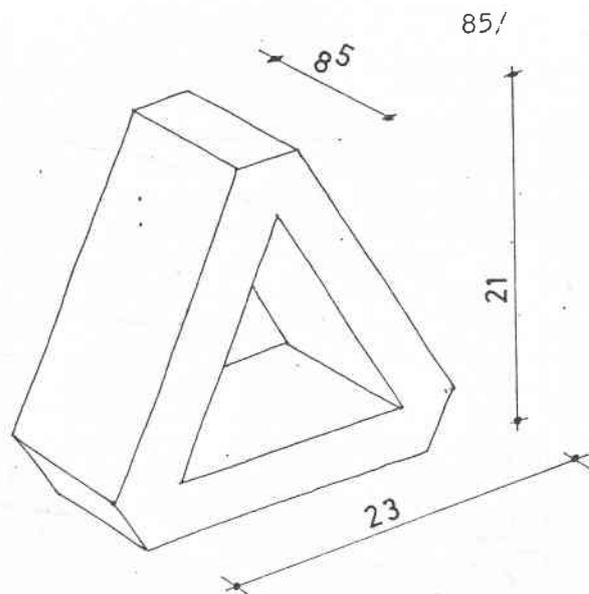
La mise en place des premiers n'a pas posé de problèmes aux maçons. Dans les premiers bâtiments, les claustras triangulaires étaient composés de petites briques. Cette solution a posé beaucoup de problèmes : la qualité de la maçonnerie n'était pas bonne et la mise en place a pris beaucoup de temps. Plus tard, on a fait assembler les claustras mais presque aucune amélioration dans le travail n'était perceptible.

Ensuite, un moule a été fait pour produire le claustra triangulaire en une seule fois, mais au début, les maçons n'arrivaient pas à le mettre en oeuvre correctement (voir figures 24C et 24D), ainsi, le travail a été effectué plus rapidement.



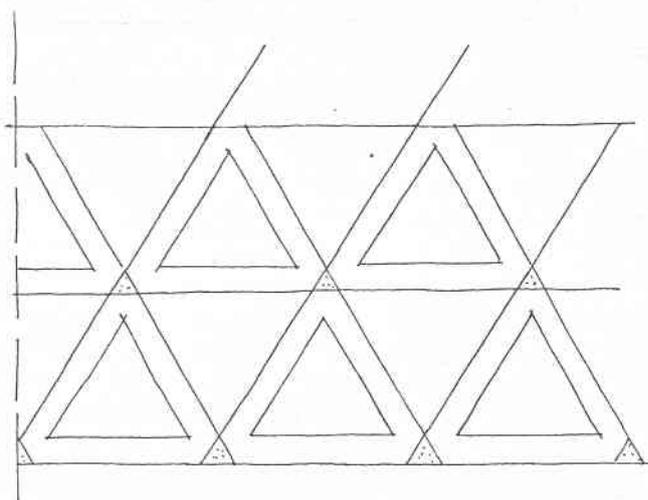
CLAUSTRA TRAPEZOIDALE

(A)



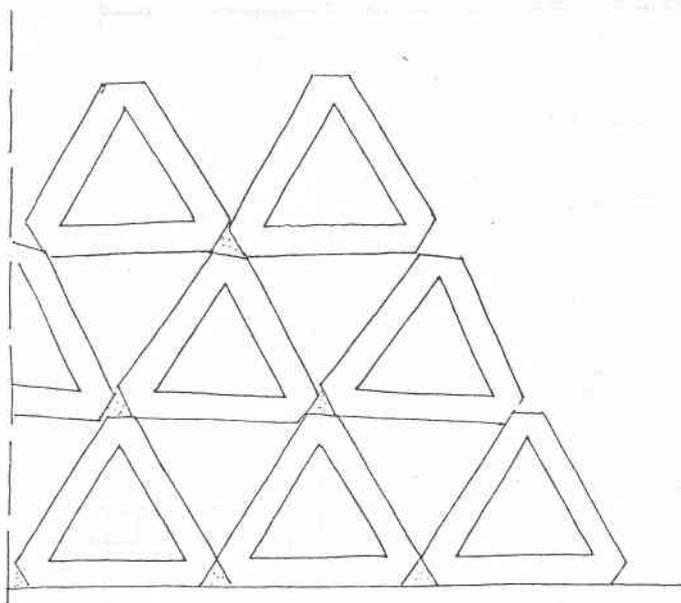
CLAUSTRA TRIANGULAIRE

(B)



bonne maçonnerie des  
claustras triangulaires

(C)



mauvaise maçonnerie des  
claustras triangulaires

(D)

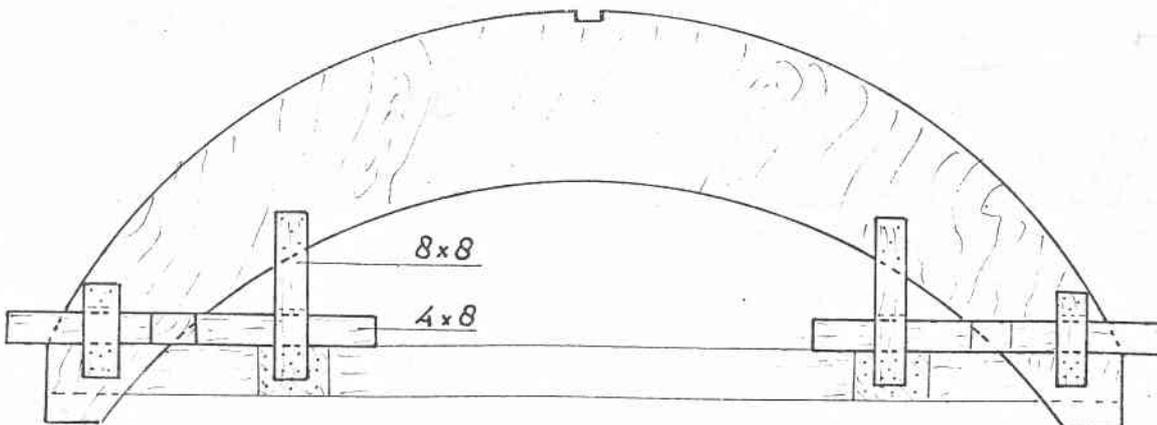
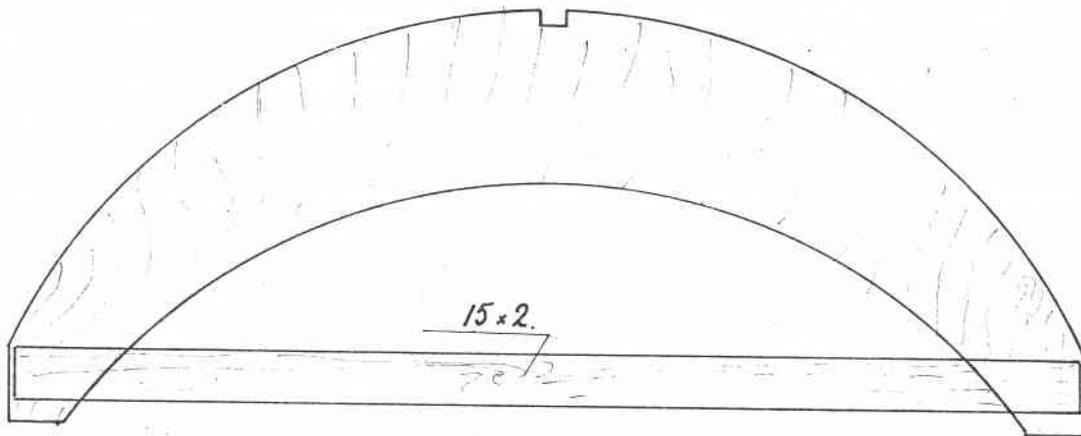
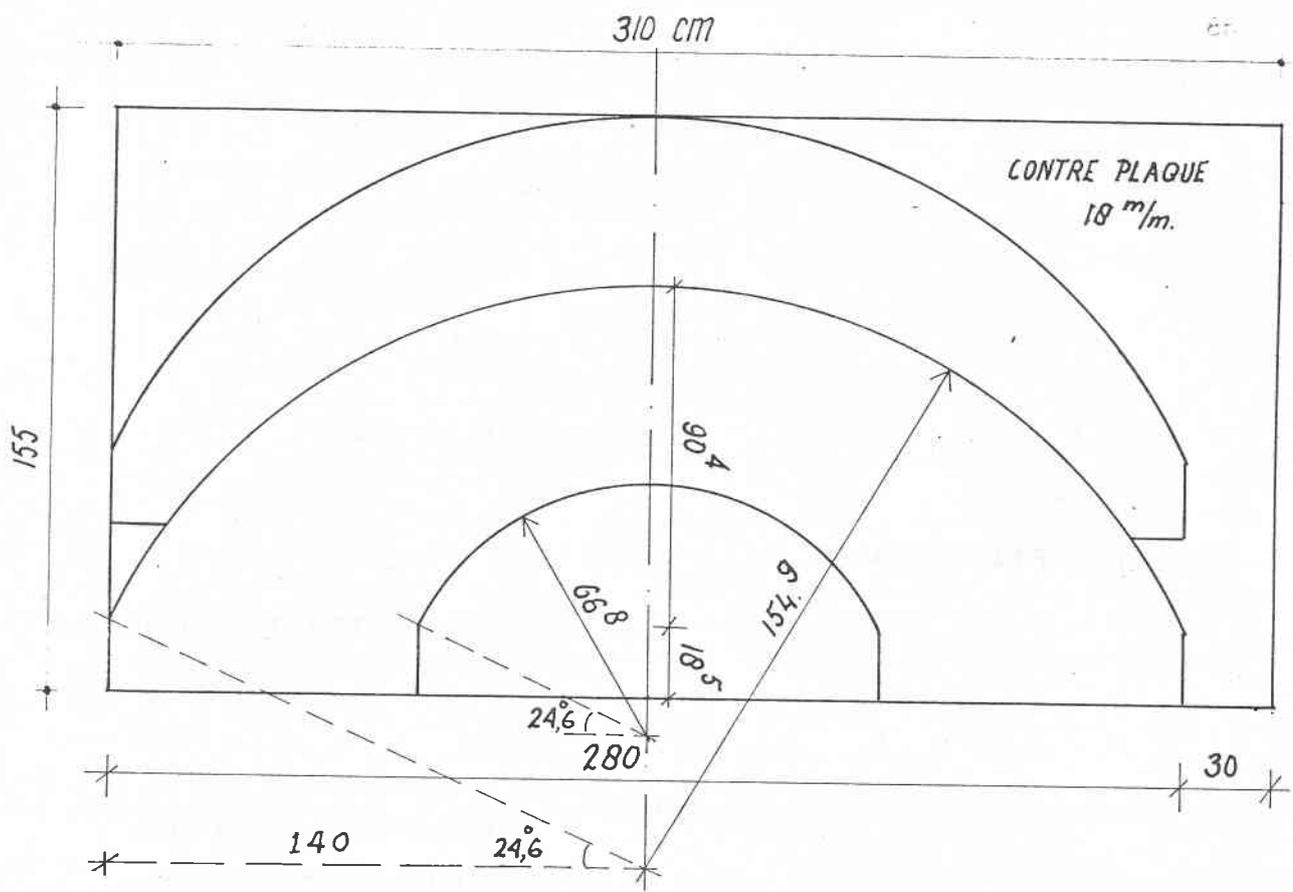


FIGURE 25

8.1.4

Les coffrages en contreplaqué, sous forme de segments de cercle ont été sciés sur le chantier à l'aide d'une scie passe-partout. La figure 25 montre comment un emploi optimal a été fait d'une plaque de contreplaqué de 155 x 310 cm. Deux coffrages de grande portée et un de petite portée sont faits à partir d'une seule plaque. En moyenne, les coffrages à Nianing ont été utilisés 25 fois.

8.1.5

Pendant toute la période de construction, deux manoeuvres ont continuellement tressé des nattes en tiges de mil et réparé des nattes déjà utilisées. Ainsi, des nattes de tiges de mil ont coûté relativement chères en main-d'oeuvre mais ont été presque gratuites, par leur abondance. A cause de leur contact direct avec le mortier humide, elles n'étaient que de deux à trois fois réutilisables. Toutefois, elles ont coûté moins chères que les nattes de "crinting" utilisées pour le prototype de Dakar.

8.2

### LA MAIN D'OEUVRE ET SON PAIEMENT

8.2.1

La main-d'oeuvre que l'on trouve sur place est peu qualifiée dans la vraie maçonnerie. Cependant, la main-d'oeuvre non qualifiée est abondante dans la région. Dans la conception du système constructif, il a été prévu de limiter le plus possible les différentes spécialisations. Le seul spécialiste sur le chantier est le maçon, qui doit exécuter un bon appareillage d'agglos avec joints réguliers et un bon dallage. Le nombre d'actions à maîtriser par ce spécialiste est limité à ce minimum, afin de pouvoir développer les aptitudes nécessaires à la main-d'oeuvre non qualifiée.

8.2.2

Le chantier a été démarré par le chef-maçon et son aide qui avaient déjà fait leur première expérience dans la construction du prototype à Dakar en 1975. Après un mois, l'équipe se composait de 6 maçons et de 12 manoeuvres. Parmi ces maçons, il n'y avait que deux qui justifiaient cette qualification. La supervision par les architectes du BREDA était très régulière, voire deux à trois fois par semaine.

Au début, on a dû souvent désapprouver le travail réalisé pour ne pas créer de mauvais exemples.

Le premier bâtiment réalisé a coûté 12 000 à 13 000 francs CFA par m<sup>2</sup>. Quelques mois plus tard, les logements des professeurs ont été réalisés pour 8 850 francs CFA par m<sup>2</sup>. Cette baisse de prix a été le résultat de deux facteurs :

- le savoir-faire acquis par la main-d'oeuvre pendant les premiers mois de la construction ;

.../...

- l'amélioration et la simplification des détails techniques.

Quelques mois après le démarrage du chantier, l'équipe se composait de 10 maçons et 20 manoeuvres. Parmi les quatre maçons qui se sont ajoutés à l'équipe, deux ont été recrutés en qualité de manoeuvres. Pendant la poursuite du chantier, le chef-maçon a souvent formé des équipes d'un maçon et d'un manoeuvre qui, tous les deux, faisaient la maçonnerie. Ainsi, la moitié des manoeuvres a été formée en maçon pendant la durée des travaux.

#### 8.2.3.1

L'engagement des ouvriers nécessaires était du ressort du chef de chantier qui faisait aussi des propositions pour chaque catégorie d'ouvriers. Le paiement des ouvriers était effectué par le responsable local de CARITAS, sur la base des tarifs de la Convention Collective pour le Bâtiment et Travaux Publics, lesquels sont de 20 à 40% plus élevés par rapport aux salaires usuels dans la pratique.

Pour le paiement des ouvriers, deux systèmes différents ont été envisagés : d'un côté, un paiement comme journaliers, et d'un autre côté, un paiement du travail à la tâche pour une somme forfaitaire.

#### 8.2.3.2

Pendant les premiers mois de chantier, les ouvriers étaient payés comme journaliers, ce qui permettait de fixer toute l'attention de l'ouvrier sur la qualité de son travail. Après la première période d'apprentissage, on est entré dans une phase de productivité pendant laquelle nous avons fait l'analyse de la durée de travail par activité (voir chapitre 7.2). A partir de cette analyse, des schémas de planning ont été établis (voir chapitre 7.2, tableau II) et qui ont servi à déterminer le volume de travail pour la construction d'un certain bâtiment et la somme forfaitaire qui y correspond. Le travail à la tâche a été introduit dans le but d'exécuter les travaux dans un délai raisonnable, et il donnait en même temps aux ouvriers la possibilité d'obtenir une prime de 10% de la somme forfaitaire si les travaux se terminaient dans le délai. En effet, la perspective d'une prime a augmenté la productivité des ouvriers. Cela a eu comme conséquence, un travail moins soigné et l'accroissement des risques d'accidents de travail.

Dans l'effort de terminer les travaux dans les délais les plus courts, le chef de chantier a négligé les prescriptions de sécurité (voir figure 22). L'exécution de la toiture selon figure 22A était plus rapide que celle selon figure 22B. A deux reprises, des murs porteurs se sont écroulés et ont blessé quelques ouvriers. Il est évident que le travail à la tâche n'est pas approprié dans le cas d'une construction encore expérimentale.

## 8.2.4

Le mouleur a toujours travaillé indépendamment de l'équipe des maçons et manoeuvres. Au total, 60 000 briques, environ, ont été produites pour le chantier de Nianing. Le mouleur et son équipe en faisaient en moyenne 300 par jour à raison de 10 francs par brique, ce qui revenait à 3.000 francs CFA par jour. Avec ce montant, le mouleur payait ses aides. Il avait intérêt de produire un nombre restreint de briques pour limiter le nombre de ses aides et pour prolonger la période de gains journaliers pour lui-même. Cet intérêt était contraire à celui du maître-d'oeuvre qui risquait de payer des maçons sous-employés par manque de production par le mouleur, qui a dû continuer la production pendant les "week-end". Pour la bonne marche du chantier, il aurait fallu démarrer la production des briques bien avant le démarrage des travaux de maçonnerie.

## 8.2.5

Après cette expérience de construction, on peut conclure que le système constructif et les techniques y afférentes permettent la réalisation de toute la construction par un seul spécialiste, le maçon qualifié, et son équipe composée de manoeuvres qui ont une faible ou aucune expérience dans la construction, pourvu que la conception du plan architectural prévoie des solutions pour la stabilité pendant l'exécution des travaux de construction.

## 8.3.1

Aspects techniques de la construction

Du fait que beaucoup de détails sont expérimentés et ont évolué pendant le chantier, on trouve un grand nombre de prototypes plus ou moins réussis qui ne constituent pas dans leur ensemble un prototype.

Les expériences concernent l'échelle de la construction, le rapport prix main-d'oeuvre/prix matériaux de construction pour un élément de la construction, la qualité du travail et le confort physique dans les bâtiments.

## 8.3.2.1

Il y a deux modules dans la construction qui déterminent l'échelle des bâtiments. Premièrement, il y a les briques dont le module est de 10 cm, ce qui a permis aux maçons d'implanter des bâtiments. Deuxièmement, il y a la voûte de la toiture qui détermine des axes parallèles de 320 cm. La production d'une seule voûte ne pose pas de problème particulier. Un problème se pose dès qu'on aligne un nombre de voûtes.

Toutefois, l'ordre à suivre dans la production de plusieurs voûtes, pour assurer une bonne stabilité pendant l'exécution, constitue une limite pour la vulgarisation du système. Pour faciliter l'exécution de la toiture, les maçons préfèrent achever travée par travée, de sorte qu'ils arrêtent parfois le travail sur un mur porteur intérieur qui n'est pas renforcé par des contreforts (voir figure 22A). Dans ce cas, il faut assurer la stabilité du mur porteur intérieur en le renforçant avec des madriers. Ces madriers étaient souvent mal placés ou même pas placés, ce qui provoquait des accidents de chantier. Ces accidents étaient en principe dus à une conception architecturale dans laquelle l'exécution était surestimée. L'expérience de ce problème de stabilité a été mise en valeur dans la construction suivante : le prototype d'une salle de classe à Nianing et dans la construction du silo à mil à Ndiarao (voir chapitre IX).

#### 8.3.2.2

Les fissures, apparues sur la toiture des bâtiments, ont montré que la dilatation et la contraction thermique obligent à réduire les surfaces continues au moyen de joints de dilatation et par le regroupement des différentes unités architecturales.

#### 8.3.3

Bien qu'il soit préférable de remplacer les dépenses des matériaux de construction par les dépenses de la main-d'oeuvre, pendant l'exécution, nous étions parfois obligés d'adapter les techniques quand les dépenses pour la main-d'oeuvre augmentaient de trop le prix de la construction. Par exemple, dans les premiers bâtiments, les logements d'étudiants et les unités placards/façades étaient couverts par une voûte en corbellement des briques. La mise en oeuvre d'une telle voûte (voir figure 26B) coûtait plus que deux jours de travail d'un maçon. Cette voûte en briques a été remplacée par la petite voûte en mortier, laquelle était déjà appliquée pour la toiture des logements (voir figure 26A). L'exécution de celle-ci ne nécessitait que quelques heures de travail par un maçon.

#### 8.3.4.1

La qualité du travail faisait l'objet principal de la formation des maçons. Cette formation était surtout orientée vers la maçonnerie d'un bon appareillage avec des joints réguliers. Pendant les premiers mois, le chantier était plutôt une école de maçonnerie. Souvent, on a dû démolir des murs qui, soit n'étaient pas bien verticaux, soit que les assises n'étaient pas bien horizontales, soit que l'on retrouvait des joints superposés. Après quelques mois de supervision stricte, les maçons ont réussi à exécuter la maçonnerie correctement sans qu'il faille encore démolir des parties de maçonnerie.

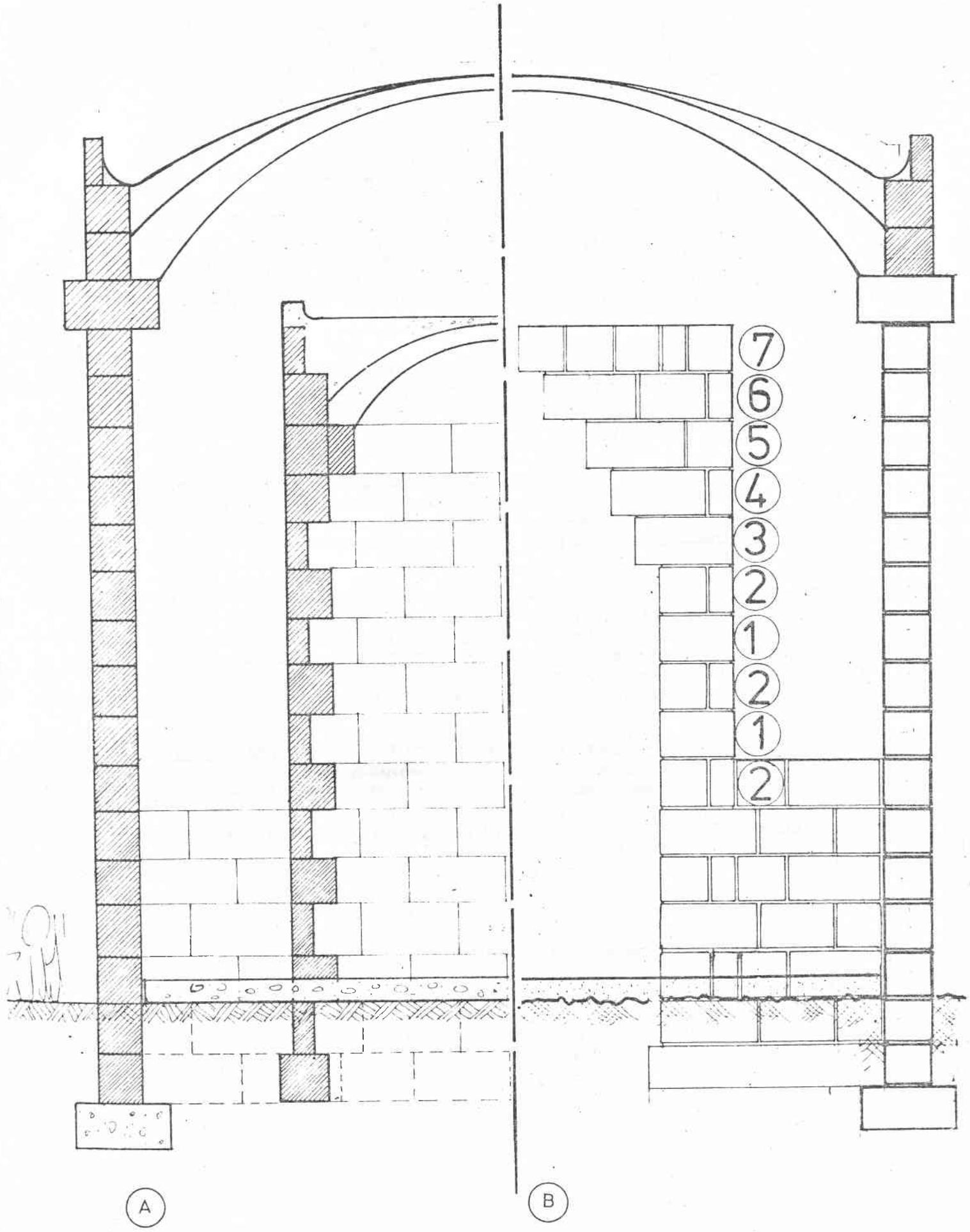


FIGURE 26.

## 8.3.4.2

A la fin de chaque journée de travail, les ouvriers devaient arroser les murs et une partie de la toiture qu'ils avaient terminés il y a six jours. Si l'on n'arrose pas le travail achevé, on remarque que les joints de la maçonnerie et la surface extérieure de la toiture risquent de sécher trop vite sans que la prise de ciment ne soit faite.

Ensuite, l'arrosage de la maçonnerie permet de dissoudre le sel éventuellement contenu dans les briques. Toutefois, on a souvent négligé cet arrosage dont les conséquences sont visibles à des endroits bien indiqués. Par exemple, des réparations sur la surface extérieure de la toiture ont été nécessaires dans certains cas. Il a également fallu protéger les conduits d'écoulement de la toiture par un feutre bitumé.

## 8.3.5

Le confort thermique dans le bâtiment s'est montré très satisfaisant. En effet, l'inertie thermique de la toiture assure une bonne fraîcheur dans la salle de classe jusqu'à la fin de la journée.

Pour les logements, la combinaison de l'inertie thermique de la toiture et les ouvertures dans les façades créent un climat favorable pour s'abriter dans les logements pendant les heures les plus chaudes de la journée.

Pendant l'hivernage, durant la nuit, la température à l'intérieur est confortable grâce à l'aération optimale. Pendant les mois les plus froids, on est obligé de se protéger avec une couverture, ce qui est d'usage dans la région. Toutefois, le rayonnement de chaleur à l'intérieur pendant les dernières heures de la nuit a été remarquable.

## 8.3.6

Pour des raisons d'économie, il n'y a pas de moyens pour ouvrir ou fermer les ouvertures dans les façades de sorte que, quelques fois par année, une pluie horizontale pénètre par les claustras. A l'aide de tissus et de moustiquaires fixés sur des cadres en bois, on arrive à freiner le vent dans la plupart des cas.

## 8.4

L'ORGANISATION DU CHANTIER

## 8.4.1

L'approvisionnement du chantier

## 8.4.1.1

Le ciment, le contreplaqué, le treillis de poulail-  
ler sont en général délivrés sur le chantier par un fournis-  
seur à MBour, ville située à 9 km du chantier. Les commandes  
étaient faites par le chef de chantier et le responsable de

de CARITAS sur place par bons de commande. Plus tard, les commandes de ciment étaient faites par paiement direct pour être sûr d'une livraison prompte. Le chantier a été plusieurs fois interrompu par manque de ciment.

L'approvisionnement en latérite a toujours été effectué par un entrepreneur sur commande du chef de chantier. L'approvisionnement en sable de mer était d'abord effectué par une équipe de manoeuvres, avec l'aide d'un tracteur. Toutefois, la soustraction périodique de ces manoeuvres de l'équipe du chantier empêchait une bonne organisation du chantier. Après quelques mois, ce système d'approvisionnement a été remplacé par des livraisons par camions, effectuées par un entrepreneur. Le sable de dune a été extrait sur place par l'équipe des mouleurs, simultanément à la production des briques. Les trous créés par l'extraction ont été récupérés pour des puits perdus.

De l'eau courante était disponible sur le chantier. Des ruptures d'adduction d'eau ont souvent désorganisé le chantier. Bien qu'il y avait des réservoirs d'eau comme la fosse septique et quelques fûts, les ouvriers oubliaient souvent de les remplir.

8.4.1.2 La quantité de bois disponible pour les échafaudages était insuffisante de sorte qu'on a été obligé de construire des tours d'échafaudage avec des briques, ce qui a pris beaucoup de temps et a provoqué une grande perte de briques.

#### 8.4.2 La coordination des activités sur le chantier

8.4.2.1 L'organisation du travail sur le chantier a été faite par le chef de chantier qui avait déjà une longue expérience dans le métier vu son âge (60 ans).

Au début, les travaux de construction se sont déroulés avec une petite équipe. Etant donné la lenteur des travaux, on a dû rapidement augmenter le nombre d'ouvriers. Il y avait quarante ouvriers sur le chantier. A cette période, nous avons pu constater que ce nombre était trop grand pour être supervisé par ce chef de chantier, et la production stagnait. On a ensuite diminué ce nombre à trente.

8.4.2.2 Le système constructif impose un certain ordre d'exécution (voir figure 27).

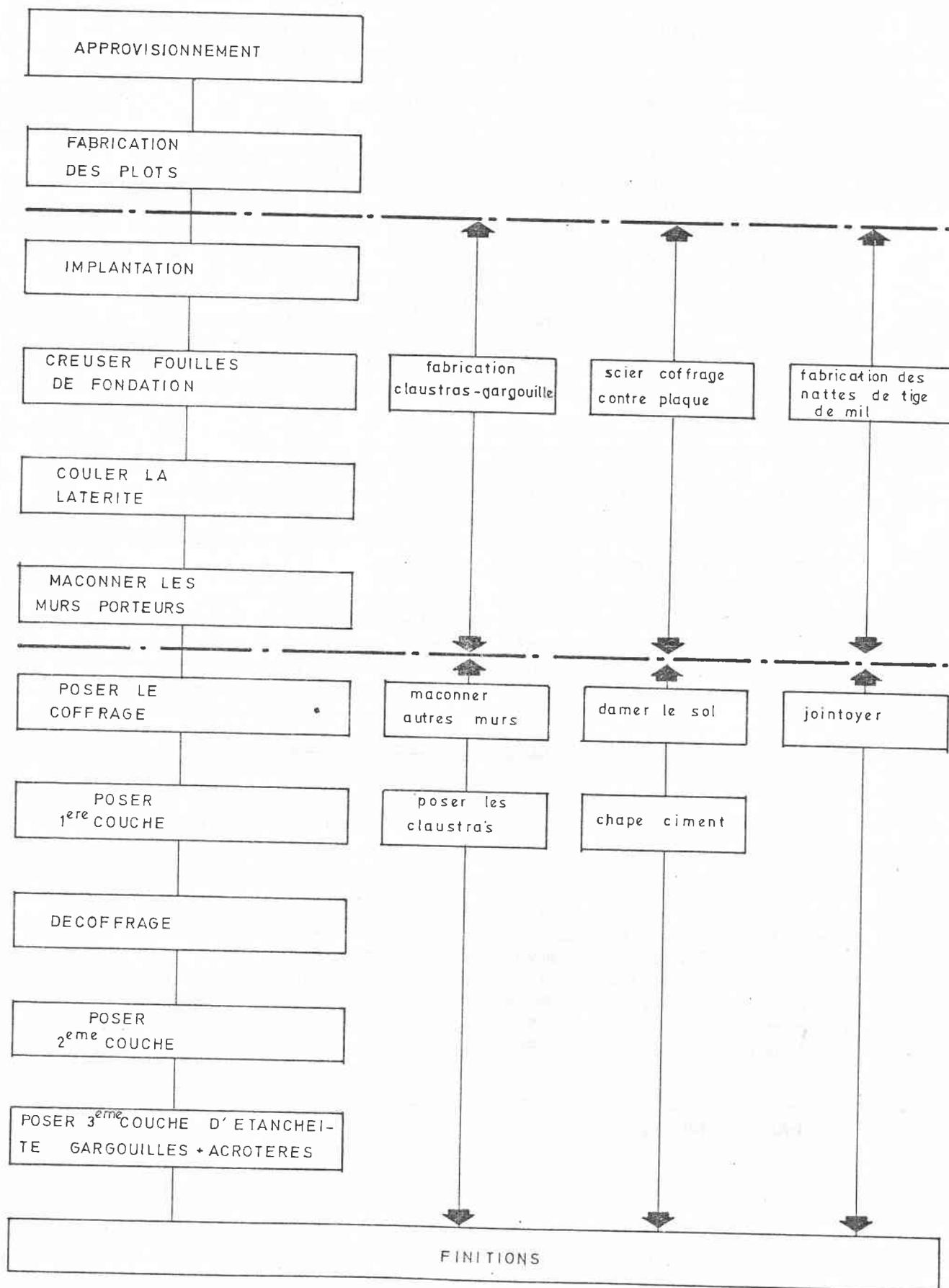


FIGURE 27.

Ce schéma d'exécution laisse au chef de chantier suffisamment de flexibilité d'organisation quant à l'emploi d'une même équipe d'ouvriers. Le fait qu'il n'y ait qu'un seul type de spécialistes, prévoit des retards de coordination. Le fait qu'il formait des manoeuvres en maçons lui donnait l'avantage d'adapter le nombre de "maçons" aux besoins d'organisation tout en maintenant l'effectif de l'équipe des maçons et des manoeuvres. Quand l'effectif d'ouvriers atteignait le nombre de 30, l'équipe du BREDA fournissait un schéma d'organisation pour chaque bâtiment à construire. Ces schémas ont plus tard servi à calculer le délai et le prix pour une exécution à la tâche.

Si l'on suit le schéma d'organisation établi, on remarque que les ouvriers sont parfois trop nombreux. Avec une meilleure supervision, il aurait été possible d'exécuter les travaux avec moins d'ouvriers et de manière plus efficace.

#### 8.5.1 L'encadrement du chantier

Le chantier a été encadré de deux façons différentes :

8.5.1.1 L'organisme non gouvernemental, CARITAS-SENEGAL s'est chargé de traiter les problèmes logistiques du chantier, comme les commandes des matériaux de construction et le paiement des ouvriers.

La flexibilité d'action financière de CARITAS-Sénégal a été favorable pour la bonne continuité du chantier où des problèmes de paiement n'ont jamais gêné le progrès des travaux.

8.5.1.2 L'équipe des architectes du BREDA s'est chargée de la recherche, de l'établissement des plans, la formation de la main-d'oeuvre et la supervision technique du chantier. Ensuite, cette équipe a assisté CARITAS-Sénégal comme conseil- lère en problèmes logistiques.

La disponibilité des architectes du BREDA pour participer activement à la formation de la main-d'oeuvre a été une condition déterminante pour le succès de l'opération. L'intervention du BREDA s'est évaluée à vingt mois de travail d'architecte (expert-associé), ce qui revient à dix millions de francs CFA environ pour la recherche, la formation, l'établissement des plans et la supervision de chantier.

# 9 - PROJETS APRÈS LES EXPERIENCES DE NIANING

9.1                   Après l'expérience des constructions expérimentales du Centre de Formation Agricole à Nianing, plusieurs bâtiments ont été construits selon le système de portée courte.

Dans la phase de la conception architecturale, le BREDA a insisté sur la prévision de la stabilité pendant l'exécution. Dans la phase d'exécution, la supervision du BREDA n'était que de nature passive. Les constructions d'un silo à mil à Ndiarao, d'une salle de classe à Nianing-village et d'une église à Sandiara sont achevées. Plusieurs foyers d'Enseignement Moyen Pratique, sous le financement de la Banque Mondiale, sont en préparation.

## 9.2                   SILLO DE 200 TONNES DE MIL A NDIARAO

9.2.1               Actuellement, on trouve deux types de silo dans les zones rurales du Sénégal. D'abord, il y a le silo traditionnel en tiges tressés de forme cylindrique. A l'intérieur de ce silo, il y a un revêtement en paille qui sert à empêcher une fuite des grains, et comme couche isolante pour la préservation. Les pertes de stockage dans ce type de silo sont considérables (souvent jusqu'à 25 %) ; elles sont dues aux rats et insectes et parfois à l'humidité.

Le silo traditionnel, à l'échelle d'une famille est de plus en plus remplacé par de grands silos "modernes", le plus souvent construits par des murs et une toiture en tôle ondulée, renforcés par une structure d'acier profilé.

Les désavantages du silo de type moderne sont nombreux :

En ce qui concerne les conditions de stockage :

- pour un bon stockage du mil, il faut garder la température la plus constante possible ; ce qui n'est pas possible dans un silo en tôle ondulée où la variation de la température intérieure dépasse 20° C entre jour et nuit ;
- les façades et la toiture en tôle ondulée sont toujours pénétrables par les insectes ;

.../...

- le volume de stockage n'est pas réparti en compartiments dont le volume correspond à la production d'une famille, d'un quartier ou d'un village.

En ce qui concerne la construction du silo :

- pour la construction, on n'utilise que des matériaux importés ;
- l'exécution de la construction nécessite une main-d'oeuvre spécialisée que l'on ne trouve pas dans les villages.

#### 9.2.2.1

Le silo de Ndiarao est à considérer comme une alternative au silo moderne sans tous ses désavantages. Le silo est construit selon le système de portée courte ; on n'a utilisé que des matériaux travaillant à la compression : "les sables stabilisés". Les sables sont extraits sur place, les briques sont produites sur place, les maçons et manoeuvres sont tous recrutés sur place.

#### 9.2.2.2 Les conditions de stockage

- L'épaisseur moyenne de la toiture est de 45 cm de sorte que la fluctuation de la température à l'intérieur ne soit que 3° C, environ, entre jour et nuit.
- Le silo est fermé hermétiquement. A l'intérieur du silo se forme un gaz méthane qui rend toute vie impossible aux insectes. Egalement, la pénétration des insectes ou rats dans le silo est impossible pendant la durée du stockage.
- Le silo est isolé contre la montée de l'humidité provenant du sous-sol par une feuille de poly-éthylène qui s'étend sous tout le bâtiment.
- Les contreforts des murs porteurs extérieurs sont récupérés à l'intérieur pour diminuer la surface extérieure exposée aux intempéries.
- Le silo est réparti en plusieurs compartiments, ce qui rend possible le stockage de toute la production d'un village dans un seul compartiment. Il est facile de créer des compartiments encore plus petits.

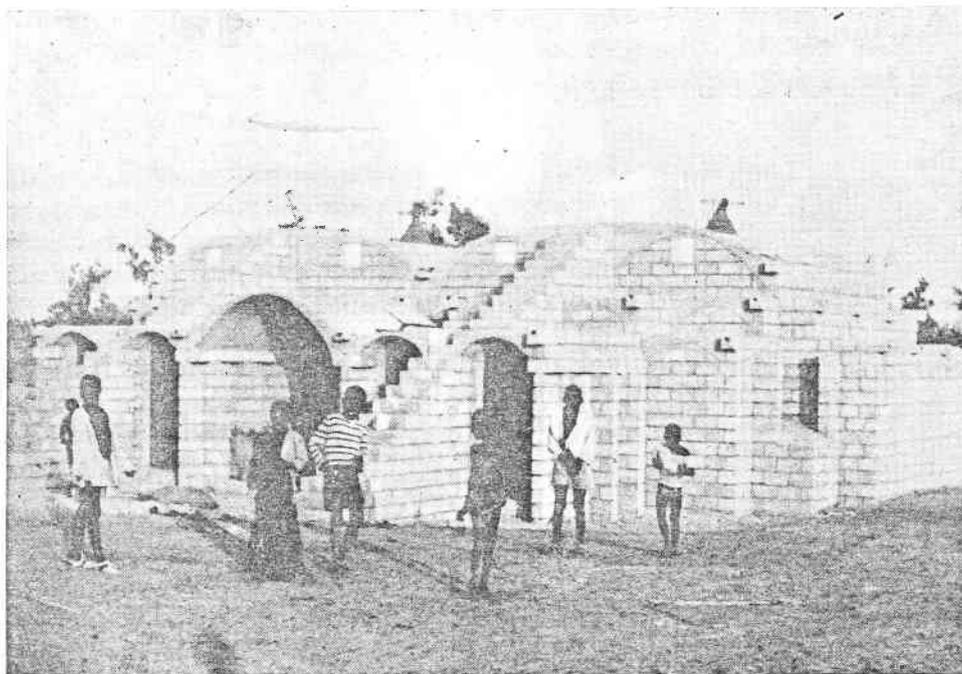


Photo 21 Extérieur du silo à mil, les grains sont montés par l'escalier

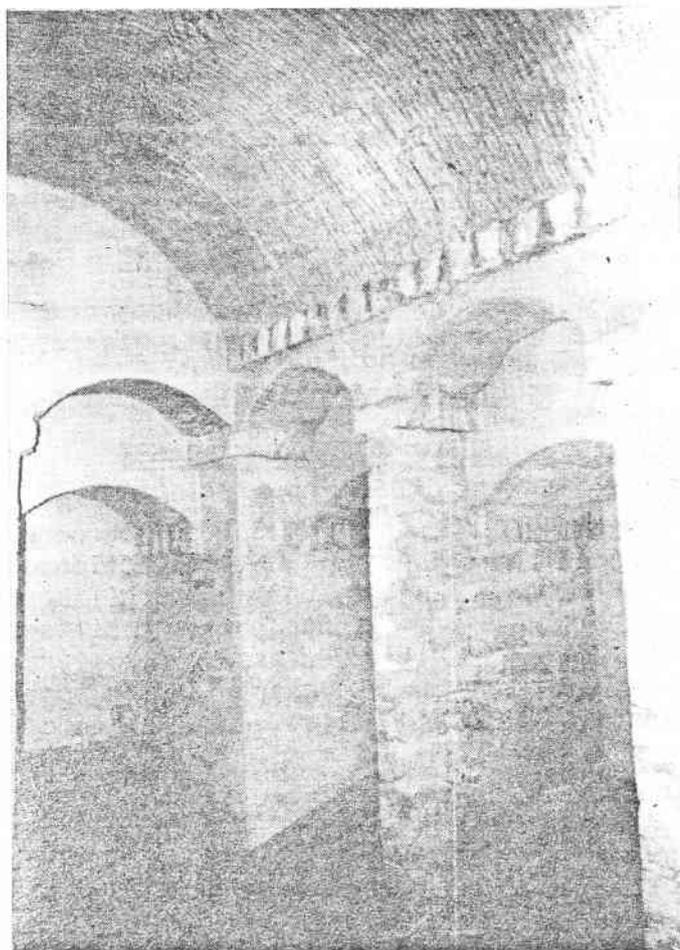


Photo 22

Intérieur du silo à mil.  
Les contreforts sont récupérés à l'intérieur.

### 9.2.2.3 La construction du silo

Dans le silo, il n'y a pas de béton armé, ce qui nécessiterait une mise en oeuvre plus spécialisée. Il s'agissait soit de diminuer la pression du mil sur les murs, soit de contrebalancer les forces horizontales sur les murs par le poids de la toiture. Les moyens techniques appliqués ici sont :

- la pression du mil sur les murs extérieurs est limitée par l'adaptation de la hauteur de la toiture selon le talus naturel du mil ainsi qu'une pente de la chape contre les murs extérieurs ;
- les murs intérieurs sont de 40 cm d'épaisseur. Ils sont ensuite équilibrés par le poids énorme de la toiture ;
- chaque élément du silo est auto-stable, ce qui élimine tous dangers de manque de stabilité pendant la phase d'exécution

### 9.2.2.4

L'ensemble de tous ces détails a permis aux villageois d'exécuter eux-mêmes tout le projet de construction sous la supervision d'un chef-maçon qui n'avait pas encore d'expérience avec ce système constructif.

Le prix de la construction est de 12.000 francs CFA par tonne stockée. Etant donné que la valeur d'une tonne stockée est de 36.000 francs CFA, et la perte peut monter jusqu'à 25 %, dans les silos traditionnels, celui de Ndiarao pourrait se payer dans une année et demi à deux ans. Dans le cas d'un investissement humain par les villageois, le prix du silo pourra descendre à 6.000 francs par tonne stockée (voir annexe XI(1)).

Le silo de Ndiarao fonctionne depuis Décembre 1977 sous la supervision du Secours Catholique Américain. Des autres projets de silo sont en cours.

## 9.3

### PROTOTYPE D'UNE SALLE DE CLASSE A NIANING-VILLAGE

#### 9.3.1

La salle de classe à Nianing-Village a été conçue sur la base des expériences faites pendant la construction du Centre de Formation Agricole à Nianing. Pour résoudre le problème de stabilité pendant l'exécution et pour obtenir suffisamment d'éclairage indirect dans la salle de classe, la toiture a été divisée en deux parties : une partie basse, le long des façades latérales et une partie haute, au milieu de la salle de classe.

Cette répartition de la toiture a également réduit la longueur maximale de la surface la plus grande de la toiture, de sorte qu'on ne trouve pas de fissures de dilatation sur cette toiture.

La partie basse peut éventuellement être exécutée travée par travée bien qu'il soit préférable d'exécuter les trois travées successives à la fois. Après avoir réalisé la toiture basse, on a facilement accès à la toiture haute. La stabilité de la construction est maintenant assurée par la toiture basse. Aucune supervision technique n'a été effectuée pendant la durée des travaux. La construction a été réalisée par le chef-maçon, qui avait construit le C.F.A.N., avec son équipe composée de 4 manoeuvres formés en maçons et 8 manoeuvres non qualifiés.

### 9.3.2 Eclairage de la salle de classe

Pour l'orientation de cette salle de classe, on n'avait pas toute liberté puisque l'implantation des bâtiments existants et l'emploi du terrain de l'école pour des activités en plein-air imposaient l'orientation des façades avec des ouvertures sous un angle de  $65^\circ$  par rapport à l'axe Nord-Sud, ce qui est défavorable du point de vue protection solaire.

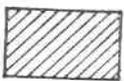
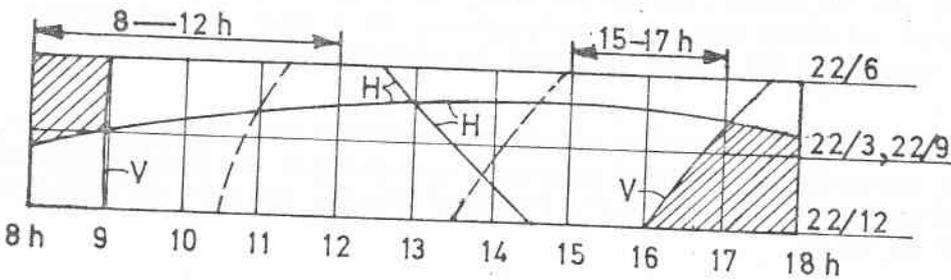
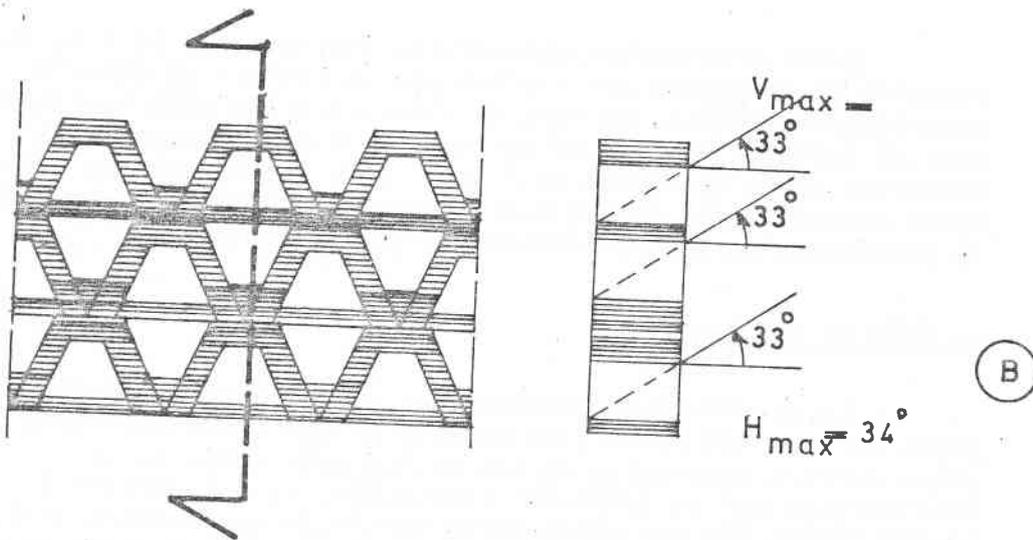
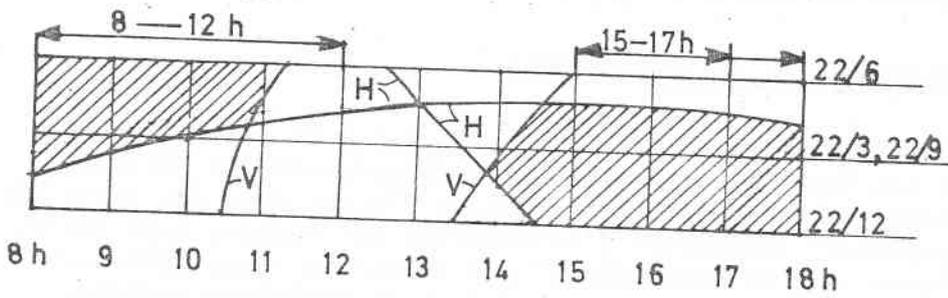
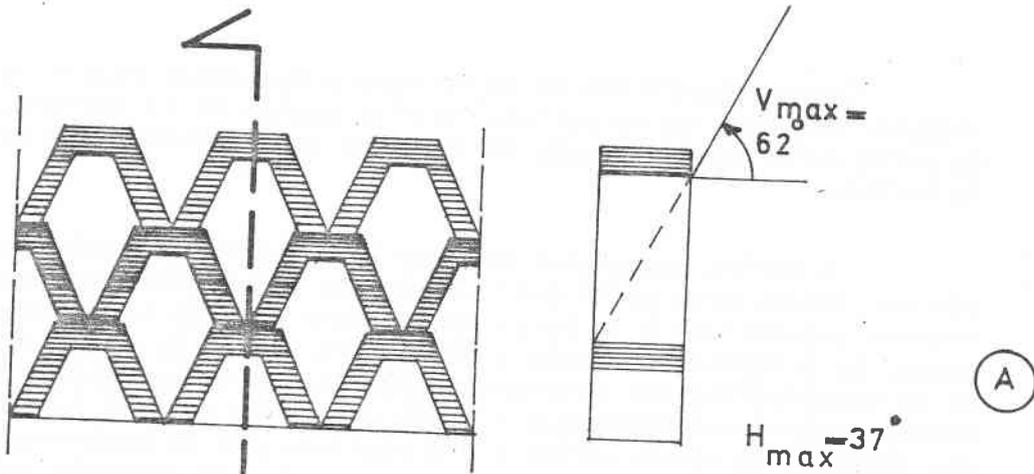
Cette orientation défavorable implique que le type de claustra de la figure 28A n'offre pas la protection solaire souhaitée. Toutefois, ce type de claustra a été déjà appliqué dans la salle de classe, ce qui nous a obligé d'adapter ces claustras comme le montre la figure 28B. Les diagrammes montrent comment cette simple modification du claustra a diminué la protection du soleil pendant les heures de cours.

### 9.3.3 Le coût de construction

La construction comprend une salle de classe avec espaces annexes, un bureau, un magasin et une unité sanitaire d'une surface construite de  $124 \text{ m}^2$ . Le coût total de la construction est de 1.500.000 francs CFA, ce qui revient à 12.000 francs CFA par mètre carré construit en Décembre 1977, à 100 kms de Dakar. De ce montant, 40 % ont été dépensés pour l'achat de matériaux de construction, 50 % pour la main-d'oeuvre locale et 10 % pour le chef de chantier expérimenté.

Comme le système constructif permet une auto-construction assistée, il serait possible de réaliser un investissement humain, ce qui diminuerait, éventuellement, le coût de construction de 50 %.

.../...



PERIODE DE PENETRATION DU SOLEIL

FIGURE 28

#### 9.3.4 Comparaison des prix de construction

Une comparaison est faite entre le prix de construction d'une salle de classe de type conventionnel dont on en construit régulièrement des centaines au Sénégal, et le prix d'une salle de classe selon le système de portée courte (voir figure 29).

Le prix de la salle de classe conventionnelle est basé sur l'exécution par une entreprise, pour une somme forfaitaire de 2.500.000 francs CFA pour une surface construite de 76 m<sup>2</sup> (64 m<sup>2</sup> surface nette).

Le prix de la salle de classe, prototype de portée courte est basé sur le prix de construction de la salle de classe réalisée en Décembre 1977, sans supervision technique de la part de l'architecte. Ce prix est majoré de 25 % pour la formation et l'encadrement technique sur le chantier. Le prix de construction s'élève à 1.220.000 francs CFA pour une surface construite de 83 m<sup>2</sup> (66 m<sup>2</sup> surface nette).

Donc la salle de classe, prototype de portée courte coûte moins que la moitié d'une salle de classe conventionnelle.

COMPARAISON DES PRIX DE CONSTRUCTION

Février 1978

Salle de Classe Conventiennelle

Prototype de Portée Courte

	<u>Prix/m2</u>			<u>Prix/m2</u>
Fouille	660			
Fondation	1 980	2 970	Fondation	630
Remblai	330			
Maçonnerie	2 640			
Chaînage	1 650	8 250	Maçonnerie	5 960
Menuiserie métallique	3 960			
Charpente	6 600			
Couverture	3 630	12 540	Toiture	4 760
Plafonnage	2 310			
Enduit	990	990	Rejointage	760
Dallage	2 970	2 970	Dallage	1 010
Menuiserie bois	990			325
Peinture	2 310	2 310		-----
Finition	1 980	1 980		1 230
TOTAL	33 000 frs CFA/m2			14 665
Prix par mètre carré construit			Aménagements Extérieurs	335
			Total Prix/m2 construit	15 000 Frs CFA
Surface nette	64 m2		Surface nette	66 m2
Surface construite	76 m2		Surface construite	83 m2
PRIX SALLE DE CLASSE	2 500 000		PRIX SALLE DE CLASSE	1 220 000

FIGURE 29.

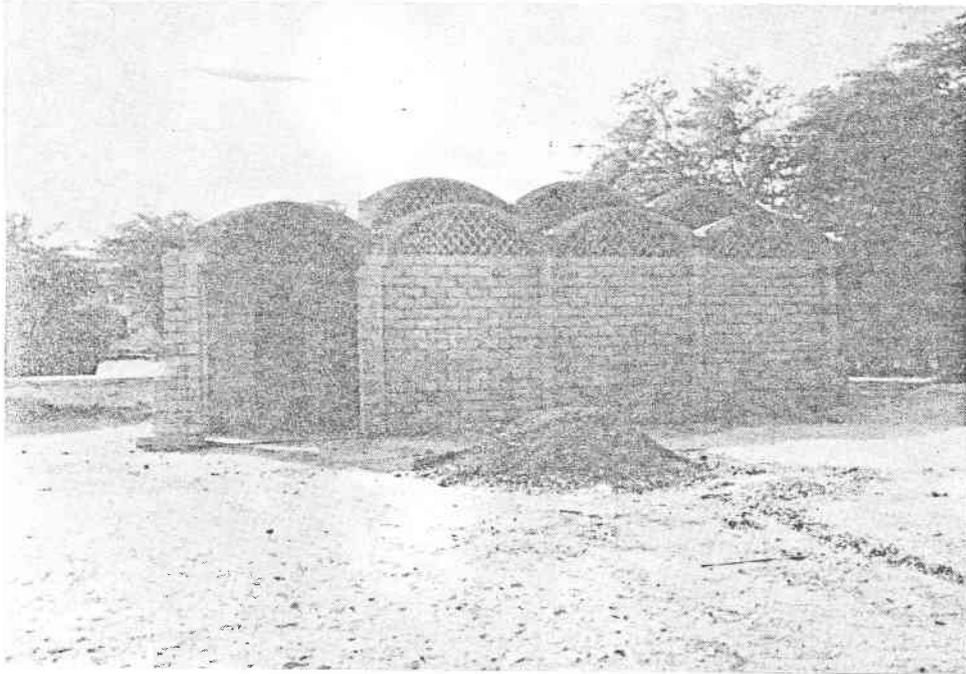


Photo 23      Extérieur de la salle de classe

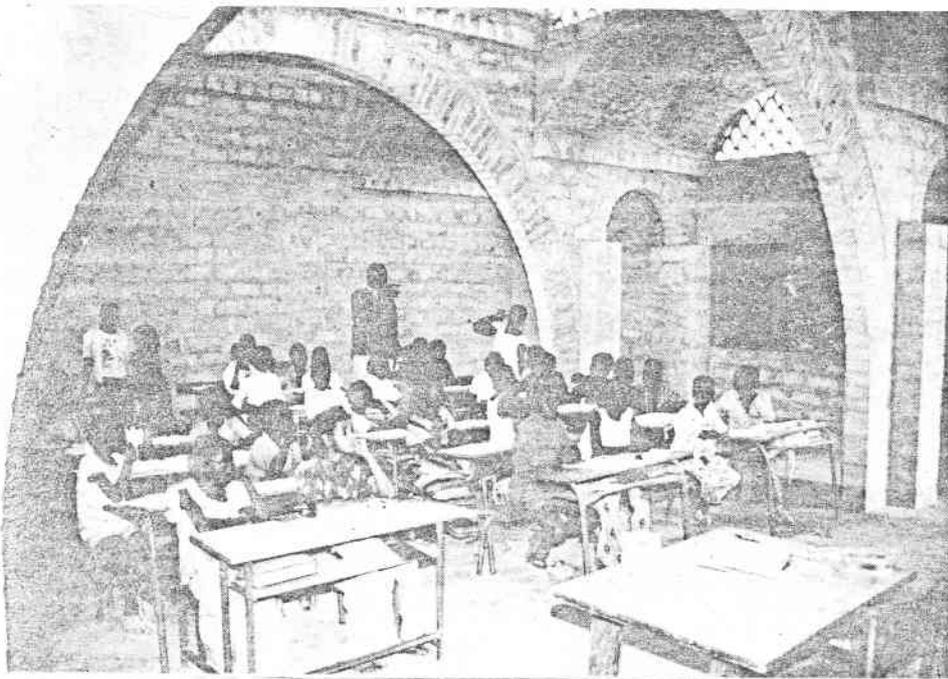


Photo 24      Intérieur de la salle de classe.

## 10. CONCLUSION

Dans le contexte des pays en voie de développement, l'auto-construction n'est pas un pis aller. Au contraire c'est un authentique moyen de développement à partir des ressources probablement les plus abondantes à condition d'apprendre à les mettre en valeur et de les utiliser.

Dans les pays en voie d'industrialisation, le secteur du bâtiment dit "moderne" n'a jamais pu répondre et ne pourra probablement pas le faire avant longtemps - qu'aux besoins de moins de 10 à 15 % de la population, c'est-à-dire la part de cette dernière qui est favorisée, monétarisée et "occidentalisée". Le reste - le plus grand nombre - ne peut recourir qu'à des moyens précaires pour réaliser ses aspirations. Faute d'orientation, les possibilités sont réduites soit à l'imitation des modèles importés inadaptés, conduisant à des résultats souvent ruineux et désastreux, soit à la perpétuation des techniques traditionnelles, fréquemment en voie de dégradation. Seule la mise en valeur des richesses naturelles, les ressources humaines et les besoins énormes de l'habitat du plus grand nombre et ses prolongements parmi lesquels les espaces éducatifs.

Les constructions du Centre de Formation Agricole à Nianing, du silo à mil de Ndiarao et de la salle de classe à Nianing-village se sont développées à une alternative valable pour le bâtiment du modèle "moderne". Ces bâtiments, réalisés selon le système constructif de la portée courte, constituent la preuve du progrès suivant :

- le coût de construction est beaucoup moins élevé par rapport aux autres bâtiments qualitativement comparables ;
- la construction est complètement réalisée par la main-d'oeuvre locale. Environ 60% du coût de construction ont été destinés à la main-d'oeuvre locale ;
- l'apparition architecturale des bâtiments est le résultat d'une utilisation optimale des matériaux locaux. Les formes qui en résultent sont satisfaisantes du point de vue esthétique.
- le confort thermique est très bon grâce à la bonne inertie thermique de la toiture. Le système constructif permet de choisir une inertie thermique optimale sans grande conséquence financière ;
- une vulgarisation par auto-construction assistée est possible, pourvue qu'on accepte de faire un investissement pour l'encadrement technique, qui apportera des économies, beaucoup plus importantes.

## ANNEXE I

### PRIX DE L'EQUIPEMENT D'UN MACON

(PEYRISSAC : 1/4/78, Dakar)

Bac à mortier	4.045
Seau	2.430
Brouette	14.595
Fil à plomb	965
Niveau (grand)	4.585
Truelle	1.365
Corde (50 m)	1.215
Pioche	1.820
Pelle-bêche	965
Pelle ronde	965

Pour créer un poste de maçon,

il faut investir :

TOTAL

32.680 Francs CFA

Si le maçon se munit de bois  
d'échaffaudage, l'investissement  
total sera de :

45.000 francs CFA (environ)

ANNEXE II

ESSAIS DE COMPRESSION SUR CUBE A FAIBLE DOSAGE

- les cubes mesurent 10 x 10 x 10 (cm)
- date de fabrication : 22.2.1977
- date de l'essai : 22.3.1977
- sable de mer de Nianing
- sable de dune de Nianing

N° de Cube	Composition du cube	Densité en (Kgf/dm <sup>3</sup> )	Hauteur en (cm)	Surface en (cm <sup>2</sup> )	Force de Rupture en (Kgf)	Résistance en (Kgf/cm <sup>2</sup> )	Résistance Moyenne
1	50% S. mer	1,72	10,08	100,20	1672,8	16,69	17,10
2	50% S. dune		10,09	101,00	1757,4	17,40	
3	9% ciment		10,14	101,90	1147,0	11,26*	
4			10,00	102,20	1758,5	17,21	
5	100% S. dune	1,97	10,11	101,30	1499,5	14,80	13,90
6	9% ciment		10,10	100,00	1671,4	16,71	
7			10,02	100,00	1330,5	13,30	
8			10,05	100,00	1330,5	13,30	
9			10,00	101,00	1150,7	11,39	
10	100% S. mer	1,63	10,05	99,00	890,1	8,99	9,36
11	9% ciment		10,05	101,40	1061,4	10,47	
12			10,05	100,00	975,7	9,76	
13			10,05	100,50	719,0	7,15	
14			10,05	101,50	1061,4	10,46	
15	70% S. mer		1,71	10,17	99,50	1146,9	
16	30% S. dune	10,15		100,90	1327,4	13,16	
17	9% ciment	10,15		101,50	1267,3	12,49	
18		10,15		99,75	720,8	7,23*	
19		10,22		100,50	1064,6	10,59	
20	70% S. mer	1,70	9,95	100,50	1844,0	18,35*	6,32
21	30% S. dune		10,15	101,20	643,8	6,27	
22	5,5% ciment		10,15	100,50	634,8	6,32	
23			10,22	100,20	548,8	5,48	
24			10,15	99,70	720,8	7,23	

25	100% S. dune	2,30	10,12	102,72	548,8	5,34	5,43
26	5,5% ciment		9,95	99,50	634,8	6,38	
27			10,15	101,00	462,8	4,58	
28			10,12	102,21	377,0	3,69	
29	50% S. dune	2,03	10,10	100,70	634,8	6,30	6,11
30	50% S. mer		10,10	100,70	720,8	7,16	
31	5,5% ciment		10,05	101,20	548,8	5,43	
32			10,02	101,70	548,8	5,40	
33			10,02	101,50	634,8	6,25	

ESSAIS FAITS PAR LE CEREEQ

1C	50% S. mer 50% S. dune	1,74	10	100	1900	19	
2C	9% ciment	1,76	10	100	2000	20	19,50
3C		1,75	10	100	2920	29,2 <sup>*</sup>	
4C		1,76	10	100	1960	19,6	

\* Si la résistance d'un cube varie à 40% de plus que la résistance moyenne des autres cubes d'une série, on ne tiendra pas compte de ce résultat.

## ANNEXE III

### DONNEES CLIMATIQUES

Relevées à la Station de M'Bour

TEMPERATURES	1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	Moyenne générale des 10 dernières années
Maximales	41,1	32,8	33,7	34,0	33,5	34,9	34,0	33,6	35,5	35,2	34,1
Minimales	20,0	19,1	19,0	19,4	19,3	19,6	19,4	19,1	19,9	20,2	19,5
Moyennes	26,9	26,2	26,4	26,8	26,5	27,3	26,7	26,4	27,6	27,7	26,9

### LE VENT

Les stations d'observation ont relevé les chiffres du tableau ci-dessous. La zone du projet est sujette, par moments, à des vents d'Est brûlants.

	Oct. 70	Nov. 70	Déc. 70	Janv. 71	Févr. 71	Mars 71	Avril 71	Mai 71	Juin 71
DIRECTION DU VENT	N.	N.	NNO	NNO	ONN	NNO	NO	N.	NO
	36	35	34	34	30	30	32	36	32

.../...

25	100% S. dune	2,30	10,12	102,72	548,8	5,34	5,43
26	5,5% ciment		9,95	99,50	634,8	6,38	
27			10,15	101,00	462,8	4,58	
28			10,12	102,21	377,0	3,69	
29	50% S. dune	2,03	10,10	100,70	634,8	6,30	6,11
30	50% S. mer		10,10	100,70	720,8	7,16	
31	5,5% ciment		10,05	101,20	548,8	5,43	
32			10,02	101,70	548,8	5,40	
33			10,02	101,50	634,8	6,25	

ESSAIS FAITS PAR LE CEREEQ

1C	50% S. mer 50% S. dune	1,74	10	100	1900	19	
2C	9% ciment	1,76	10	100	2000	20	19,50
3C		1,75	10	100	2920	29,2 <sup>*</sup>	
4C		1,76	10	100	1960	19,6	

\* Si la résistance d'un cube varie à 40% de plus que la résistance moyenne des autres cubes d'une série, on ne tiendra pas compte de ce résultat.

LA PLUVIOMETRIE

Le tableau ci-après indique une répartition très irrégulière de la pluviométrie.

ANNEES	Juin	Juillet	Août	Sept.	Octobre	Total Pluviométrie
1968						
Hauteur	12,9	171,0	69,9	159,3	33,9	447,0 mm
Nombre de jours	3	9	6	14	5	37
1969						
Hauteur		81,5	360,0	343,9	60,4	999,7
Nombre de jours		13	20	19	8	60
1970						
Hauteur	21,3	97,1	240,9	98,7	11,8	469,8
Nombre de jours	3	9	19	9	1	41
1971						
Hauteur	25,6	143,3	232,9	191,1	12,9	605,8
Nombre de jours	2	7	21	15	2	47
1972						
Hauteur	31,4	8,4	96,4	58,7	10,1	205,0
Nombre de jours	4	2	11	7	2	26
1973						
Hauteur	38,7	63,0	128,8	75,1	28,4	334,0
Nombre de jours	1	10	11	5	1	28

## TABLEAUX DE MAHONEY

SITUATION : KAOLACK

LONGITUDE : 16° 04' 0

LATITUDE : 14° 08' N

ALTITUDE : 6 M

TMA - "température moyenne annuelle"

EMA - "écart moyen annuel" plh - plb

TABLEAU 1

temperature °C	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
max. moyenne mens	34	35.7	38.4	39.2	39.3	36	33.4	31.5	37.5	34.4	35.6	33.4
min. moyenne mens	15.6	16.2	18.5	19.5	21.6	23.8	24.2	23.8	23.5	23.3	20.3	16.6
écart moyen mensuel	18.4	19.5	19.9	19.7	17.7	12.2	11.2	7.7	14	11.1	15.3	17.2

la plh.	TMA
39.3	27.5
15.6	23.7
la pl b.	EMA

TABLEAU 2

humidité (pourcent)	max. moy. men	63	46	68	76	82	87	91	96	97	94	85	62
	min. moy. men	17	9	11	14	20	37	52	63	60	48	28	22
	moyenne	40	27.5	39.5	45	51	62	71.5	79.5	78.5	71	56.5	42
groupe d humidité		2	1	2	2	3	3	4	4	4	4	3	2
pluie (mm)		1	1	0	0	9	66	165	308	220	68	6	2
vent	dominant	NE	NE	NE	NO	NO	0	0	0	0	0	N	NE
	secondaire			N	NE	O					NO		E

846 total

apres l'an  
1970 : 500 max  
1973 : 350 min.

TABLEAU 3

température													
max. moyenne mens.	34	35.7	38.4	39.2	39.3	36	33.4	31.5	37.5	34.4	35.6	33.8	
confort diurne	max.	31	34	31	31	29	29	27	27	27	27	29	29
	min.	25	26	25	25	23	23	22	22	22	22	23	23
min. moyenne mens.	15.6	16.2	18.5	19.5	21.6	23.8	24.2	23.8	23.5	23.3	20.3	16.6	
confort nocturne	max	24	25	24	24	23	23	21	21	21	21	23	23
	min.	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17
tension thermique													
jour	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
nuit	F	F	C	C	C	T	T	T	T	T	C	F	

T = trop chaud.  
C = confort  
F = trop froid

TABLEAU 4

H1 mouv. d'air (essent.)							V	V	V	V			
H2 mouv. d'air (désirab)													
H3 protec. contr. la pluie								V	V				
A1 emmagasinage therm.	V	V	V	V	V	V					V	V	
A2 dormir dehors													
A3 probl. saisons fr.	V	V										V	

total :

4
0
2
8
0
3

Source des données : SMUH Fiches climat, 1970

TABEAU 5 RECOMMANDATIONS POUR L'AVANT-PROJET

KAOLACK

Somme des indicateurs du tableau 4						recommandations
humide			aride			
H1	H2	H3	A1	A2	A3	
4	0	2	8	0	3	
						plans
			0 - 10			V 1. bâtiments orientés nord-sud réduisant l'exposition au soleil
			11 ou 12		5 - 12	
					0 - 4	2. dispos.compacte sur cours intér.
						espaces
11 ou 12						3. espaces ouverts pour pénétrat.vents
2 - 10						V 4. comme 3 mais protège du vent fr./ch.
0 ou 1						5. disposition compacte
						mouvement de l'air
3 - 12						V 6. locaux sur une rangée ; disposition permanente pour le mouvement de l'air
1 ou 2			0 - 5			
			6 - 12			7. locaux sur double rangée; disposition temporaire pour le mouvement de l'air
0	2 - 12					8. pas de demande de mouvement de l'air
	0 ou 1					
						ouvertures
			0 ou 1			9. grdes.ouvert. 40-80% murs N-S
			11 ou 12		0 ou 1	10. petites ouvertures 10-20 %
		toutes autres conditions	autres condi-			V 11. ouvertures moyennes 20-40 %
						murs
			0 - 2			12. murs légers, faible inertie
			3 - 12			V 13. murs lourds intér. et extér.
						toits
			0 - 5			14. toits isolés légers
			5 - 12			V 15. toits lourds, inertie de plus de 8h.
						dormir à l'extérieur
				2 - 12		16. demande d'esp.pour dormir à l'extér.
						protection contre la pluie
		3 - 12				V 17. protect.néces.contre pluie violente

TABLEAUX DE MAHONEY  
SITUATION : DAKAR YOFF  
LONGITUDE : 17°30' 0  
LATITUDE : 14°44' N  
ALTITUDE : 22 m.

TMA - "température moyenne annuelle"  
EMA - "écart moyen annuel" plh - plb

TABLEAU 1

température °C	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
max. moyenne mens.	24.5	23.5	24.5	24.5	25.5	28.5	29.5	30.	30.5	30.	29.5	26.5
min. moyenne mens.	17.5	16.5	17.5	18.5	19.5	23	24.5	24.5	24.5	24.5	23	20.5
écart moyen mens.	7	7	7	6	6	5.5	5	5.5	6	5.5	6.5	6.

la plh	TMA
30.5	23.5
16.5	14.
la plb	EMA

TABLEAU 2

humidité (pourcent)	max. moy. men.	92	88	93	90	91	86	84	86	92	91	90	86
	min. moy. men.	50	52	59	62	64	62	62	66	65	63	54	41
	moyenne	71	70	76	76	77	74	73	76	78	77	72	63
group d'humidité	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	
pluie (mm)	1	1	0	1	3	10	104	223	195	60	4	5	
vent:	dominant	N	N	N	N	N	N	NO	NO	N	N	NE	NE
	secondaire	NE		NO	NO		NO		0			N	

607 total

TABLEAU 3

température													
max. moyenne mens.	24.5	23.5	24.5	24.5	25.5	28.5	29.5	30	30.5	30	29.5	26.5	
confort diurne	max.	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	29
	min.	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	23
min. moyenne mens.	17.5	16.5	17.5	18.5	19.5	23	24.5	24.5	24.5	24.5	23	20.5	
confort nocturne	max.	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	23	
	min.	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	
tension thermique													
jour	C	C	C	C	C	T	T	T	T	T	T	C	
nuit	C	F	C	C	C	T	T	T	T	T	T	C	

T = trop chaud  
C = confort  
F = trop froid

TABLEAU 4

H1 mouv.d'air (essen)						V	V	V	V	V	V	
H2 mouv.d'air (desir.)	V	V	V	V	V							V
H3 protec / la pluie							V	V	V			
A1 emmagasinage therm.												
A2 dormir dehors												
A3 probl. saisons fr.		V										

total

6
6
3
0
0
1

TABEAU 5 RECOMMANDATIONS POUR L'AVANT PROJET

DAKAR-YOFF

Somme des indicateurs du tableau 4						recommandations
humide			aride			
H1	H2	H3	A1	A2	A3	
6	6	3	0	0	1	
						plan
			0 - 10	-----	-----	V 1. bâtiments orientés nord-sud réduisant l'exposition au soleil
				11 ou 12	5 - 12	
					0 - 4	2. dispos.compacte sur cours intér.
						espaces
11 ou 12						3. espaces ouverts pour pénétrat.vents
2 - 10	-----	-----	-----	-----	-----	V 4. comme 3 mais protège du vent fr./ch.
0 ou 1						5. disposition compacte
						mouvement de l'air
3 - 12	-----	-----	-----	-----	-----	V 6. locaux sur une rangée ; disposition permanente pour le mouvement de l'air
1 ou 2			0 - 5	-----	-----	7. locaux sur double rangée ; disposition temporaire pour le mouvement de l'air
			6 - 12			
0	2 - 12					8. pas de demande de mouvement de l'air
	0 ou 1					
						ouvertures
			0 ou 1		0	9. grdes ouvert. 40-80% dans murs N-S
			11 ou 12		0 ou 1	10. petites ouvert. 10-20%
			toutes autres conditions	autres conditions		V 11. ouvertures moyennes 20-40%
						murs
				0 - 2	-----	V 12. murs légers, faible inertie.
				3 - 12		13. murs lourds intér. et extér.
						toits
				0 - 5	-----	V 14. toits isolés légers
				6 - 12		15. toits lourds, inertie de plus de 8h.
						dormir à l'extérieur
					2 - 12	16. demande d'esp.pour dormir à l'extér.
						protection contre la pluie
		3 - 12	-----	-----	-----	V 17. protect.néces.contre pluie violente

## ANNEXE IV

### CALCUL DE L'INERTIE THERMIQUE

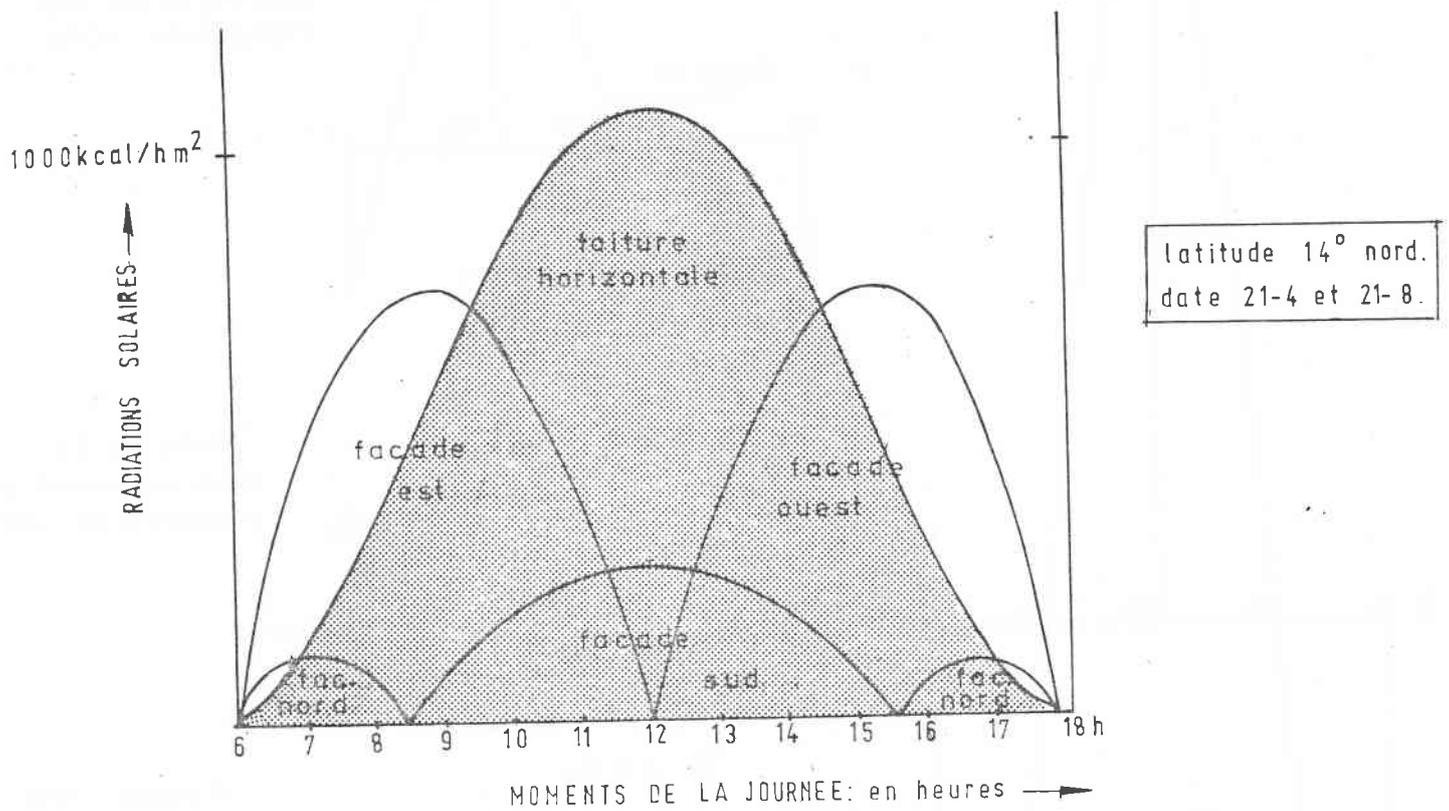
#### Exemple de calcul de l'influence de l'inertie thermique ou confort

##### HYPOTHESES :

1. On considère un bâtiment dont la surface des façades ( $4 \times S$ ) est quatre fois plus grande que la surface ( $S$ ) de la toiture ;
2. la quantité d'énergie solaire absorbée par les quatre façades équivaut à celle absorbée par la toiture (voir graphique annexe IV page 2) ;
3. la température maximale de la surface extérieure de la toiture est à  $50^{\circ}\text{C}$  plus élevée que la température moyenne mensuelle ;
4. la température maximale des surfaces extérieures des façades est la moyenne entre la température de l'air et celle du rayonnement solaire ;
5. la température minimale de la surface extérieure de la toiture est plus basse que celle de l'air à cause du rayonnement froid du ciel pendant la nuit. Si l'humidité relative est moins de 70%, la baisse de la température sera dans l'ordre de  $10^{\circ}\text{C}$  ; si l'humidité relative est plus élevée, on calculera avec une baisse de la température de  $5^{\circ}\text{C}$  ;
6. la température minimale de la surface extérieure des façades est égale à la température de l'air ;
7. la température dans le bâtiment est égale à la moyenne des températures des 6 surfaces intérieures du bâtiment (sol, mur et toiture), voir tableau annexe IV page 4 ;
8. l'épaisseur des murs et de la toiture est de 15 cm. Le graphique page IV<sub>3</sub> montre l'inertie thermique pour une surface en béton armé de 15 cm d'épaisseur. Le retard de la fluctuation de la température est de 4 heures. La fluctuation de la température de la surface intérieure n'est que 35 % de la fluctuation à l'extérieur.

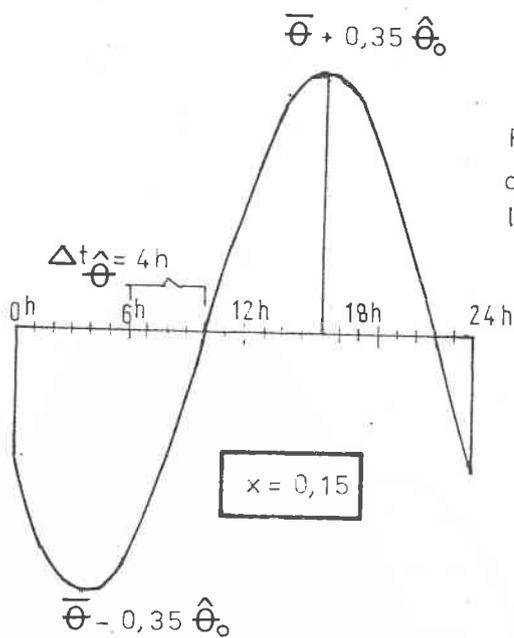
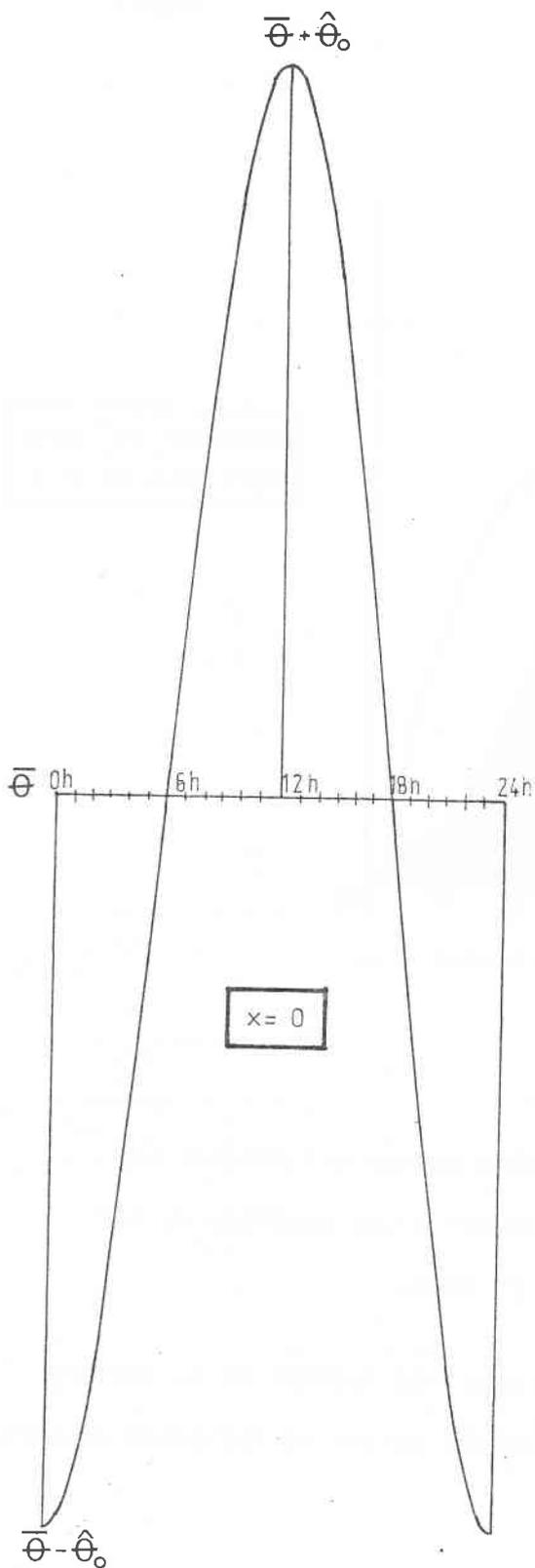
---

\* graphique (annexe IV page 3): (gc. 42 Toegepaste Bouwfysica T.H. Delft-Pays-Bas)

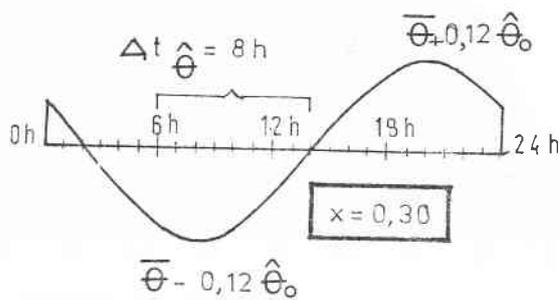


Le graphique représente la radiation solaire par  $\text{m}^2$  qui atteint les différentes surfaces extérieures d'un bâtiment à une latitude de  $14^\circ$  Nord pendant les journées du 21 Avril et 21 Août.

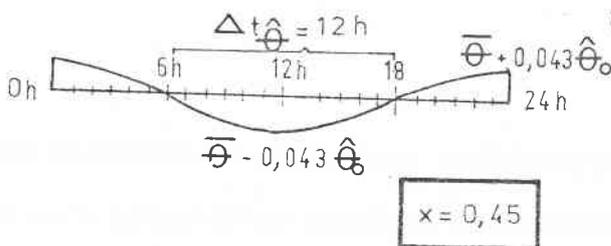
En comparant les surfaces des graphiques pour les façades et la toiture on peut conclure qu'un  $\text{m}^2$  de la toiture reçoit autant de radiation solaire que la somme d'un  $\text{m}^2$  de chaque façade.



Retard: 4h.  
amortissement de  
l'amplitude 65%



Retard: 8h  
amortissement de  
l'amplitude 88%



Retard: 12h  
amortissement de  
l'amplitude 96%

BETON ARME:

$\lambda = 1,86 \text{ w/m.k}$

$\rho = 2400 \text{ kg/m}^3$

$c = 1050 \text{ J/kg.k}$

$a = \frac{\lambda}{\rho \cdot c} = 7,38$

(coefficient de diffusion de chaleur)

x = profondeur de penetration de la chaleur ( $\approx$  epaisseur)

t = heure (temps)

source: gc 42 T.H. Delft- PAYS-BAS

CLIMAT A KAOLACK (SENEGAL)

	Climat				Climat protégé				Remarques sur le confort	
	$\bar{T}_x$	$\bar{U}_n$	$\bar{T}_n$	$\bar{U}_x$	$\bar{T}'_x$	$\bar{U}'_n$	$\bar{T}'_n$	$\bar{U}'_x$	Jour	Nuit
Janvier	34	15	15 <sup>5</sup>	63	30 <sup>5</sup>	18	22 <sup>5</sup>	42	Faible ventil.!	Confort
Février	35 <sup>5</sup>	9	16 <sup>5</sup>	46	31 <sup>5</sup>	11	24	30	Ventil.!	Confort
Mars	38 <sup>5</sup>	11	18 <sup>5</sup>	68	34	14	25	46	Chaleur! Sèche!	Confort
Avril	39	14	19 <sup>5</sup>	76	34 <sup>5</sup>	18	26 <sup>5</sup>	52	Chaleur! Sèche!	Confort
Mai	39 <sup>5</sup>	20	21 <sup>5</sup>	81	36	25	27	59	Chaleur! Sèche!	Faible Ventil.
Juin	36	37	24	87	35	38	28	76	Ventil.!	Ventil.
Juillet	33 <sup>5</sup>	52	24 <sup>5</sup>	91	34	51	27 <sup>5</sup>	78	Ventil.!	Ventil.
Août	31 <sup>5</sup>	63	24	96	32	61	26	85	Ventil.!	Ventil.
Septembre	32 <sup>5</sup>	60	23 <sup>5</sup>	97	32	61	26 <sup>5</sup>	83	Ventil.!	Ventil.
Octobre	34 <sup>5</sup>	48	23 <sup>5</sup>	94	33	52	27	77	Ventil.!	Ventil.
Novembre	35 <sup>5</sup>	28	20 <sup>5</sup>	85	33	32	25 <sup>5</sup>	64	Ventil.!	Faible Ventil.
Décembre	34	21	16 <sup>5</sup>	62	30 <sup>5</sup>	25	23	40	Faible Ventil.!	Confort

$\bar{T}_x$  = Moyenne mensuelle des températures diurnes maximales

$\bar{T}_n$  = Moyenne mensuelle des températures nocturnes minimales

$\bar{U}_x$  = Moyenne mensuelle de l'humidité diurne minimale

$\bar{U}_n$  = Moyenne mensuelle de l'humidité nocturne maximale

$$\bar{T}'_x = \frac{\bar{T}_x + \bar{T}_n}{2} + \frac{\left( 0,5 \times 0,35 \frac{\bar{T}_x - \bar{T}_n}{2} + 0,5 \times 0,35 \times 0,25 \times 50 \right) \times 4S' + 0,35 \times 50}{6S' \times S'}$$

$$\bar{T}'_n = \frac{\bar{T}_x + \bar{T}_n}{2} - T$$

.../...

$$(1) \text{ si } \bar{U}'_x < 70 \quad T = \frac{0,35 \times 0,5 \left( \bar{T}'_x - \bar{T}'_n \right) \times 5S' + 0,35 \times 10 \times S'}{6S'}$$

$$(2) \text{ si } \bar{U}'_x > 70 \quad T = \frac{0,35 \times 0,5 \left( \bar{T}'_x - \bar{T}'_n \right) \times 5S' + 0,35 \times 5 \times S'}{6S'}$$

$\bar{U}'_n$  = humidité relative à  $\bar{T}'_n$

$\bar{U}'_x$  = humidité relative à  $\bar{T}'_x$

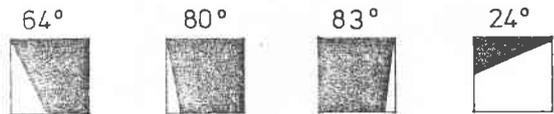
ANNEXE V

ANGLES SOLAIRES

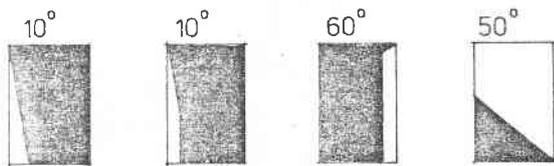
L'ETUDE D'ENSOLEILLEMENT

ANGLES SOLAIRES CRITIQUES DU 22 JUIN (TEMPS CHAUD)

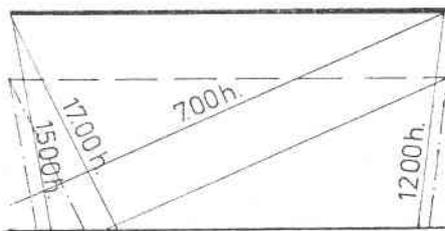
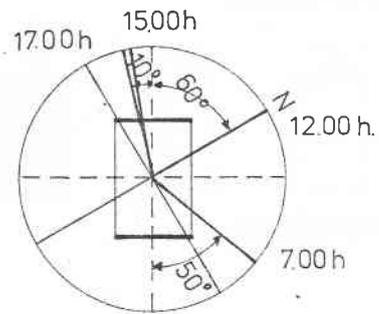
17.00h.      15.00h.      12.00h.      7.00h.



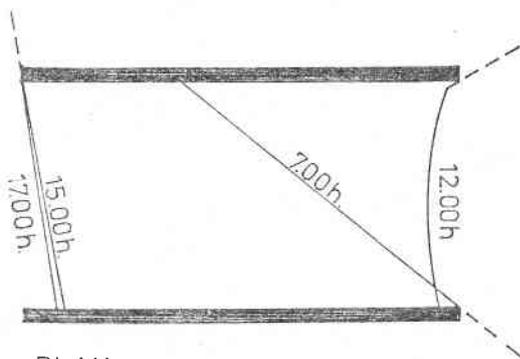
ANGLES VERTICAUX.



OMBRES HORIZONTALES



COUPE



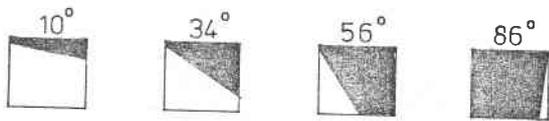
PLAN.

heures solaires: 7.00h. et 15.00h.

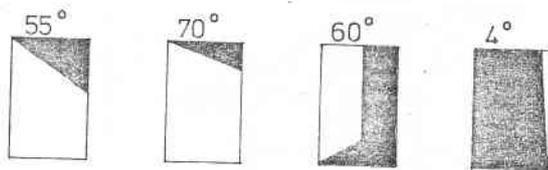
heures locales correspondantes: 8.00h. et 16.00h.

ANGLES SOLAIRES CRITIQUES DU 22 DECEMBRE (TEMPS FROID)

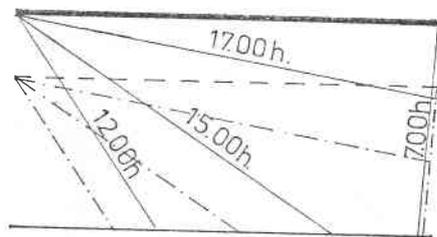
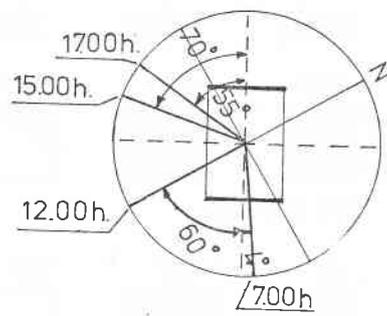
1700h. 15.00h. 12.00h. 700h.



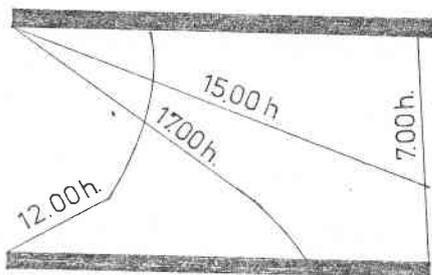
ANGLES VERTICAUX



OMBRES HORIZONTALES



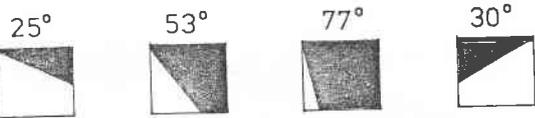
COUPE



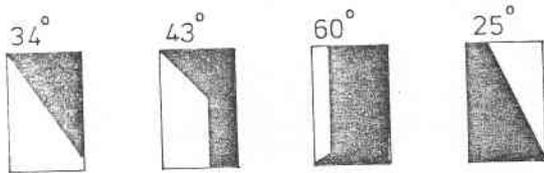
PLAN

ANGLES SOLAIRES CRITIQUES DU 22 MARS/SEPTEMBRE

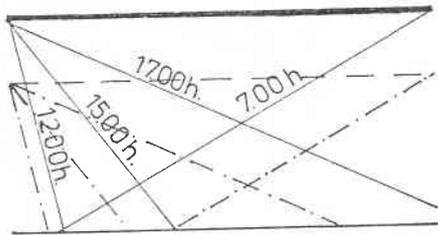
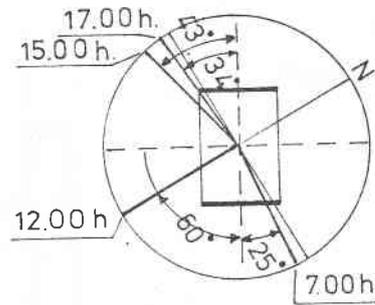
17.00h.    15.00h.    12.00h.    7.00h.



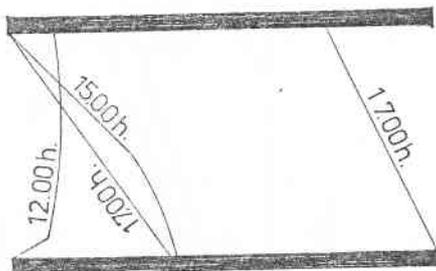
ANGLES VERTICAUX



OMBRES HORIZONTALES



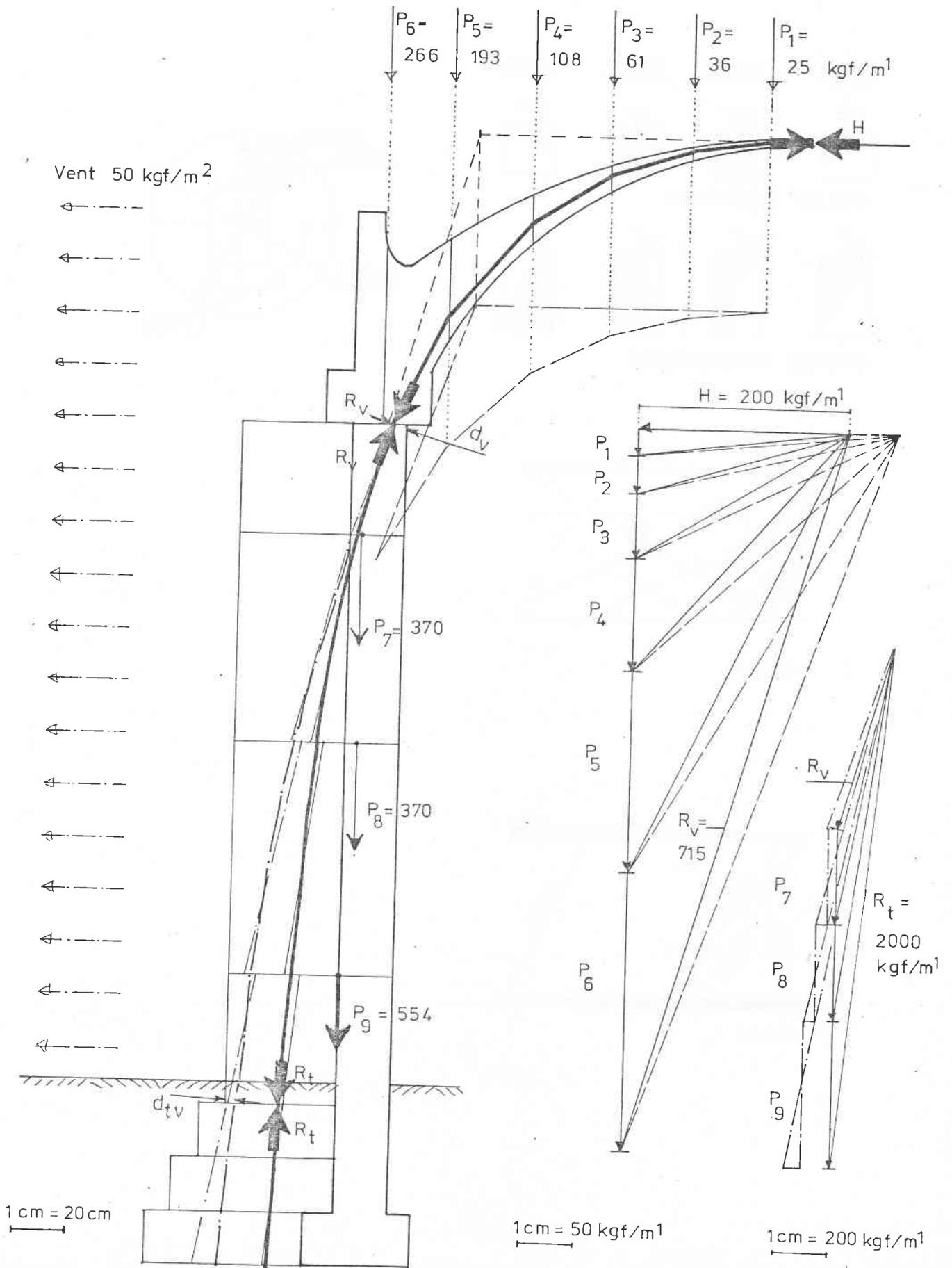
COUPE



PLAN.

ANNEXE VI

CALCUL DE LA VOUTE : TYPE IV



- Légende :
- Calcul graphique de la ligne de gravité de la voûte
  - Ligne de force dans la construction, correspondant au poids propre
  - Ligne de force dans la construction, correspondant au poids propre et au vent de 50 kgf/m<sup>2</sup> contre la façade.

Axiomes de calcul

- Le sommet de la voûte est considéré comme une charnière, donc il n'y a qu'une force horizontale au milieu de l'épaisseur de la voûte.
- La réaction d'appui de la voûte sur le mur porteur passe par une ligne à une distance de  $1/3 \times$  épaisseur du mur à partir de la surface intérieure du mur. (En réalité, la réaction passe encore un peu plus vers la surface intérieure du mur, ce qui est plus favorable pour la fondation).

La densité de la voûte est de 2000 kgf/m<sup>3</sup>

$P_1$  = poids d'une tranche de la voûte de 30 cm de largeur, de 100 cm de longueur et de la hauteur moyenne de cette tranche

$P_2, P_3, P_4, P_5, P_6$  - idem -

$P_7$  = poids d'une tranche de mur avec contreforts, dont les distances entre eux sont de 120 cm, de 80 cm de hauteur et 100 cm de longueur.

$P_8$  - idem -

$P_9$  - idem - (la hauteur de la tranche du mur est de 100 cm)

$R_v$  Réaction d'appui de la voûte sur le mur par mètre linéaire

$R_t$  Réaction d'appui de la construction sur la fondation par mètre linéaire, due au poids propre.

$R_{t_p + v}$  = Réaction d'appui de la construction sur la fondation par mètre linéaire due au poids propre et au vent.

Les contraintes de compression maximales de la construction sont :

- Au sommet de la voûte

$$\sigma_{\max} = \frac{H}{400} = \frac{200}{4 \times 100} = 0,5 \text{ kg/cm}^2$$

- A la base de la voûte

$$\sigma_{\max} = \frac{R_v}{3/2 \times d_v \times 100} = \frac{715}{3/2 \times 6 \times 100} = 0,8 \text{ kg/cm}^2$$

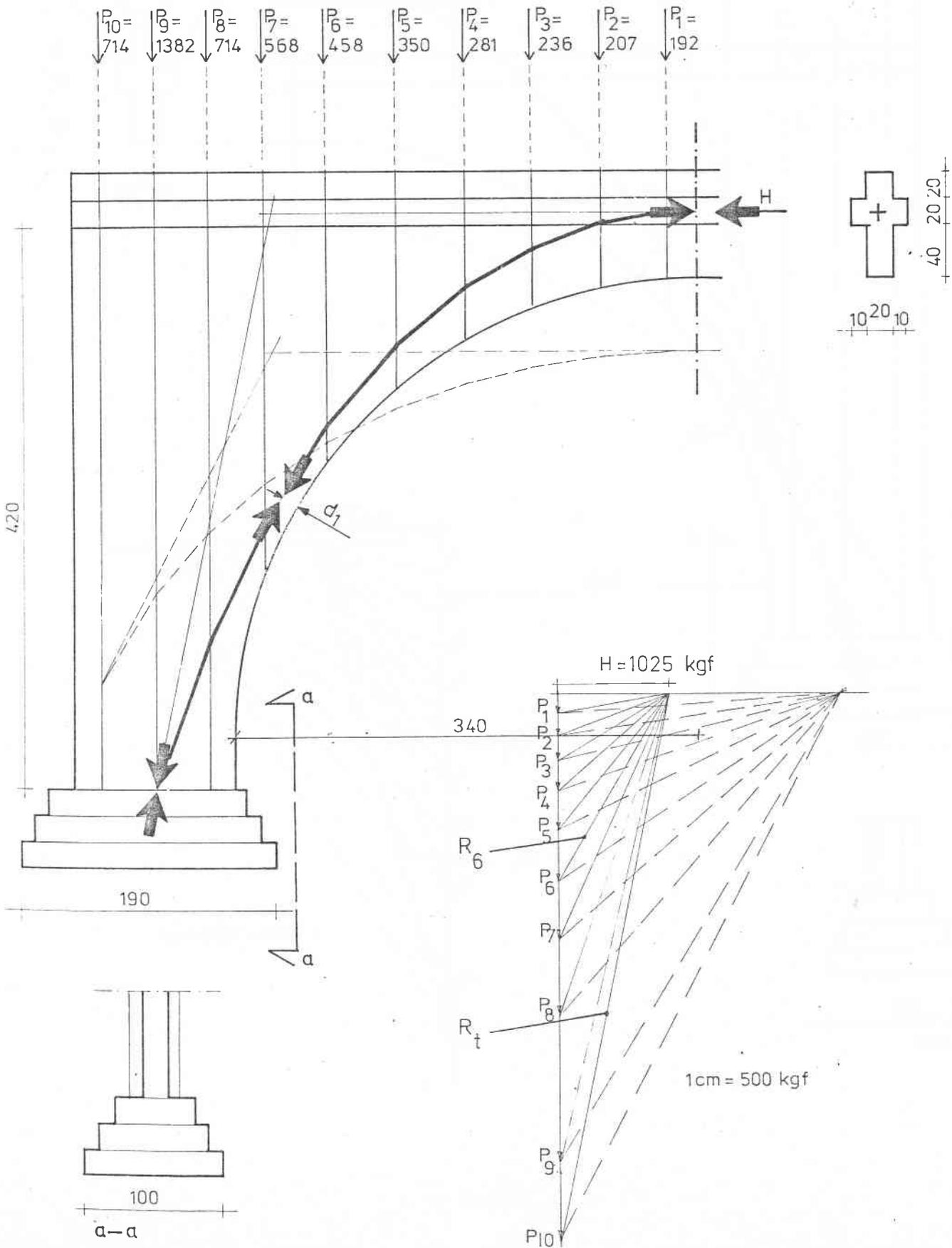
- A la base du contrefort

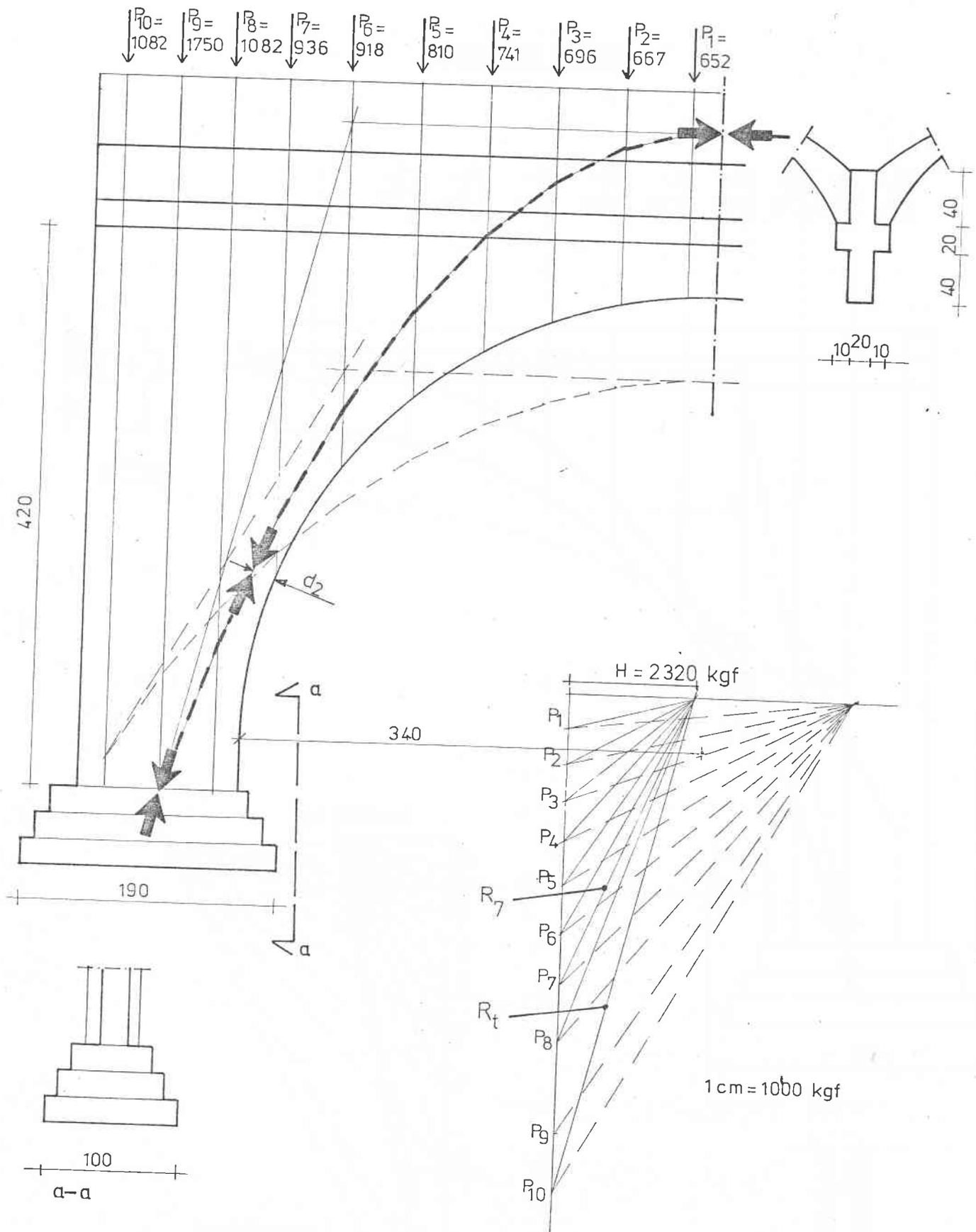
$$\sigma_{\max} \text{ poids propre} = \frac{R_t}{38^5 \times 40} = \frac{2000}{1540} = 1,3 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_{\max}^* \text{ poids propre} \\ + \text{vent} = \frac{R_{t_v}}{3/2 \times d_{tv} \times 38,5} = \frac{2030}{3/2 \times 4 \times 38,5} = 8,8 \text{ kg/cm}^2$$

\* au cas où la maçonnerie n'est pas résistante à la traction

CALCUL DE L'ARCHE





- Légende :
-  Calcul graphique de la ligne de gravité de l'arche
  -  Ligne de force dans la construction, correspondant au poids propre de l'arche (phase d'exécution)
  -  Ligne de force dans la construction, correspondant au poids propre de l'arche et de la voûte (phase définitive)

#### Axiomes de calcul

- Le sommet de l'arche est considéré comme une charnière, donc il n'y a qu'une force horizontale.
- Dans la phase d'exécution, la toiture ne contribue pas à la fonction porteuse de l'arche. Le centre de compression au sommet de l'arche se trouve à une distance de 1/3 de la hauteur de la section de l'arche à partir de la surface supérieure. (En réalité, ce centre de compression se trouve un peu plus haut selon les expériences de Nianing).
- Dans la phase définitive, la toiture contribue à la fonction porteuse de l'arche. Le centre de compression se trouve maintenant à une distance de 1/3 de la hauteur de la voûte à partir du sommet de la voûte (ceci a été prouvé par la fissuration du sommet de l'arche, à Nianing).
- La réaction d'appui de l'arche sur la fondation passe par le centre de la fondation.
- La densité de l'arche est de 2000 kgf/cm<sup>3</sup>.

$P_1 - P_{10}$  = poids d'une tranche de l'arche sans ou avec voûte de la toiture

$d_1 - d_2$  = distance entre la ligne de force et l'intrados de l'arche

$R_6, R_7, R_t$  = forces résultantes dans les différentes sections de l'arche

Les contraintes de compression maximales de la construction sont :

#### Dans la phase d'exécution

- au sommet de l'arche

$$\sigma_{\max} \times \frac{H}{1/2 \times S_1} = \frac{1025}{0,5 \times 18,5 (80+18,5)} = 1,1 \text{ kgf/cm}^2$$

.../...

- à la base de l'arche

$$\sigma_{\max} = \frac{R_1}{S_2} = \frac{5250}{18,5 \times (120 + 38,5)} = 1,8 \text{ kgf/cm}^2$$

- à l'endroit  $d_1$

$$\sigma_{\max} = \frac{R_6}{\frac{3}{2} \times d_1 \times 18,5} = \frac{2000}{\frac{3}{2} \times 13 \times 18,5} = 5,6 \text{ kgf/cm}^2$$

Dans la phase définitive

- au sommet de l'arche

$$\sigma_{\max} = \frac{H}{\frac{1}{2} \times S_3} = \frac{2320}{2500} = 0,9 \text{ kgf/cm}^2$$

- à la base de l'arche

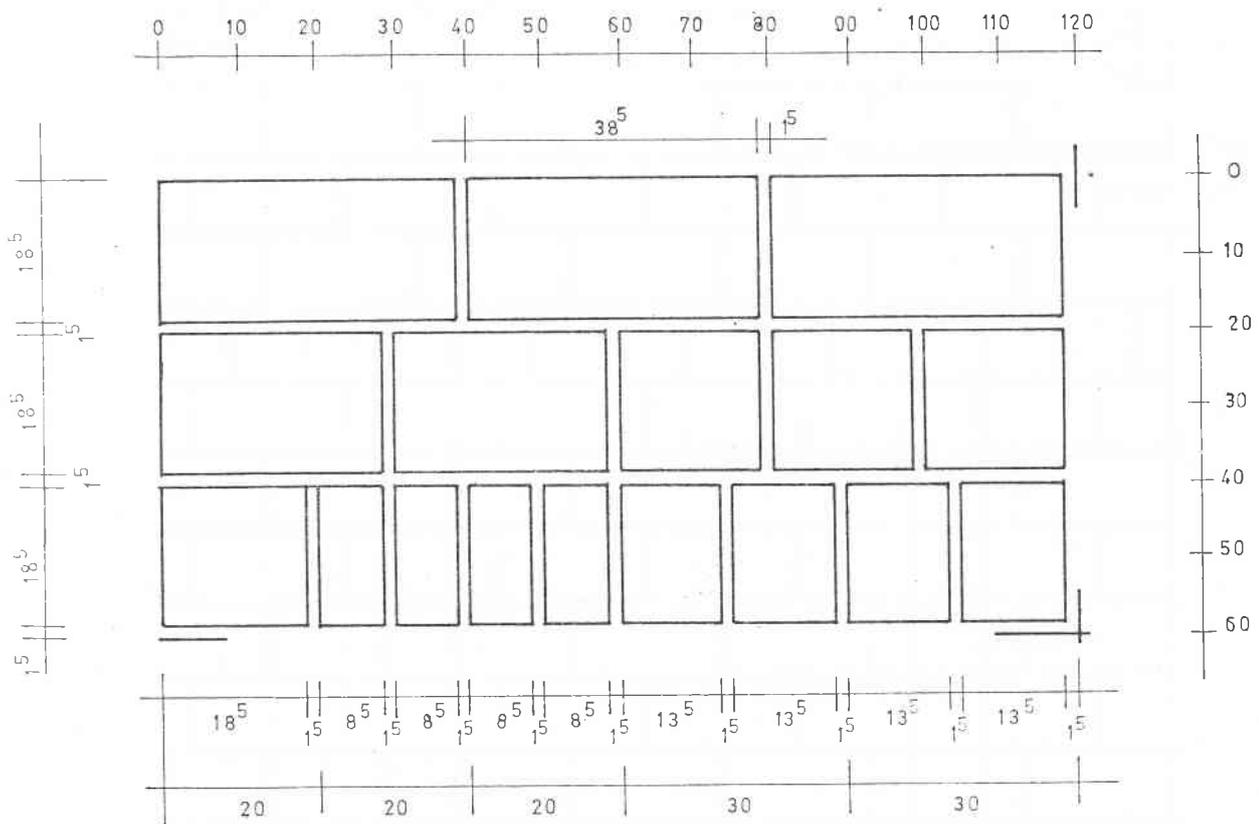
$$\sigma_{\max} = \frac{R_1}{S_2} = \frac{10850}{18,5 \times (120 + 38,5)} = 3,8 \text{ kgf/cm}^2$$

- à l'endroit  $d_2$

$$\sigma_{\max} = \frac{R_7}{\frac{3}{2} \times d_2 \times 18,5} = \frac{5900}{177} = 12,5 \text{ kgf/cm}^2$$

ANNEXE VIII

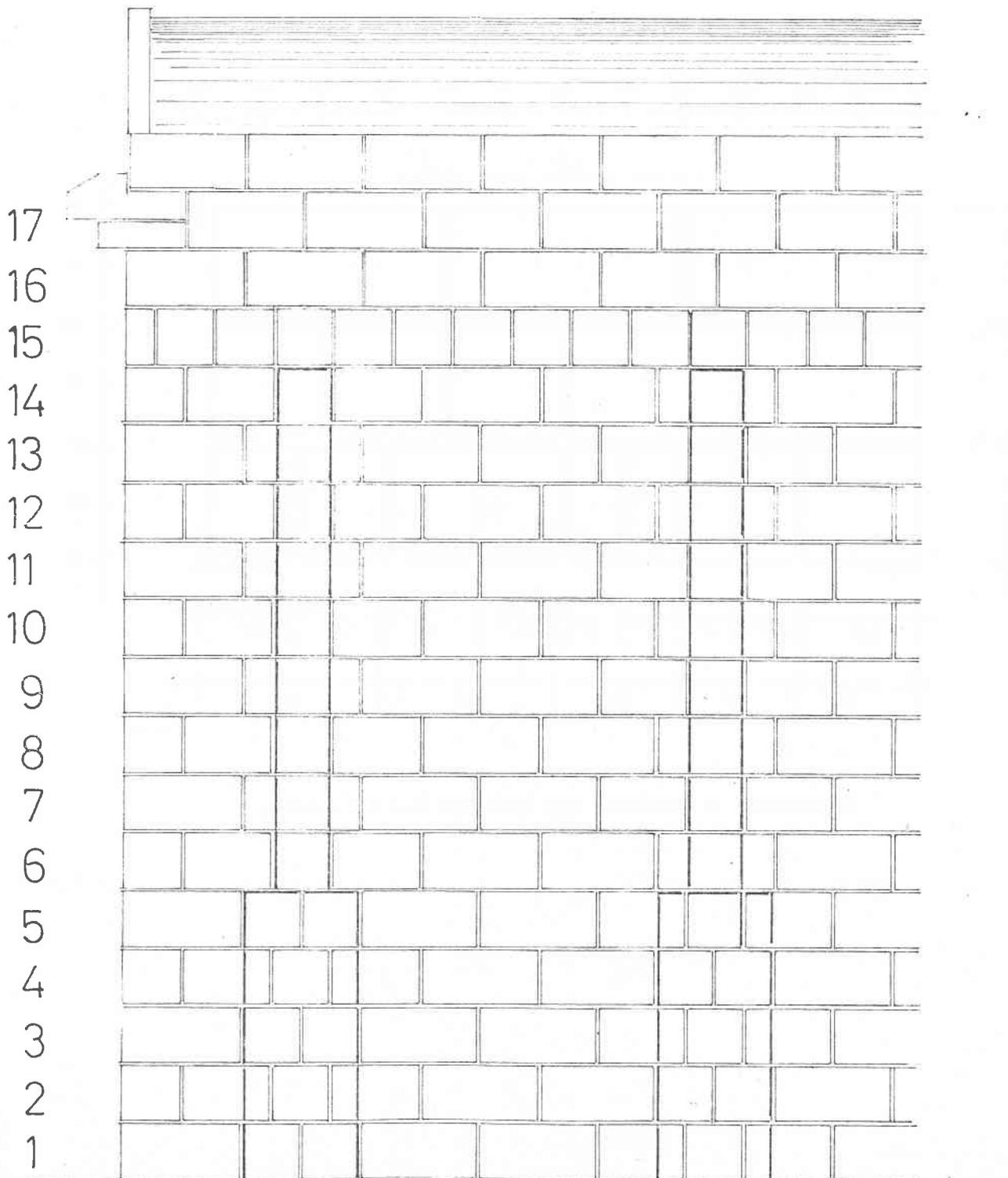
SYSTEME DE BLOCS MODULAIRES

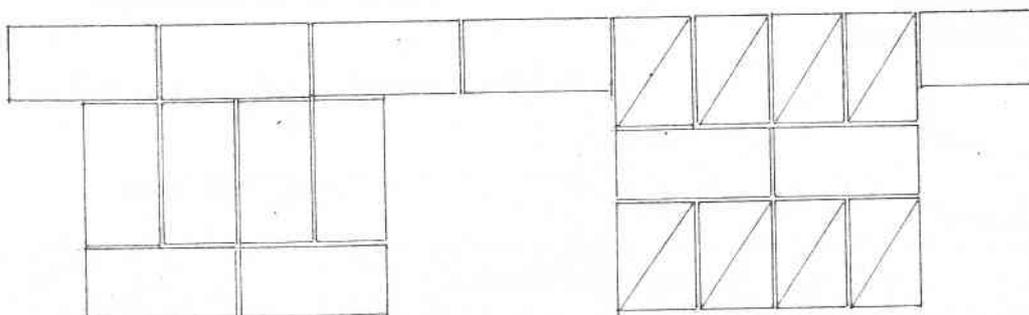
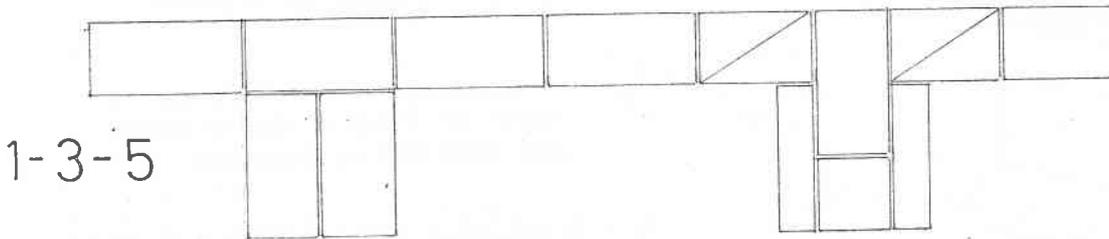
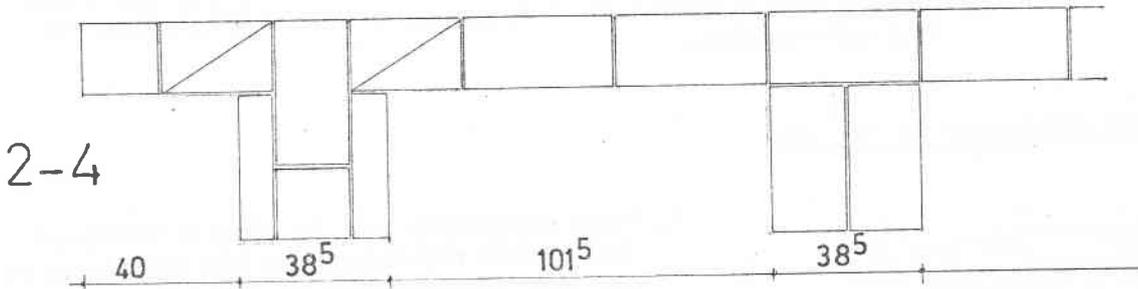
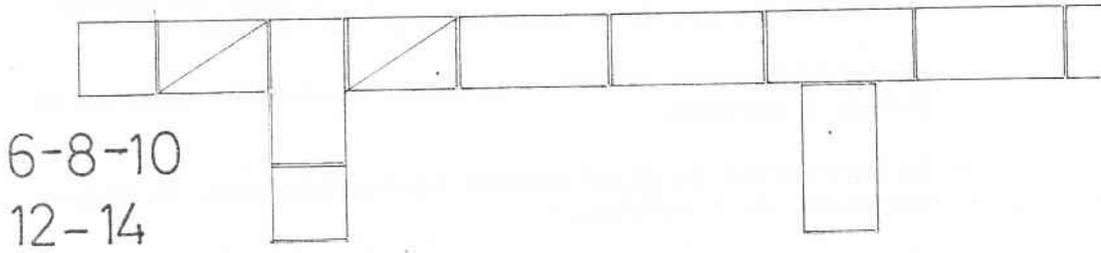
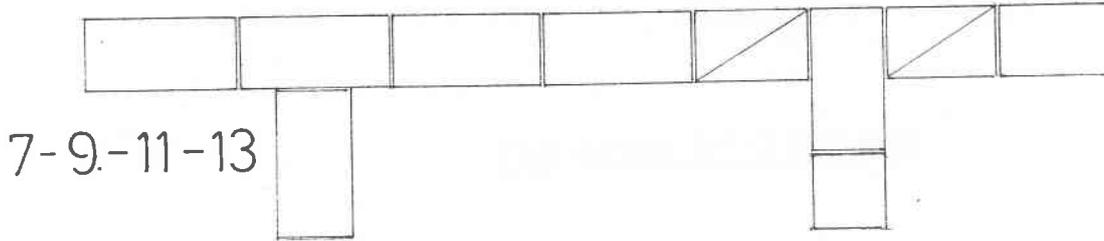


DIMENSIONS EXTERIEURES DES BATIMENTS (n x 10) - 1,5cm

DIMENSIONS INTERIEURES DES BATIMENTS (n x 10) + 1,5cm

EXEMPLE D'UN APPAREILLAGE POUR UN MUR  
AVEC CONTRE FORTS





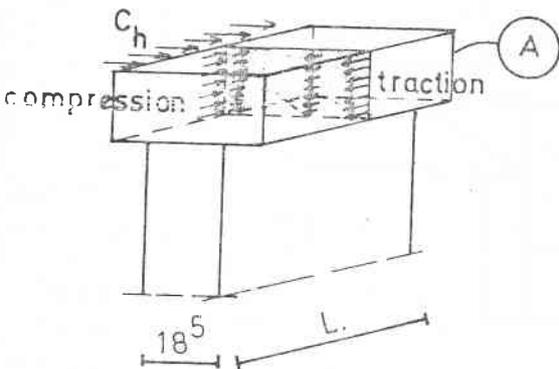
## ANNEXE IX

### DISTANCE ENTRE CONTREFORTS

Axiomes :

- La propre rigidité de la voûte dans le sens horizontal ne contribue pas à la distribution de forces.
- La contrainte de traction admissible dans la maçonnerie est de 1 kgf/cm<sup>2</sup>.
- La contrainte de cisaillement admissible dans la maçonnerie est de 1 kgf/cm<sup>2</sup>.
- S'il y a une fissuration due à la traction, les contraintes de cisaillement contribueront à une re-distribution des contraintes.

Mur d'une épaisseur de 18<sup>5</sup> cm



1. Nous supposons que le rang A transmet les forces horizontales aux contreforts par des contraintes de flexion.

$C_H$  = composante horizontale de la réaction d'appui de la voûte par centimètre linéaire

$$m = 1/8 \times L^2 \times C_H = 1/8 \times L^2 \times 2,56 = 0,32 L^2$$

$$w = 1/6 \times 18,5 \times (38,5)^2 = 4590$$

$$\sigma_{\text{traction}} = \frac{0,32 L^2}{4590} \leq 1,0$$

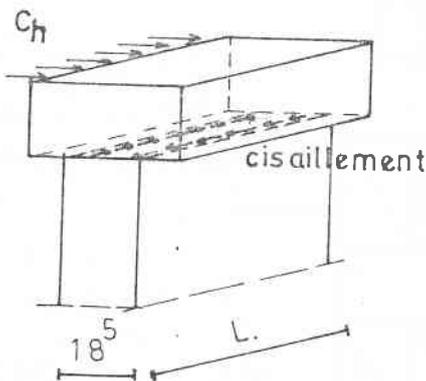
$$L \leq 120 \text{ (cm)}$$

2. Si le joint ne peut plus résister à cette traction, la contrainte de cisaillement entre les rangs A et B devrait empêcher un effondrement

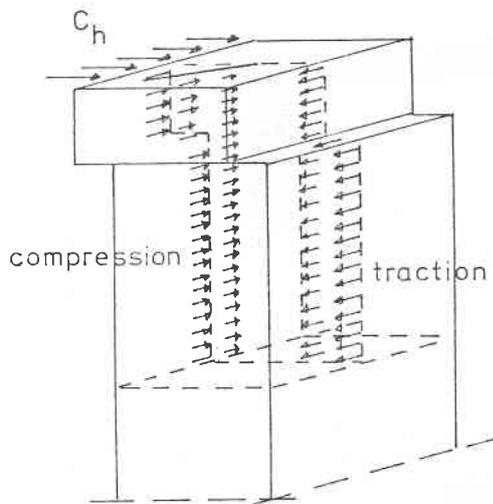
$$m_{\text{cisaillement}} = \frac{1}{6} \times \bar{T}_c \times L \times (16,5)^2 = 0,32 L^2$$

$$L \leq 140 \text{ (cm)}$$

.../...



Mur d'une épaisseur de  $38,5$  cm

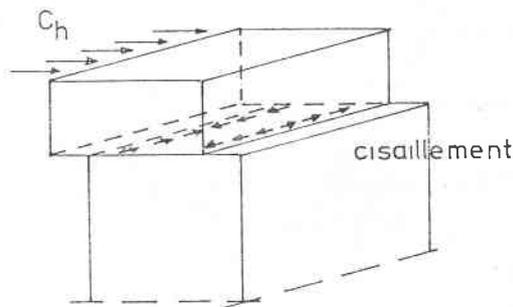


1.  $m = 0,32 L^2$

$$W = A + B + C + D = \frac{1}{6} \times (4 \times 18,5) \times (38,5)^2 = 18360 \text{ cm}^3$$

$$\sigma_{tr} = \frac{0,32 L^2}{18360} \ll 1$$

$$L \ll 240 \text{ (cm)}$$



2.  $m \text{ cisaillement} = \frac{1}{6} \times T \times L \times (26,5)^2$

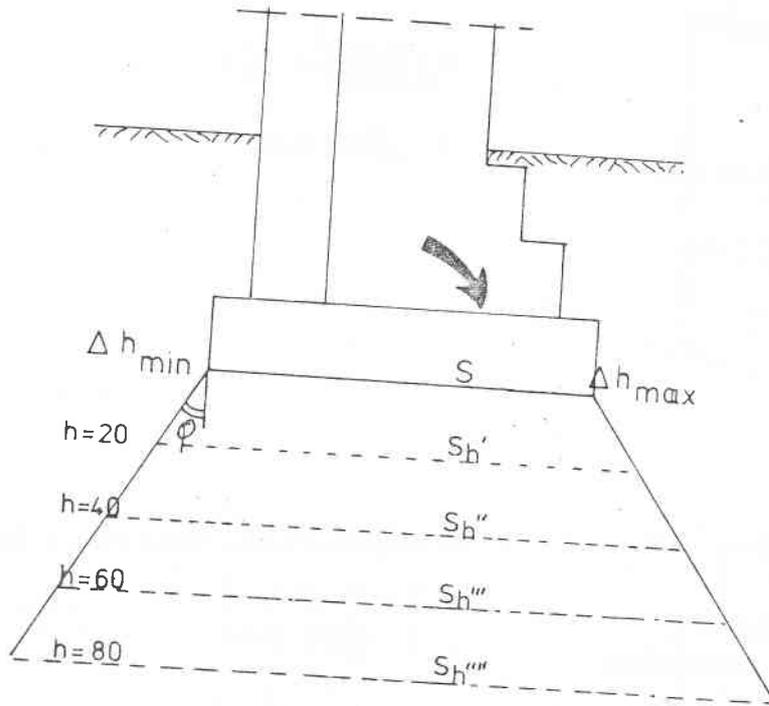
$$T = 1 \text{ kgf/cm}^2$$

$$L \ll 360 \text{ (cm)}$$

Conclusion: la distance entre les contreforts doit se limiter à  $6 \times$  l'épaisseur du mur

ANNEXE X

ROTATION DE LA FONDATION D'UN CONTREFORT



$$\text{Rotation} = \frac{\Delta h' \text{ max} - \Delta h' \text{ min}}{100} = \frac{\Delta h}{100}$$

Cas extrême  $\sigma_{\text{max. sol}} = 1,0 \text{ kgf/cm}^2$

$\sigma_{\text{min. sol}} = 0,5 \text{ kgf/cm}^2$

Cas usuel à Nianing  $\sigma_{\text{max. sol}} = 0,4 \text{ kgf/cm}^2$

$\sigma_{\text{min. sol}} = 0,2 \text{ kgf/cm}^2$

La surface porteuse du sable augmente avec la profondeur

Surface de fondation =  $S = 100 \times 100 \text{ cm}^2$

.../...

Surface porteuse à profondeur

$$h \text{ sous la fondation } S_h = (100 + 2 \times (h \times \tan Q))^2$$

$$Q = \text{angle moyen de friction du sable} = 30^\circ$$

$$\text{Compactage relative} = \frac{\Delta h}{h} = \frac{1}{C} \text{Log} \left( \frac{\sigma_{\text{max.sol}} - \sigma_{\text{min.sol}}}{\sigma_{\text{sol.original}}} \right)$$

$\sigma_{\text{sol.original}}$  = contrainte originale du sol

C = constante de compression de Terzaghi

C = 200, sable de Nianing

C = 50, sable limoneux

C = 15, limon

C = 7, argile

Ce compactage relatif est calculé pour 4 couches de 20 cm de profondeur chacune sous la fondation pour le cas extrême :

$$\sigma_{\text{max.sol}} - \sigma_{\text{min.sol}} = 0,5 \text{ kgf/cm}^2$$

$$\text{Couche 1 : } h=0-20(\text{cm}) \quad (\sigma_{\text{max.sol}} - \sigma_{\text{min.sol}})' = 0,5 \times \frac{S}{S_h'} = 0,5 \times \frac{1}{1,135} = 0,370$$

$$\frac{\Delta h}{h} = \frac{1}{200} \text{Log} \frac{0,370}{0,116} = 0,0025 \rightarrow \Delta h = 0,050 \text{ cm}$$

$$\text{Couche 2 : } h=20-40(\text{cm}) \quad (\sigma_{\text{max.sol}} - \sigma_{\text{min.sol}})'' = 0,5 \times \frac{S}{S_h''} = 0,5 \times \frac{1}{1,82} = 0,275$$

$$\frac{\Delta h}{h} = \frac{1}{200} \text{Log} \frac{0,275}{0,148} = 0,00135 \rightarrow \Delta h = 0,027 \text{ cm}$$

$$\text{Couche 3 : } h=40-60(\text{cm}) \quad (\sigma_{\text{max.sol}} - \sigma_{\text{min.sol}})''' = 0,5 \times \frac{S}{S_h'''} = 0,5 \times \frac{1}{2,5} = 0,200$$

$$\frac{\Delta h}{h} = \frac{1}{200} \text{Log} \frac{0,200}{0,180} = 0,0005 \rightarrow \Delta h = 0,010 \text{ cm}$$

$$\text{Couche 4 : } h=60-80(\text{cm}) \quad (\sigma_{\text{max.sol}} - \sigma_{\text{min.sol}})'''' = 0,5 \times \frac{S}{S_h''''} = 0,5 \times \frac{1}{3,3} = 0,152$$

$$\frac{\Delta h}{h} = \frac{1}{200} \text{Log} \frac{0,152}{0,212} \approx 0,0000 \rightarrow \Delta h \approx 0,00 \text{ cm}$$

.../...

$$\Delta h_{0-80 \text{ cm}} = 0,087 \quad \text{Estimation} \quad \Delta h_{\text{total}} \approx 0,15 \text{ cm}$$

Mais à Nianing ( $\sigma_{\text{max.sol}} - \sigma_{\text{min.sol}}$ ) usuel 0,2 (kgf/cm<sup>3</sup>)  $\rightarrow \Delta h \approx 0,06 \text{ cm}$

$$\text{rotation} = \frac{0,06}{100} = 0,0006$$

$$\Delta_p \text{ épaisseur fissure à la base de la voûte} \quad 0,0006 \times 3400 = 2 \text{ mm}$$

Cette fissure ne s'étend guère après une première consolidation, pour les sols de sable qui sont bien perméables. On pourrait réparer les fissures après la disparition des traces de la première saison de pluie.

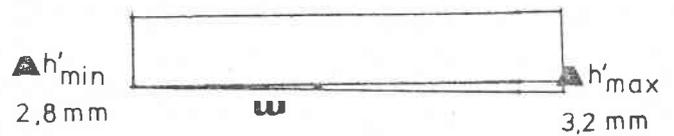
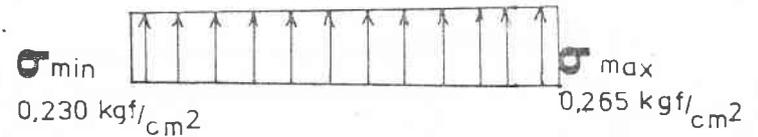
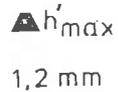
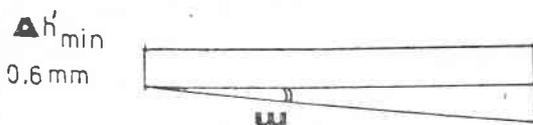
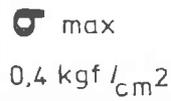
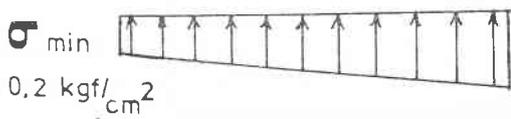
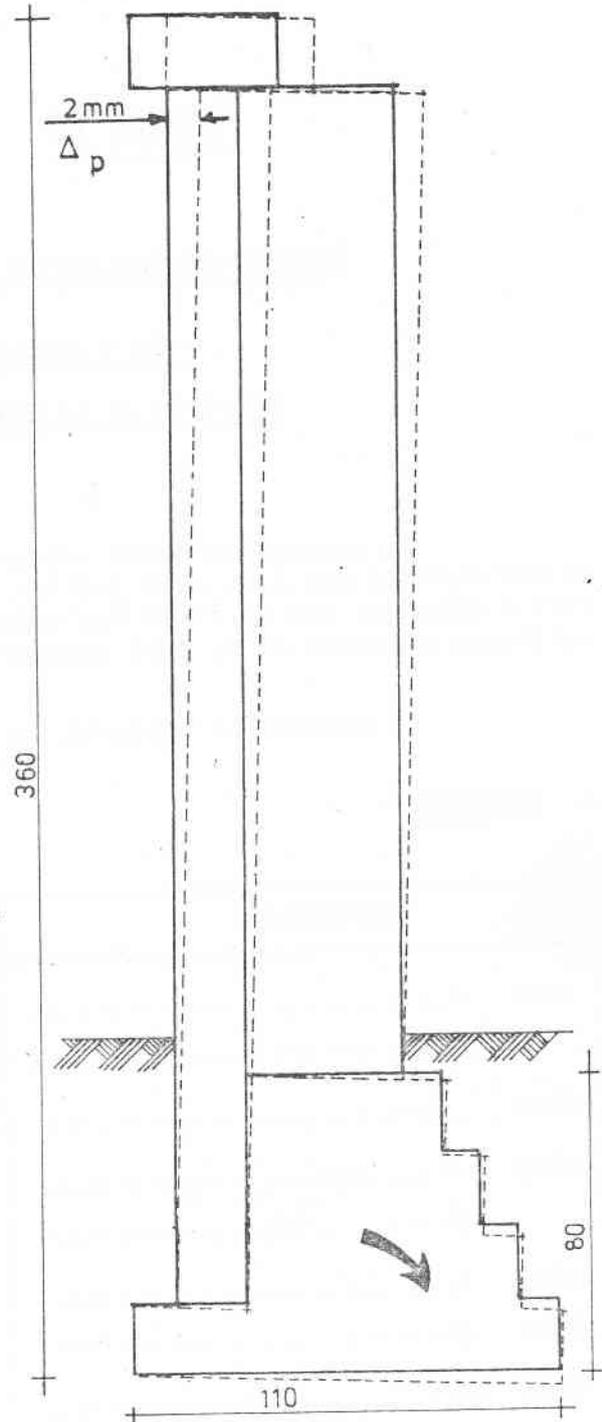
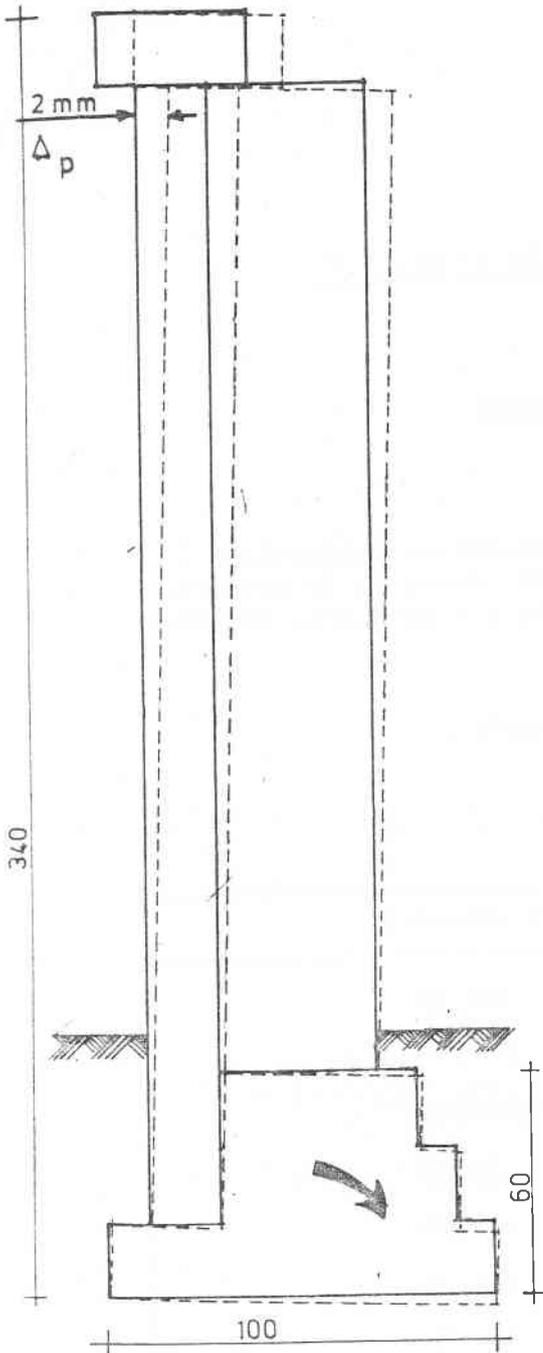
La constante de compression de Terzaghi pour le sable limoneux est environ quatre fois plus petite que pour le sable de Nianing ce qui implique que les fissures dans la construction seront 4 fois plus grandes si l'on n'adapte pas la fondation aux caractéristiques du sol.

#### EXEMPLE

Pour obtenir à peu près la même résistance à la rotation pour une fondation dans un sable limoneux que la résistance à la rotation calculée pour la fondation dans le sable de Nianing on peut :

- augmenter la largeur de fondation de 10 cm
- augmenter la profondeur de fondation de 20 cm

(voir dessin).



SABLE DE NIANING

$C_{Terzaghi} = 200$

SABLE LIMONEUX

$C_{Terzaghi} = 50$

ANNEXE XI

CONVENTION COLLECTIVE DU BATIMENT ET DES T.P.

DU 6 JUILLET 1956

DECISION DE LA COMMISSION MIXTE

La commission mixte prévue par la convention collective du Bâtiment et des T.P. du 6 juillet 1956, s'est réunie le 31 octobre 1974 à Dakar en vue de fixer les salaires minima par catégorie des travailleurs relevant de la dite convention.

La commission a adopté les taux suivants :

1. OUVRIERS :

CATEGORIES	TAUX HORAIRES
1ère A.....	107,05
B.....	109,80
2ème .....	121,75
3ème A.....	33,20
B.....	37,35
4ème A.....	170,60
5ème B.....	182,25
6ème A.....	189,55
B.....	211,25
Hors catégorie.....	275

II. EMPLOYES :

CATEGORIES	SALAIRES MENSUELS POUR 173 H 33
1ère.....	18 568
2ème.....	21 680
3ème A.....	23 656
B.....	24 848
4ème.....	28 769
5ème.....	32 345
6ème.....	35 858

III. AGENTS DE MAITRISE, TECHNICIENS ET ASSIMILES

CATEGORIES	SALAIRES MENSUELS POUR 173 H 33
M1	42 230
M2	52 793
M3	62 256
M4	70 127
M5	70 693

IV. INGENIEURS, ASSIMILES ET CADRES

CATEGORIES	SALAIRES MENSUELS POUR 208 H 35
P1 A	66 534
B	76 544
P2 A	84 121
B	95 463
P3 1er échelon	102 972
2ème échelon	148 814

Les sursalaires n'ayant pas le caractère d'une avance à valoir sur augmentations futures restent intégralement maintenus.

Les dispositions de la présente décision prennent effet à compter du 1er Novembre 1974.

Fait à Dakar, le 31 Octobre 1974

ANNEXE XII

Tableau des depenses pour la construction du Pinth et Cuisine  
(165 m<sup>2</sup>)

Materiaux.	Quantité	Prix Unitaire	Prix total
Ciment	25340,7 kg	13/kg	329.429 CFA
Laterite	10830,- L	750/m <sup>3</sup>	8.123
Sable	117047,- L	750/m <sup>3</sup>	87.785
Treillis de poulailler	50,- m'	325/m'	16.250
Portes.	2,-	12000.	24.000
			465.587
* Amortissement + perte 20%.			88.317.
Total.			553.904. (40,4%)
<hr/>			
Main d'oeuvre			
Fabrication plots. perte 20%	4850	10	48.500. 9700.
Fondations: maçons aides	4 <sup>jour</sup> /homme 16 "	1263 856	5052 13.696
9 maçons 16 aides prime 10%.	24 jours 24 "	11366 13702	272.784. 328.848 60163
Chef chantier + prime			77000.
Total.			815.743. (59,6%)
Coûts totaux			1.369.647.

Prix par m<sup>2</sup> : 8300 CFA.

\* les portes non comprises.

Entree, bureau, bibliotheque et magasin. ( 170 m<sup>2</sup>).

Materiaux	Quantité	Prix unitaire	Prix total
Ciment	30888 kg	13000	401.544.
laterite	9769 L	750 /m <sup>3</sup>	7327.
Sable	145173 L	750 /m <sup>3</sup>	108880.
Treillis de poulailler	56 m'	325 /m'	18200
Portes	3	12000	36000.
			571.951.
* Amortissement: + perte 20%.			107.190.
Sub. Total.			679.141. (40.2%)
<hr/>			
Main d'oeuvre.			
Fabrication plots perte 20%	6350	10	63500. 12700.
Fondations: maçons aidés	6 <sup>1</sup> /homme 24 "	1263 856	7578. 20544.
9 maçons 16 aidés prime 10%.	30 jours 30 "	13702 11366	411.072. 340.980. 75.205.
Chef chantier + prime			77.000.
Sub. Total			1.008.579. (59,8%)
Coûts totaux			1.687.720.

Prix par m<sup>2</sup> = 9928

\* les portes non comprises

Bloc de logements pour les professeurs (181 m<sup>2</sup>)

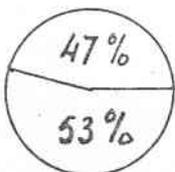
Materiaux.	Quantité	Prix unitaire	Prix total.
Ciment	32651 kg	13 / kg	424 463.
Laterite	14654 L	750 / m <sup>3</sup>	10 990.
Sable	151 209 L	750 / m <sup>3</sup>	113 407
Treillis de poulailler	49 m	325 / m'	15 925
Pottes	4	13000	52 000
Sieges à la turque	4	1500	6 000
			622 785
* Amortissement + perte 20%			112 957.
Sub total.			735 742 (45,6%)
Main d'oeuvre			
Fabrication plots perte 20%	6960	10	69 600. 13 920
Fondations: maçons	4 1/2 homme	1263	5052
aides	18 "	856	15 408
9 maçons	24 jours	13 702	328 848.
16 aides	24 "	11 366	272 784.
Fosse septique:			60 163.
maçons	12 1/2 homme	1263	15 156
aides	24 "	856	20 544.
Chef chantier + prime.			77 000.
Sub total			878 475. (54,4%).
** Coûts totaux.			1 614 217.

Prix par m<sup>2</sup> = 8918

\* les portes + sieges non compris  
\*\* la plomberie non comprise.

L'Arche du Pinth (7.21<sup>5</sup> m').

Materiaux	Quantite	Ciment (kg)	Sable (L)	Laterite (L)	Prix total
<b>Fondations</b>					
- Piquetage	2,3 m <sup>3</sup>				
- Fouilles	2,3 "				
- Nivelage	2,3 "				
- Béton de propreté	0,75 "	175		1046	
<b>Maçonnerie</b>					
- Plots pleins 18 <sup>5</sup>	465	930	6696		
- Plots creux 18 <sup>5</sup>	320	457	3291		
- Plots pleins 8 <sup>5</sup>	115	103	739		
- Mortier	1689L	553	1989		
Joints	39,4m <sup>2</sup>	28	34		
Prix unitaire		2246 13/kg	12749 750/m <sup>3</sup>	1046 750 m <sup>3</sup>	
Amortissement + perte 20%		29198	9562	785	39545. 7909.
subtotal materiaux.					47454
<b>Main d'oeuvre.</b>	Quantité	jour/homme	Prix unitaire	Prix	
Fabrication des plots	465		10	5000	
	320		10	3200	
	115		5	775	
perte 20%				8625	
				1725	
maçons		12	1263	15156	
aides		16	856	13696	
prime 10%				2885.	
Sub total main d'oeuvre.					42087
Coûts totaux					89541



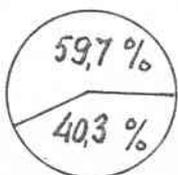
Coûts d'un placard.

Materiaux.	Quantité	Ciment (kg)	Sable (L)	Prix total
Fondations				
- Piquetage	1.15 m <sup>3</sup>			
- Fouilles	1.15 "			
- nivelage	1.15 "			
Maçonnerie				
- Plots pleins 18 <sup>5</sup>	75 pl.	30	216	
- Plots creux 18 <sup>5</sup>	43 "	60	442	
- Plots pleins 8 <sup>5</sup>	128 "	123	886	
- Claustres	93 "	50	120	
- mortier	259 L	85	305	
- toiture (voute)	85 L	28	100	
Joints.	15 L	10	12	
		386	2081	
prix unitaire.		13/kg	750/m <sup>3</sup>	
prix sub. tot.		5018	1561.	6579.
Amortissement + perte. 20%				1316
				7895
		sub total materiaux		
Main d'oeuvre	Quantite	jour/homme	Prix Unitaire	
fabrication plots	15		10	150
	43		10	430
	128		5	640
perte 20%.				244
maçons		8	1263	10104
aides		11	856	9416
prime.				1952
				22936
		sub total main d'oeuvre.		
				30831
		Coûts totaux		



Coûts de la toiture du Pinth et de la Cuisine ( $\approx 161 \text{ m}^2$ )

Materiaux	Quantite	Ciment (kg)	Sable (L)	Treillis de poulailler	Prix
<b>Voûte du Pinth</b> $(9,6 \times 9,66) + (7,2 + 3,3) = 116 \text{ m}^2$					
1 <sup>e</sup> couche: $116 \times 0,005$	8,7 m <sup>3</sup>	3911	9387		
2 <sup>e</sup> couche: $116 \times 0,075$	8,7 "	1564	11264		
3 <sup>e</sup> couche: $116 \times 0,005$	0,6 "	270	648		
<b>Voûte de la Cuisine</b> $2 \times 6,8 \times 3,32 = 45 \text{ m}^2$					
1 <sup>e</sup> couche: $45 \times 0,075$	3,38 m <sup>3</sup>	1521	3650		
2 <sup>e</sup> " $45 \times 0,075$	3,38 "	608	4380		
3 <sup>e</sup> " $45 \times 0,005$	0,28 "	90	216		
Acrotère	43,5 m <sup>1</sup>	38	174		
Gargouille	16	51	120	50 m <sup>1</sup>	
Prix unitaire		8053 13/kg	29839 750/m <sup>3</sup>	325/m <sup>1</sup>	
		104.689	22.379	16250	143318
Amortissement + perte. 20%.					28664
		Coûts materiaux			171982
<b>Main d'oeuvre</b>					
Maçons	85	1263	107.355		
aides	145	856	124.120		
prime 10%.			23.124		
		Coûts main d'oeuvre			254364
		Coûts totaux.			426346



## ANNEXE XIII

### BILAN FINANCIER - SILOS NDIARAO

#### PROJET 77-15 SILOS NDIARAO

##### I. Matériaux

- 1) Matériaux livrés au chantier par camion justifiant une plus value sur le transport.

Sable de mer	80 M3	117.000 Frs. CFA
Latérite	16 M3	64.000 Frs. CFA
Ciment CPA 325	41,600 T, soit 20T à 12.600	252.000 Frs. CFA
	et 20,6T à 17.600	362.560 Frs. CFA

- 2) Petits matériaux livrés au chantier

matériaux employés au chantier pour la maçonnerie	158.962 Frs. CFA
hissieries métalliques posés au chantier	342.622 Frs. CFA

- 3) Matériaux amortissables sur 4 chantiers (1 à renouveler avant la fin de la 1ère tranche des travaux)

Coffrages et bois utilisés au chantier

Dépense totale 292.669. Quote-part Silo Ndiarao 73.168 Frs. CFA

- 4) Matériaux amortissables sur 5 chantiers outillage - tréteaux  
dépense totale 89.413 frs. Quote-part Silos Ndiarao 1/5

17.885 Frs. CFA

---

Total des matériaux 1.388.197 Frs. CFA

##### Remarques

Il a été considéré que certains matériaux, bois de coffrage surtout seraient à renouveler pour chaque chantier en partie - c'est pourquoi, l'amortissement se fait sur 4 chantiers et non sur 5.

II. Main-d'oeuvre

1-) Main-d'oeuvre spécialisée

- a) Main-d'oeuvre payée à la confection des coffrages amortissables sur 4 chantiers compte tenu de l'entretien à faire sur les coffrages  
1 menuisier + 1 manoeuvre  $\frac{59.900}{4} =$  14.975 Frs. CFA
- b) Maçons engagés sur contrat  
3 maçons 286.162 Frs. CFA
- c) Chef de chantier  
encadrement du chantier du 22 Juillet au 15 Décembre 198.400 Frs. CFA
- d) Briquetiers 89.925 Frs. CFA

2-) Main-d'oeuvre non spécialisée

- a) Main-d'oeuvre non spécialisée affectée à l'extraction du sable 65.000 Frs. CFA
- b) Main-d'oeuvre directement rattachée au chantier 244.475 Frs. CFA
- c) Fourniture d'eau au chantier  
eau payée directement aux femmes du village 34.650 Frs. CFA

Total main-d'oeuvre 932.387 Frs. CFA

III. Frais généraux

Frais de transport divers, ciment en particulier 47.900 Frs. CFA

Remarques

Les frais généraux peuvent sembler faibles car on n'a pas tenu compte :

1) des frais d'encadrement : Voiture du conducteur de travaux  
Indemnités de déplacements

2) du fait que pour le sable en particulier, le prix du transport est inclus dans le prix du mètre cube

.../...

3) des frais de livraison des matériaux, quand elle a été faite avec la 404 du C.R.S. (encadrement)

Conclusion

Prix de revient du silo de NDIARAO	2.368.484 Frs. CFA
Prix par tonne stockée	11.842 Frs. CFA

## BIBLIOGRAPHIE

1. Bussat, Mantynen,  
Sonderberg, El Ghannam  
Structure Flexible de Portée  
Courte pour Bâtiments Educatifs  
Economiques, Beyrouth, UNEDBAS,  
1973.
2. Bussat, Dellicour,  
Nienhuys  
Prototype : Structure de Portée  
Courte, Dakar, BREDA/PUB/61, 1976
3. C.C.L. 1  
Bulletin d'information  
Centre de la Construction et du  
Logement, Lomé, 1975
4. S.M.U.H.  
N° 86 Planification Habitat Infor-  
mation. Stage de maîtrise d'ouvra-  
ge, Paris, 1977
5. Sénégal  
Vème Plan Quadriènal du Plan et de  
Coopération "Développement Econo-  
mique et Social", 1977-1981, Tome  
I, Dakar, 1977
6. McNamara  
Extrait du discours de M. R. McNamara,  
Président de la Banque Mondiale, au  
Zaïre, Afrique, N° 103, 1976
7. Mahoney  
"Conception des habitations à bon  
marché et de leurs équipements col-  
lectifs", Volume I, Climat + Habitat  
Nations Unies, New-York, 1973
8. Bussat, Sonderberg  
"Protection Solaire", conception et  
détermination de structures de pro-  
tection solaire pour les bâtiments  
éducatifs dans les pays Arabes,  
Beyrouth, 1972, ASCATEP.
9. Olygay  
Biochimatic approach to architectural  
regionalism, Princetown 1963
10. Asie  
Rapport sur la construction scolai-  
re N° 2. Bureau Régional de l'Unesco  
pour l'Education en Asie.
11. Verhoeven  
Gc. 42 Toegepaste Bouwfysica  
T.H. Delft

.../...

12. Lippsmeier  
 "Tropenban - Building in the Tropics"  
 Verlag George DW Callwey, München,  
 1969
13. Fathy  
 "Construire avec le peuple"  
 Edition Sindbad, Paris, 1970
14. Gerard  
 De l'architecture traditionnelle  
 à la construction scolaire : mission  
 de consultant de l'Unesco, 1976.
15. C.R.E.T.  
 Bâtir en terre; 2ème édition  
 Techniques américaines - 88
16. Galdi  
 L'habitat rural au Sénégal  
 République du Sénégal, Ministère  
 de l'enseignement technique et de  
 la formation professionnelle
17. Moreau  
 La terre, matériau primordial pour  
 un habitat africain contemporain,  
 1976
18. Snelder, Bijl  
 L'habitat du grand nombre  
 Tomes II, III, VI  
 IFAN, Dakar, 1974
19. S.M.U.H.  
 Fiches climatologiques à l'usage  
 des architectes urbanistes et amé-  
 nageurs, Sénégal  
 11, rue Chardin, 75 PARIS 16ème,  
 Septembre 1970
20. Huet, Bussat,  
 de Bosch Kemper  
 Etude de Normes de Constructions  
 Scolaires, Côte-d'Ivoire,  
 UNESCO, Paris, Juin 1970
21. C.R.E.T.  
 La construction en climat chaud  
 Techniques américaines - 62