
Hubert Guillaud, Thierry Joffroy, Pascal Odul, CRATerre-EAG

Blocs de terre comprimée

Volume II. Manuel de conception et de construction





GATE - signifie Centre Allemand d'Echange pour les Technologies Appropriées. C'est un département de la Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH, une organisation fédérale mandatée par le Gouvernement de la République Fédérale d'Allemagne qui charge la GTZ de planifier et exécuter les activités de coopération techniques avec les pays du tiers-monde.

GATE a été créé en 1978 par le Ministère Fédéral Allemand de la Coopération Economique (BMZ) - responsable pour la coopération au développement avec les pays du tiers monde, en consultation avec le Ministère Fédéral Allemand de la recherche et de la technologie (BMFT).

GATE travaille régulièrement dans le domaine de la diffusion des technologies appropriées, de la protection de l'environnement et de la préservation des ressources naturelles. A l'intérieur de la GTZ, GATE est responsable de ces activités sur une base intersectorielle. GATE, grâce à son "Service d'Information sur les Technologies Appropriées (ISAT)" travaille dans les domaines suivants :

1) Diffusion des technologies appropriées

Diffusion et utilisation des technologies appropriées, surtout pour les activités communautaires :

- Coopération avec des groupes non gouvernementaux de technologie appropriée : convention de coopération avec des ONG en Afrique, Asie et Amérique Latine.
- Service d'information : documentation (sur les technologies appropriées), échange d'information, service "question-réponse", publication de brochures techniques, articles et périodiques techniques.
- Financement pour des projets de technologie appropriée à petite échelle.

2) Protection de l'environnement et préservation des ressources naturelles

- Coordination des activités liées à la protection de l'environnement au sein du GTZ.
- Affinage des méthodes et outils pour les études d'impact sur l'environnement.
- Suivi, coordination et évaluation de projets interdisciplinaires et multisectoriels dans le domaine de la protection de l'environnement et la préservation des ressources naturelles.
- Coopération avec les organisations nationales et internationales, les associations et les bureaux d'étude concernés par ces questions.

Deutsches Zentrum für Entwicklungstechnologien - GATE

c/o Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH

Postfach 5180 / D-65726 Eschborn / Allemagne / Tél. : (06196) 79-0 / Télex : 407 501 0 gtz d / Télécopie (06196) 79 48 20

CRATerre-EAG

CRATerre-EAG - le Centre International de la Construction en Terre - Ecole d'Architecture de Grenoble, est constitué de professionnels de haut niveau oeuvrant dans différentes contrées. Depuis 1973, CRATerre-EAG est impliqué à temps plein dans tous les secteurs de la construction en terre, allant de la préservation des monuments et sites historiques jusqu'à la mise en place de filières industrielles de production et construction. Les cinq champs d'activité indissociables de CRATerre-EAG sont :

- 1) **La recherche** : en tant qu'équipe de recherche reconnue officiellement, CRATerre-EAG poursuit plusieurs programmes de recherche fondamentale et opérationnelle dans les domaines aussi variés que l'ethnologie, l'économie, la minéralogie, la géomécanique, la technologie...
- 2) **La consultation** : les interventions de CRATerre-EAG dans ce domaine couvrent les missions d'identification, études de préinvestissement et de faisabilité, montage de programmes, conception de bâtiments, identification des matières premières, élaboration de stratégies...
- 3) **L'application** : les membres de CRATerre-EAG sont constamment impliqués dans des opérations sur le terrain allant de la préparation architecturale jusqu'à la réalisation de projets de construction dans le domaine social ou de l'éducation pour le compte d'organisations gouvernementales ou non gouvernementales.
- 4) **La formation** : en collaboration avec l'Ecole d'Architecture de Grenoble (EAG) et l'Université de Grenoble (USTMG) CRATerre-EAG anime un cours de post diplôme de deux ans pour des architectes ou des ingénieurs. CRATerre-EAG organise aussi des cours intensifs à thème et des sessions de formation professionnelles en collaboration avec d'autres organisations telles que la Réunion Internationale des Laboratoires pour l'Etude des Matériaux et de Structures (RILEM), le Conseil International du Bâtiment pour la recherche, l'étude et la documentation (CIB), l'Organisation des Nations Unies pour le Développement Industriel (ONUDI), le Centre International pour l'Etude de la préservation et la restauration des biens culturels (ICCROM) etc.
- 5) **La diffusion** : par la publication d'ouvrages scientifiques et techniques, une participation active à de nombreuses rencontres professionnelles internationales et l'animation permanente d'un service questions-réponses, CRATerre-EAG joue un rôle important dans la diffusion de l'information et la promotion de la construction en terre.

CRATerre-EAG

Maison Levrat / Parc Fallavier / BP 53 / F - 38092 Villefontaine Cedex / France / Tél : 308 658 F / Télécopie : (33) 74 95 64 21

Hubert Guillaud, Thierry Joffroy, Pascal Odul, CRATerre-EAG

Blocs de terre comprimée

Volume II. Manuel de conception et de construction

Une publication de : Deutsches Zentrum für Entwicklungstechnologien – GATE
une division de : Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH
en coordination avec le : Building Advisory Service and Information Network – BASIN



Responsables scientifiques : Patrice Doat, architecte-professeur ; Hubert Guillaud, architecte-chercheur ; Hugo Houben, ingénieur-chercheur
Auteurs : Hubert Guillaud, architecte-chercheur ; Pascal Odul, ingénieur-architecte ; Thierry Joffroy, architecte
Contributions : Vincent Rigassi, architecte ; Alexandre Douline, technicien supérieur ; Philippe Garnier, architecte
Illustrations : Oscar Salazar, architecte ; Patrick Idelman, dessinateur
Documentation : Marie-France Ruault
Maquette : Régine Rivière
Corrections : Violette Petrel
Responsable de l'édition : Tilane Galer

© Photographies

CRATerre-EAG : Dario Angulo, Patrice Doat, Sébastien d'Ornano, Alexandre Douline, Hubert Guillaud, Hugo Houben, Thierry Joffroy, Serge Maïni, Pascal Odul, Vincent Rigassi et autres contributions de : Sylvain Arnoux, Patrick Bolte, Anne-Sophie Cléménçon, Christian Lignon, Christophe Magnée, Philippe Romagnolo, Olivier Scherrer

© Dessins : CRATerre-EAG

Photo de couverture (Fig. 1) : Habitat localif à Mayotte, réalisation SIM.

Avec la participation du Secrétariat de la Recherche Architecturale de la Direction de l'Architecture et de l'Urbanisme (DAU) du Ministère de l'Équipement, du Logement et des Transports

Tous droits réservés.

© Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH, Eschborn 1995
Production et diffusion : Friedrich Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft mbH, Braunschweig
Imprimé en Allemagne par Hoehl-Druck, Bad Hersfeld

ISBN 3-528-02082-2

SOMMAIRE

| | | |
|---|---|-----|
| | PREFACE | 4 |
| INTRODUCTION | HISTOIRE | 5 |
| | AVANTAGES DU BTC | 6 |
| | PRODUCTION | 7 |
| | BTC : LE MATERIAU | 8 |
| | PRINCIPALES CARACTERISTIQUES | 9 |
| | TRADITION DE CONSTRUCTION | 10 |
| | BEAUTE DU MUR APPARENT | 11 |
| | ARCHITECTURE D'HABITAT | 12 |
| | ARCHITECTURE PUBLIQUE | 16 |
| LES PRINCIPES DE MAÇONNERIE | MORTIER | 20 |
| | APPAREILLAGES | 22 |
| | CALEPINAGE | 29 |
| LES DISPOSITIONS CONSTRUCTIVES DU PROJET | TYPOLOGIE DES MURS | 34 |
| | TYPOLOGIE DE STRUCTURES | 35 |
| | FONDACTIONS ET SOUBASSEMENTS | 36 |
| | OUVERTURES | 44 |
| | ARMATURES | 48 |
| | CHAINAGES | 49 |
| | PLANCHERS | 50 |
| | ENTREVOUS ET VOÛTAINS | 51 |
| | TYPOLOGIE DES TOITURES | 52 |
| | FINITIONS | 58 |
| | INSTALLATION DES RESEAUX TECHNIQUES | 62 |
| | RESISTANCE CARACTERISTIQUE DU BTC | 64 |
| | COEFFICIENT DE SECURITE ET ELANCEMENT | 65 |
| | CONTRAINTES ADMISSIBLES | 66 |
| | ECONOMIE DE LA CONSTRUCTION | 68 |
| ARCHITECTURE | REALISATIONS ARCHITECTURALES OU PROJETS | 71 |
| | ARCHITECTURE D'HABITAT | 72 |
| | ARCHITECTURE DE BATIMENTS PUBLICS | 120 |
| | BIBLIOGRAPHIE | 148 |

PRÉFACE

Ancrée dans la préoccupation initiale d'apporter une nouvelle réponse pertinente au plan économique et social, à la production d'un habitat destiné aux populations les plus démunies, la technologie du bloc de terre comprimée n'a pas failli à cette préoccupation en développant son domaine d'application. Ce sont en effet des dizaines de milliers d'habitats familiaux ou collectifs, d'équipements de l'Éducation et de la Santé qui ont été réalisés depuis le début des années cinquante qui donnaient le jour à ce matériau dans sa forme actuelle, au centre CINVA de Bogota, en Colombie. Ces réalisations ont progressivement confirmé l'appropriation de cette technologie de construction. Un matériau simple, directement hérité des très anciennes cultures constructives de la brique de terre crue et de la brique cuite. Un matériau doué de la même intelligence constructive et architecturale, de la même capacité d'adaptation à un large registre de déterminants du milieu physique, écologique, social, économique et technique qui conditionnent la production du cadre bâti. Un matériau qui s'est imposé par les preuves qu'il a données de son utilité. Une utilité que l'on juge au plan technique, économique mais aussi au plan humain. Au plan technique, la technologie du bloc de terre comprimée est aujourd'hui étayée par un savoir de nature scientifique qui n'a rien à envier aux savoirs développés sur d'autres matériaux de construction du même groupe : les matériaux de maçonnerie. Au plan économique, le bloc de terre comprimée qui a l'avantage de pouvoir être produit et directement utilisé localement est aujourd'hui concurrentiel, voire parfois plus compétitif, selon les contextes d'application. Cette technologie, dans le cadre de montage de filières de production et de construction est créative d'emplois sur un large registre de métiers, du carrier au briquetier, du maçon à l'entrepreneur. Tout en garantissant une bonne qualité des résultats au plan architectural, le bloc de terre comprimée permet, dans des conditions optimales d'utilisation, une économie de devises et d'énergies qui est essentielle quant à l'évaluation de sa pertinence en matière de développement. Au plan humain, c'est une technologie qui apporte des réponses concrètes à la question fondamentale de l'amélioration du cadre bâti et donc du bien-être des sociétés. Meilleure qualité constructive et architecturale des ouvrages, accessibilité et reproductibilité sont les principaux critères évaluables de cette pertinence au plan humain et économique. Mais cette pertinence n'est possible que s'il y a maîtrise du savoir scientifique et technique autant que du savoir-faire. Ce livre apporte les outils intellectuels et pratiques d'une bonne application de la technologie du bloc de terre comprimée sur le terrain.

Ce livre est également le fruit d'un travail d'équipe, patient et méthodique, tendu vers l'objectif d'une homologation scientifique, technique, sociale et culturelle d'une nouvelle technologie dont le potentiel utile a été d'emblée une évidence. Il fallait pourtant confirmer l'intuition de cette utilité. Mais aujourd'hui, nous parlons d'une technologie qui, tout en ayant atteint un niveau de potentiel industriel avec des modes de production adaptés au secteur de production formel, a su aussi se maintenir dans un registre artisanal et ménager un niveau d'utilité pertinent pour des applications en secteur informel. C'est là un double atout qui peut servir un large dessein d'applications architecturales dans le domaine de l'habitat comme de l'équipement public. Le succès de filières contemporaines, notamment l'exemple des réalisations entreprises sur l'île de Mayotte (Comores), apporte une confirmation de ce double atout mis au service d'un développement garant de retombées économiques et sociales sur la population locale. Il fallait que soit confirmée cette homologation par la constitution d'un savoir et d'un savoir-faire transmissibles et appropriables, par la genèse d'un patrimoine architectural de qualité. C'est effectivement le cas dans bien des contextes comme le montrent les monographies de projet qui constituent la deuxième partie de ce livre. Un livre qui s'adresse aux décideurs de l'aménagement du territoire comme aux architectes, ingénieurs ou entrepreneurs. Un livre conçu pour consolider la confiance et fournir les outils de travail qui, au terme d'une expérience de recherche et de terrain, apparaissent indispensables. Un livre conçu pour diffuser ce savoir et ce savoir-faire vers un plus large terrain d'application et plus particulièrement vers l'habitat et l'équipement public des communautés locales qui n'ont pas d'autres choix que d'utiliser la terre comme matériau de base et qui veulent légitimement bénéficier d'une technologie contemporaine. Tel est le cas de la technologie du bloc de terre comprimée qui se situe à l'interface des cultures constructives en terre traditionnelles et des cultures constructives de la maçonnerie moderne. Cette technologie offre une alternative tout en se maintenant dans un registre d'applications architecturales de grande qualité.

Ce livre a pu être réalisé grâce à la collaboration active que notre équipe a développé ces dernières années avec l'organisation non gouvernementale internationale MISEREOR et avec GATE/GTZ (coopération allemande) dans le domaine de la diffusion des matériaux et des technologies de construction appropriées, par la formation des hommes et par l'application architecturale pilote. Nous remercions tout particulièrement M. Herbert Mathissen et Mme Hannah Schreckenbach, de ces deux organismes, pour le soutien qu'ils ont apporté à l'édition de cet ouvrage ainsi que pour la confiance qu'ils ont accordée à leurs auteurs afin que ce projet soit mené à bien. Nous voulons aussi remercier tous les acteurs de terrain, architectes, entrepreneurs, maçons et briquetiers qui ont donné naissance aux réalisations d'architecture en blocs de terre comprimée qui sont données en exemple dans cet ouvrage et fortifié ainsi le potentiel d'utilité et de qualité de cette technologie. Puisse cet exemple être suivi par davantage de praticiens qui s'inscriront dans la dynamique de projet déjà engagée par leurs prédécesseurs dont la vocation est aujourd'hui celle du partage des connaissances et de l'expérience.

Hubert Guillaud, Hugo Houben, chercheurs CRATerre-EAG.

HISTOIRE

Le bloc de terre comprimée est une évolution moderne du bloc de terre moulée, plus communément dénommé bloc d'adobe. L'idée de compacter la terre pour améliorer la qualité et la résistance des blocs de terre moulée est pourtant ancienne et c'est à l'aide de piliers en bois que l'on réalisait les premiers blocs de terre comprimée. Ce procédé est encore utilisé de par le monde. Les premières machines à comprimer la terre auraient été imaginées au XVIII^e siècle. En France, François Cointeraux, inventeur et propagateur zélé d'un "nouveau pisé", concevait "la crécise" qui était dérivée d'un pressoir à vin. Mais ce n'est qu'au début du XX^e siècle que l'on imagina les premières presses mécaniques qui utilisaient de lourds couvercles rabattus avec force dans le moule. Des presses de ce type ont même été motorisées. L'industrie de la brique cuite a ensuite utilisé des presses à compression statique où la terre était comprimée entre deux plateaux se rapprochant. Le développement significatif de l'emploi des presses et de l'utilisation constructive et architecturale du bloc de terre comprimée n'a été finalement engagé qu'à partir de 1952 suite à l'invention de la fameuse petite presse "CINVA-RAM", imaginée par l'ingénieur Raul Ramirez, au centre CINVA de Bogota, en Colombie. Elle fut utilisée dans le monde entier. Les années 70 et 80 ont amené l'apparition d'une nouvelle génération de presses manuelles, mécaniques et motorisées et le développement aujourd'hui considérable d'un véritable marché de la production et de l'utilisation du bloc de terre comprimée.

Une technologie élaborée

Depuis son apparition dans les années 50, la technologie de production du bloc de terre comprimée, BTC, son utilisation en construction ont constamment progressé et fourni les preuves de leur valeur scientifique autant que technique. Un savoir de très haut niveau a été développé par des centres de recherche, des industriels, entrepreneurs et constructeurs, qui fait aujourd'hui de cette technologie l'égale des technologies de construction concurrentes. La production du BTC répond à des exigences scientifiques de contrôle de la qualité des produits, depuis l'identification, la sélection et l'extraction des terres utilisées, jusqu'au suivi de la qualité des blocs à la sortie des presses grâce à des procédures de tests et d'essais sur les matériaux qui sont aujourd'hui codifiées. Ce savoir scientifique garantit la qualité du matériau. Simultanément, l'expérience accumulée sur de très nombreux chantiers par les bâtisseurs a également permis de définir des règles de conception architecturale et de l'art de bâtir qui constituent aujourd'hui des outils de travail de référence pour les architectes et les entrepreneurs ainsi que pour les maîtres d'ouvrages.

Développement

L'installation d'unités de production de blocs de terre comprimée, du mode artisanal au mode industriel, en milieu rural comme en milieu urbain, est associée à la mise en place de filières créatives d'emplois à tous les stades de la production, depuis l'extraction des terres en carrières jusqu'à la réalisation des chantiers de construction. L'emploi du matériau pour la réalisation de programmes d'habitat social, pour la réalisation d'équipements scolaires, culturels ou de santé, de bâtiments des administrations publiques, est une contribution au développement de l'économie et du bien-être des sociétés.

Intégrée dans des stratégies de développement concertées entre le secteur public et le secteur privé qui donnent une place importante à la formation des hommes et à la création d'entreprises, la production du BTC est un facteur de développement économique et social. Tel a été le cas dans le cadre d'un programme de construction d'habitat et d'équipements publics considéré aujourd'hui comme une référence internationale, sur l'île de Mayotte dans l'archipel des Comores. L'emploi du BTC qui a suivi la mise en place d'une filière insulaire a été historiquement le levier du développement de l'île de Mayotte fondé sur une économie du bâtiment créatrice d'emplois et de valeur ajoutée locale, monétaire, économique et sociale.

Acceptation sociale

Le BTC constitue une amélioration considérable des techniques traditionnelles de construction en terre. Lorsqu'un contrôle de qualité garantit les produits, le

BTC tient très facilement la comparaison avec d'autres matériaux tels que le bloc de sable - ciment ou la brique cuite. Il conquiert alors l'adhésion des décideurs, des constructeurs et des utilisateurs des bâtiments.

Avenir

La technologie du BTC a beaucoup progressé grâce à la recherche scientifique et technique, à l'expérimentation, aux réalisations architecturales qui soutiennent une large diffusion de documents techniques et une formation universitaire et professionnelle. Un important travail est engagé au niveau de la normalisation qui devrait contribuer à légitimer définitivement cette technique dans les prochaines années.



Fig. 2 : Centre de réception et d'information du Auroville Building Center, Inde.
Archit. Serge Maini et Suhasini.

AVANTAGES DU BTC

La technique du bloc de terre comprimée présente plusieurs avantages qui méritent d'être relevés :

- La production du matériau, à l'aide de presses mécaniques de conception et au mode de fonctionnement variés, constitue une réelle amélioration par rapport aux modes traditionnels de production des blocs de terre, que ce soit l'adobe ou les blocs de terre compactés manuellement. On obtient notamment une régularité de la qualité des produits. Cette qualité favorise l'acceptation sociale d'un renouveau de la construction en terre.
- La production du bloc de terre comprimée est généralement associée à la mise en place de procédures de contrôle de qualité qui répondent aux exigences d'une codification, voire d'une normalisation des produits de construction, notamment pour une utilisation en milieu urbain.
- Dans des contextes où les cultures constructives sont déjà marquées par la construction en petits éléments de maçonnerie (brique cuite, pierre, bloc de sable-ciment), le bloc de terre comprimée est très facilement intégré et constitue une ressource technologique supplémentaire utile au développement socio-économique du secteur du bâtiment.
- La flexibilité des modes de production du bloc de terre comprimée, en milieu rural comme urbain, à l'échelle artisanale comme industrielle, est un avantage qui retient l'intérêt des décideurs politiques, des investisseurs et des entrepreneurs.
- La qualité architecturale des ouvrages en blocs de terre comprimée, bien conçus et bien réalisés, conquiert l'intérêt des architectes et des populations qui occupent les bâtiments réalisés avec ce matériau.

Performances techniques

Le compactage de la terre à l'aide d'une presse améliore la qualité du matériau. Le bloc de terre comprimée présente une forme régulière et des arêtes vives qui sont appréciées par les constructeurs. L'élévation de la densité obtenue par le compactage améliore de façon notable la résistance des blocs de terre à la compression, à l'érosion et à l'action néfaste de l'eau.

Flexibilité d'emploi

La grande variété des presses et unités de production disponibles sur le marché actuel confère à ce matériau une grande souplesse d'emploi.

De la petite échelle artisanale à la moyenne et grande échelle semi-industrielle ou industrielle, l'emploi du BTC est possible en milieu rural comme en milieu urbain et répond à des besoins, des moyens et des objectifs très variés.

Standards et modèles

Les blocs de terre comprimée répondent à des dimensions standards et des exigences de qualité qui conviennent pour la réalisation d'importants programmes d'habitat ou d'équipements publics basés sur la conception de modèles architecturaux. Ces standards de dimension et de forme des blocs ainsi que les modèles architecturaux peuvent être définis avant la mise en œuvre des programmes, au stade de leur conception, avec une grande souplesse d'utilisation.

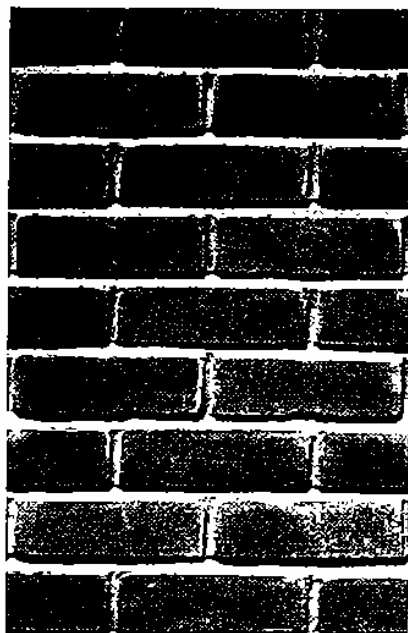


Fig. 3 : Aspect d'un mur en BTC.

Technologie très pratique

Les dimensions courantes des BTC sont adaptées à une grande souplesse d'emploi dans des solutions constructives variées, en maçonnerie porteuse ou en remplissage de structures. Le BTC permet aussi la réalisation d'arcs, de voûtes et de coupoles, ainsi que de planchers à voûtains.

Réel intérêt architectural

La bonne qualité des blocs de terre comprimée permet la réalisation de très beaux ouvrages en maçonnerie à l'égal des traditions de construction en briques cuites. L'utilisation architecturale du BTC peut aller de l'habitat social à l'architecture d'habitat de luxe ou d'édifices publics

prestigieux. Depuis les années 50, l'expérience des architectes et des bâtisseurs s'est considérablement enrichie de la réalisation d'une architecture très variée dans tous les domaines d'application. L'expérimentation a largement fait place à la maîtrise technologique et architecturale et a permis un développement considérable de la technologie du BTC qui aujourd'hui peut être considérée comme l'égale des autres technologies de construction en maçonnerie de petits éléments.

Alternative à l'importation

Répondant aux mêmes exigences que les autres matériaux de construction actuels, le BTC se pose en alternative technologique aux matériaux d'importation dont l'emploi est souvent justifié en regard de l'exigence de standardisation. Le BTC a pour lui l'avantage d'être produit localement tout en répondant à ces exigences.

Quelques contraintes

La qualité des BTC reste tributaire d'une bonne sélection et préparation des terres et du bon choix du matériel de production. L'utilisation architecturale du matériau doit répondre à des règles de conception et de mise en œuvre qui sont spécifiques et qui doivent être appliquées par les architectes et les constructeurs. Pour cela, la compétence professionnelle doit être garantie par une formation adaptée. Au plan économique, le BTC peut parfois ne pas concurrencer les autres matériaux locaux. Une étude technico-économique permet de préciser la faisabilité de cette technologie dans chaque contexte d'application.

PRODUCTION

La production des blocs de terre comprimée peut être assimilée à celle des briques de terre cuite produites par compactage, exception faite de la phase de cuisson. L'organisation de la production sera différente selon qu'elle est réalisée dans le cadre de petites unités de production artisanales (ou briqueteries) au moyen de presses généralement manuelles ou semi-mécanisées, voire motorisées ou bien dans le cadre d'unités de production semi-industrielles et industrielles empruntant, dans ce cas, les principes et modes d'organisation de l'industrie de la brique cuite ou des produits silico-calcaires classiques. Les aires de production, de séchage et de stockage varient également selon les modes de production adoptés et les conditions de production issues de l'environnement climatique, social, technique et économique.

Il n'y a pas de période ou de saison de production particulièrement favorables ou défavorables pour peu que l'on adopte, en cas de saison humide ou de saison chaude, des dispositions de protection des aires de stockage de la terre, du dosage en stabilisant (pour les blocs stabilisés), de préparation du mélange sec et humide, du moulage, du premier stockage à la sortie des presses et du stockage définitif avant l'emploi du matériau en construction.

D'un point de vue assez général des rendements de production, on remarquera qu'ils sont très tributaires des modes d'organisation de la production, des types de presses ou unités de production qui sont choisis ainsi que de la qualification de la main-d'œuvre.

CATÉGORIES DE PRESSES

Presses manuelles

Elles sont actionnées manuellement et n'effectuent que les seules actions de compression et de démoulage. Cette catégorie admet des presses légères, mécaniques et hydrauliques. Les rendements de production de ces presses sont de l'ordre de 300 blocs/jour. Il existe également des presses manuelles mécanisées, généralement plus lourdes et robustes mais dont le rendement est à peine supérieur à celui des presses légères (jusqu'à 500 blocs / jour).

Presses motorisées

Elles sont actionnées par un moteur et n'effectuent que les seules actions de compression et de démoulage. Cette catégorie admet des presses mécaniques et des presses hydrauliques. Les presses motorisées mécaniques correspondent à une nouvelle génération de presses, parfois dérivées des presses manuelles mécanisées lourdes. Elles permettent de

meilleures cadences de production et des rendements pouvant être supérieurs à 800 blocs/jour. Les presses motorisées hydrauliques, tributaires de mécanismes de pompes et de circuit d'huile, doivent être utilisées dans un environnement technologique favorable. Leur fiabilité doit être vérifiée.

Unités de production foraines (mobiles légères)

Elles sont facilement transportables et effectuent de façon motorisée et éventuellement automatisée, en plus des actions de compression et de démoulage, des actions de préparation du matériau et/ou d'évacuation des produits.

Unités de production fixes

Elles sont difficilement transportables et effectuent de façon motorisée et éventuellement automatisée, en plus des actions de compression et de démoulage, des actions de préparation du matériau et/ou d'évacuation des produits.

TYOLOGIE ET CARACTÉRISTIQUES

L'ensemble de la typologie des presses et unités de production existant aujourd'hui sur le marché international peut être classé (Fig. 4) selon les quatre principales catégories évoquées et en fonction des systèmes (source d'énergie, transmission d'énergie, action de compression) et des caractéristiques dominantes (pression de compression, rendement théorique). Du point de vue des rendements de production, on insistera sur le fait que les chiffres donnés par les constructeurs correspondent assez souvent aux cycles mécaniques théoriques des presses mais que, sur les chantiers, les rendements annoncés peuvent être inférieurs car la production est très étroitement liée aux conditions de situation et d'organisation de la production.

| SYSTÈMES | | | CATÉGORIES DE PRESSES | CARACTÉRISTIQUES | |
|------------------|--------------------------|-----------------------|-------------------------------|--------------------------|------------------------|
| SOURCE D'ÉNERGIE | TRANSMISSION D'ÉNERGIE | ACTION DE COMPRESSION | | PRESSIION DE COMPRESSION | RENDEMENT THEORIQUE/8h |
| manuelle | mécanique | statique | presses manuelles | très basse | 300 à 800 |
| | mécanique et hydraulique | statique | | hyper | 300 à 400 |
| | mécanique | statique | | basse | 400 à 1 000 |
| motorisée | mécanique | statique | presses motorisées | basse à moyenne | 800 à 3 000 |
| | hydraulique | statique | | basse à moyenne | 800 à 2 000 |
| | mécanique | statique | unités de production foraines | basse à moyenne | 800 à 3 000 |
| | hydraulique | statique | | basse à moyenne | 800 à 3 000 |
| | mécanique | statique | | basse | 2 000 à 15 000 |
| | hydraulique et mécanique | statique ou dynamique | | basse à hyper | 1 500 à 7 500 |
| | hydraulique | statique | unités de production fixes | basse à méga | 3 000 à 50 000 |
| | hydraulique et mécanique | dynamique | | | 10 000 à 50 000 |

Fig. 4 : Typologie des presses pour la production des blocs de terre comprimée (29,5 x 14 x 9 cm).

BTC : LE MATERIAU

Les blocs de terre comprimée sont des petits éléments de maçonnerie de forme parallélépipédique dont les dimensions courantes diffèrent cependant des blocs de terre moulée ou des briques cuites. Ils varient selon les types de presses et les moules qui leur sont adaptés. Deux critères principaux sont à prendre en compte pour définir les dimensions d'un bloc de terre comprimée, lesquelles doivent, avant tout, être adaptées à une grande souplesse d'utilisation qui est l'une des grandes qualités de ce matériau de construction. Il s'agit :

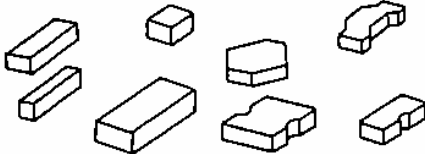
- d'une part du poids du bloc, sachant que se sont principalement des blocs pleins qui sont utilisés pour la réalisation de maçonneries,
- d'autre part, les dimensions nominales de longueur (L), largeur (l) et hauteur (h) du bloc qui déterminent l'appareil des maçonneries.

Pour cela, la tradition de production des blocs de terre comprimée a adopté principalement des dimensions compatibles avec un poids unitaire de l'ordre de 6 à 8 kg et la possibilité de réaliser des murs de 15, 30 ou 45 cm d'épaisseur. Les dimensions nominales les plus courantes sont aujourd'hui de 29,5 x 14 x 9 cm (L x l x h) qui donnent un matériau facilement manipulable et très souple dans son utilisation pour de multiples configurations de systèmes constructifs de murs, de toitures (planchers à voultains, vouûtes et coupoles) et d'ouvertures en forme d'arcs.

Il y a 4 genres de blocs :

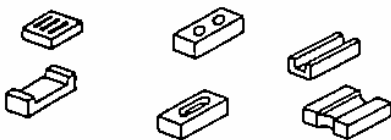
1. Blocs pleins

Ils sont principalement de forme prismatique (parallélépipèdes, cubes, hexagones multiples...). Leur usage est très divers.



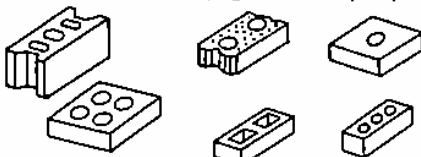
2. Blocs évidés

On observe généralement de 5 à 10 % d'évidement, voire 30 % avec des procédés sophistiqués. Les évidements améliorent l'adhérence du mortier et allègent les blocs. Certains blocs évidés permettent la réalisation de chaînages (coffrage perdu).



3. Blocs alvéolaires

Ils ont l'avantage de leur légèreté mais exigent des moules assez sophistiqués ainsi que des pressions de compression plus élevées. Ils sont adaptés à la maçonnerie armée (régions sismiques).



4. Blocs à emboîtement

Ils permettent de se passer de mortier pour leur assemblage, mais exigent des moules assez sophistiqués et des pressions de compression élevées. Ils sont souvent utilisés pour des ouvrages non porteurs.

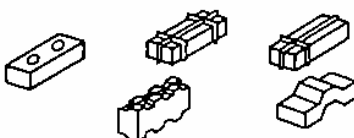


Fig. 5 : Typologie des blocs de terre comprimée.

| 6 PRINCIPALES CATEGORIES D'USAGE | | |
|--|---|---------------|
| USAGE | | TYPE DE BLOCS |
| maçonnerie porteuse | | |
| maçonnerie de remplissage | | |
| applications particulières | <ul style="list-style-type: none"> - ventilation - câblages - corniches - décoration - arcs et vouûtes | |
| maçonnerie renforcée | | |
| systèmes constructifs particuliers : imbrication | | |
| systèmes constructifs particuliers : empilement à sec autoblocants | | |

Fig. 6 : Quel emploi pour les blocs de terre comprimée.

PRINCIPALES CARACTERISTIQUES

La comparaison des caractéristiques et des performances du bloc de terre comprimée avec d'autres matériaux classiques de maçonnerie ne doit pas se réduire à ne prendre en compte que la résistance à la compression ou la différence des coûts de production. La question est plus complexe. Cette comparaison doit plutôt s'établir sur la prise en compte d'un plus large registre de paramètres dont la forme et les dimensions du matériau, son aspect (surface, texture, esthétique), ainsi qu'un ensemble de performances telles que, effectivement, la résistance à la compression sèche et humide mais aussi l'isolation thermique, la masse volumique apparente et la durabilité. Mais ce sont plus encore les aspects liés à la production et à l'utilisation du matériau qui mettent en lumière toute la complexité de cette comparaison en intégrant des considérations sur la nature des gisements fournissant la matière première, sur les modes de transformation de cette matière en matériau, sur l'énergie incorporée dans cette transformation ou production, sur la nature du matériau pris comme composant ou élément de construction, sur son état dans le bâtiment construit avec une prise en compte des problèmes de durabilité et d'entretien. Cette comparaison "intelligente" des matériaux entre eux doit, au-delà des considérations scientifiques visant à comparer des matériaux dans des conditions de laboratoire, prendre en compte l'utilisation constructive et architecturale des matériaux *in situ*.

ASPECTS D'UTILISATION

La position du bloc de terre comprimée par rapport à d'autres matériaux de maçonnerie peut s'établir sur les aspects d'utilisation du matériau.

Aspects techniques

Caractéristiques mécaniques, statiques, hydriques, physiques...

Aspects économiques

Coût unitaire de production, immobilisation financière...

Aspects sanitaires

Emission de gaz nocifs, radioactivité...

Aspects psychologiques

Nature du matériau, texture de surface, couleur, forme, luminosité...

Aspects écologiques

Déforestation, éventrement de collines par l'exploitation des gisements, utilisation d'eau, d'énergie, production de pollution, de déchets...

Aspects sociaux

Retombées économiques et sociales par la création d'emplois, acceptabilité socio-culturelle...

Aspects institutionnels

Législation, assurances, normalisation, politique de développement liée à la mise en place de filières...

La prise en compte de ces aspects d'utilisation renvoie directement à la nécessité de réaliser une étude de faisabilité technico-économique préalable avant d'installer une filière de production car ces paramètres pèsent lourd dans le choix d'une filière. Le tableau (fig. 7) donne des éléments simples de comparaison qui ne doivent pas occulter l'importance des aspects d'utilisation architecturale du matériau.

| COMPARAISON ENTRE LE BTC ET D'AUTRES MATERIAUX DE MAÇONNERIE | | | | | |
|--|-------|---------------------|---------------------|---------------|----------------------|
| Caractéristiques | Unité | BTC | Briques cuites | Adobes | Blocs de béton léger |
| FORME ET TAILLE | | | | | |
| Type | | | | | |
| L x l x h | cm | 29,5 x 14 x 9 | 22 x 10,5 x 6,5 | 40 x 20 x 10 | 40 x 20 x 15 |
| ASPECT | | | | | |
| - Surface | | lisse | rugueuse à lisse | irrégulière | rugueuse |
| - Intérêt esthétique | | moyen à bon | bon à excellent | pauvre | moyen |
| PERFORMANCES | | | | | |
| - Résistance en compression humide | Mpa | 1 à 4 | 0,5 à 6 | 0 à 5 | 0,7 à 5 |
| - Dilatation thermique réversible | % | 0,02 à 0,2 | 0 à 0,02 | - | 0,02 à 0,05 |
| - Isolation thermique | W/m°C | 0,81 à 1,04 | 0,7 à 1,3 | 0,4 à 0,8 | 1,0 à 1,7 |
| - Masse volumique apparente | kg/m³ | 1 700 à 2 200 | 1 400 à 2 400 | 1 200 à 1 700 | 1 700 à 2 200 |
| - Durabilité | | faible à très bonne | faible à excellente | faible | faible à très bonne |
| EMPLOI EN MAÇONNERIE | | | | | |
| | | porteur | porteur | porteur | remplissage |
| | | | | | |
| | | sans enduit | sans enduit | avec enduit | avec enduit |

Fig. 7 : Tableau comparatif pour différentes caractéristiques, performances et quelques aspects d'utilisation en maçonnerie.

TRADITION DE CONSTRUCTION

C'est dans les traditions millénaires de construction en briques de terre façonnées puis moulées à la main qu'il faut rechercher la très lointaine origine de la technique contemporaine du bloc de terre comprimée. La construction en "thob" ou "otoub", en Egypte, dès les époques pré-dynastiques (troisième millénaire av. J.-C.) ou en Mésopotamie, sur les rives généreuses du Tigre et de l'Euphrate, ou encore dans la vallée de l'Indus, a fondé les bases de la construction en "adobe" toujours actuelle dans ces contrées et qui a rayonné dans de nombreux pays.

L'emploi de la brique de terre moulée demeure lié à la fantastique évolution du genre humain qui s'opère entre la révolution agricole du néolithique et la révolution urbaine. Il correspond à un degré avancé de l'évolution des sociétés, de l'organisation de la production des matériaux et de la construction de l'habitat. Avec l'édification des villes, l'utilisation de la brique de terre va très vite être associée à des prouesses architecturales. En effet, la construction en petits éléments de maçonnerie libère l'homme de technologies de construction plus rudimentaires telles que le torchis (clayonnages) ou la bauge (terre empilée) qui limitent les performances constructives et architecturales. La brique de terre permet l'édification des plus prestigieux palais, sanctuaires et temples religieux des grandes civilisations des fleuves (Nil, Tigre et Euphrate, Indus, Huanghe) multipliant les villes sur les rives fertiles favorables à l'implantation des établissements humains. Les travaux de l'archéologie moderne puis contemporaine témoignent du génie architectural des bâtisseurs des temps anciens.

L'évolution de la technique de la brique de terre moulée au bloc de terre compacté répond à une logique d'amélioration de la qualité du matériau. L'élévation de la densité et la réduction de la porosité résultant du compactage améliorent le comportement du bloc de terre vis-à-vis des actions néfastes de l'eau. Cette technique du compactage était d'abord pratiquée manuellement à l'aide de pilons et toujours dans des moules, technique fastidieuse qui ne donne pas une bonne qualité du bloc, tant du point de vue de son aspect que de ses performances mécaniques. Il était donc logique que la technique évolua peu à peu vers la mise au point de machines. Les premières presses sont récentes et dérivées de l'industrie céramique ou silico-calcaire puis apparaît une nouvelle génération de presses spécifiques à la technologie du bloc de terre comprimée. Cette évolution de l'adobe au bloc compacté puis au bloc de terre comprimée demeure un processus logique en maintes contrées bien que très souvent le saut technologique s'opère directement entre l'adobe et le bloc de terre comprimée.



Fig. 8 : Site de Chan-Chan, Pérou. "Huaca del dragon". Construction en brique d'adobe.

BEAUTE DU MUR APPARENT

Le "mouvement moderne" (années 20 et 30) puis le "style international" (années 70 et 80) ont imposé une architecture aux formes précises, aux arêtes vives, aux façades blanches faites de matériaux de construction industrialisés requérant des assemblages précis et réguliers. Cette architecture traduit à l'évidence la prédominance de la machine et de l'industrie sur l'artisanat. Le béton, matériau moderne par excellence, permet tout, en bien comme en mal, mais n'impose pas nécessairement l'exigence d'une très bonne qualification pour sa mise en œuvre. Dans bien des cas, l'emploi du béton n'est pas associé à un savoir-faire très élaboré, il faut en convenir. Les très beaux bétons architectoniques n'effacent pas le constat d'une médiocrité générale des ouvrages de l'architecture contemporaine. Néanmoins, cette architecture moderne et internationale n'a pas vraiment occulté la tradition de construction en maçonnerie apparente à petits éléments qui est demeurée courante dans l'ensemble des pays industrialisés de culture latine ou anglo-saxonne. Cette architecture reste tout à fait contemporaine et beaucoup d'architectes, aujourd'hui, redonnent une place de choix à la brique dans leurs ouvrages. Ceux qui font connaissance avec le bloc de terre comprimée y trouvent généralement le même intérêt, la même souplesse d'emploi et renouent avec un langage architectural de tradition.

Il existe des pays dits "de la brique" (Grande-Bretagne, Belgique, Pays-Bas...) qui ont développé l'art de la construction du grand mur en maçonnerie apparente. De très grands architectes ont utilisé la brique dans leurs plus belles œuvres, dans le domaine de l'architecture d'habitat ou du domaine public. Le langage architectural de la brique, qui peut être décliné selon de multiples variations formelles, a toujours été considéré comme étant d'une souplesse et d'une richesse inouïes. Dans un discours inaugural de 1938, à Chicago, Mies Van der Rohe déclarait : "Tenez une brique, combien sa petite forme maniable est pratique, si utile pour tout emploi. Quelle logique dans son appareillage et la texture qui en résulte. Quelle richesse dans la surface la plus simple d'un mur, mais quelle discipline ce matériau impose". Qui d'autre plus que Louis Khan a traduit cette séduction, ce plaisir, cette beauté de l'architecture contemporaine en briques apparentes qui correspond pour lui à une recherche de "romanité" et de pérennité ? Indissociable beauté du mur apparent, séduction et plaisir à regarder. L'architecture actuelle en blocs de terre comprimée est dans la lignée de l'architecture en briques. Elle en est l'héritière directe. Elle contribue à la pérennité de la beauté du mur apparent et d'un savoir-faire qui lie l'architecte et l'entrepreneur. Elle est le lien tissé avec l'histoire.



Fig. 9 : Bâtiment de Louis Khan à Ahmedabad, Inde.

ARCHITECTURE D'HABITAT



Fig. 10 : Le "Domaine de la Terre" à L'Isle-d'Abeau, près de Lyon, France. Vue panoramique.

Depuis les années 50 qui marquaient la naissance de la technologie contemporaine de construction en blocs de terre comprimée, l'activité de réalisation architecturale n'a eu cesse de prendre de l'ampleur, dans les pays industrialisés comme dans les pays en développement. Le bloc de terre comprimée répond pleinement aux exigences de modernité liées à l'amélioration du bien-être et du vécu dans un cadre bâti confortable, agréable, esthétique et en harmonie avec l'environnement. Il répond aussi au souci d'économie en permettant dans les meilleures conditions socio-économiques de production, et notamment dans les pays dépendant d'une économie de construction extravertie basée sur l'importation des matériaux, l'accès à un habitat de qualité à un coût compétitif. Lorsque la technique est parfaitement maîtrisée dans le cadre d'une filière organisée créatrice d'emploi et d'un savoir-faire, elle donne naissance à un patrimoine architectural de qualité qui peut alors constituer un programme de référence. Tel est le cas de l'architecture en blocs de terre comprimée du programme d'habitat social et d'équipement public qui a été réalisé dans l'archipel des Comores, sur l'île de Mayotte. En France, le projet du "Domaine de la Terre", achevé en 1985 près de Lyon, a été une opération phare de ce renouveau de l'architecture de terre. La valeur démonstrative de cette opération, au plan technologique et architectural, a ouvert la voie à un renouveau de l'architecture en terre.



Fig. 11 : Logements en blocs de terre vibro-compactée. Archil. F. Galard.

Les habitations en blocs de terre comprimée dessinées par les architectes François Galard et Laurence Guibert mettent en valeur le matériau en façade par le soin apporté à l'appareillage des blocs. Ces maisons associent les principes du bioclimatisme et utilisent un système de pré-chauffage paroi-dynamique (stockage et restitution de la chaleur solaire par une lame d'air ventilée) associé à une serre (figs. 11, 12 et 14).

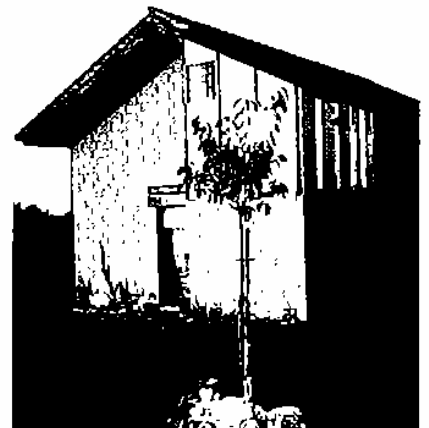


Fig. 12 : Façade pignon avec serre.

EN FRANCE, LE DOMAINE DE LA TERRE



Fig. 13 : Le "Domaine de la Terre" à L'Isle-d'Abeau, près de Lyon, France. Habitat en blocs de terre vibro-compactée.

Le projet du "Domaine de la Terre" concrétise l'idée de réutiliser la terre crue dans le secteur organisé de la construction qui avait été avancée vers la fin des années 70. En réussissant à mobiliser les opérateurs courants de la production du bâtiment (aménageurs et maîtres d'ouvrage, architectes et entrepreneurs, bureaux de contrôle technique et compagnies d'assurances, centres de recherche, fabricants de matériaux et matériels de production), ce projet a instruit les bases d'une nouvelle construction en terre située dans les cadres d'exercice réels. Il a ainsi apporté des solutions à de nombreux problèmes jusqu'alors non résolus.

Situé dans la région Rhône-Alpes riche en architecture de pisé, il établit le lien entre les traditions vernaculaires et la modernité. Le "Domaine de la Terre" est une opération d'habitat à loyer modéré, H.L.M., constituée de 65 logements répartis en 12 îlots de cinq à dix logements mitoyens. Parmi les techniques de construction en terre utilisées, le bloc de terre tient une bonne place. En effet, plus de la moitié des ouvrages réalisés le sont en blocs de terre vibro-compactée, le reste étant construit en pisé (terre compactée banchée) ou en terre-paille (en hourdage d'une ossature bois). La qualité architecturale de l'environnement construit et la démonstration de la faisabilité économique de ce projet, malgré son caractère expérimental, ont stimulé par la suite, en France et à l'étranger, par la valeur d'exemple de l'opération, un développement significatif des réalisations d'habitat en terre en général et en blocs de terre comprimée en particulier.



Fig. 14 : Vue détaillée d'un ensemble d'habitat en blocs de terre vibro-compactée au "Domaine de la Terre".

ARCHITECTURE D'HABITAT



Fig. 15 : Village S.O.S, Mali. Acroterre.

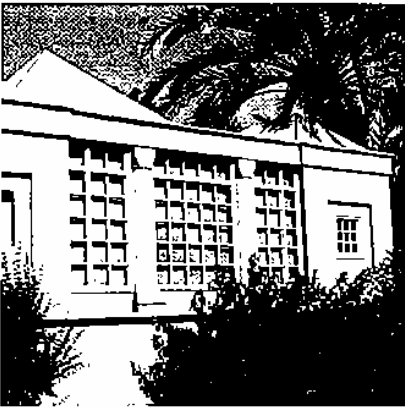


Fig. 16 : Villa Marrakech. Archit. E. Mouyal.

L'architecture d'habitat en blocs de terre comprimée a connu un développement significatif au cours des années 80, dans les pays européens comme dans les pays en développement. Les progrès de la recherche scientifique, technique et architecturale, visant à maîtriser les modes de production du matériau ainsi que sa mise en œuvre, la réalisation de nombreux programmes pilotes ou expérimentaux et la diffusion d'informations techniques auprès des opérateurs du terrain, ont favorisé l'expansion d'un marché de la construction propre à ce matériau. L'industrie du bâtiment ne s'y trompe pas si l'on en juge par l'apparition régulière sur le marché de nouvelles presses et autres matériels de production (malaxeurs, pulvérisateurs, etc.). Simultanément, l'importance accrue donnée à la formation des hommes, au plan universitaire comme au plan professionnel le développement des chantiers de production-construction-formation ont contribué à installer un réseau de compétences favorable à l'épanouissement d'un véritable savoir-faire. Enfin, il faut relever l'appui des grandes organisations internationales et notamment le rôle joué par l'ONUDI (Organisation des Nations unies pour le développement industriel), le CDI (Centre pour le développement humain), associé à un effort de la coopération des pays européens (France, Allemagne), dans la promotion de ce matériau et le soutien accordé à la mise en place de filières de production de blocs de terre comprimée, notamment dans les pays africains. L'exemple du programme d'habitat social à Mayotte (Comores) demeure très impressionnant : 6 000 logements sociaux et locaux et près de 1 000 bâtiments publics (écoles, lycées, administrations) ont été réalisés en l'espace de 10 ans sur une île qui en était encore à la tradition du torchis et du raphia en 1978.

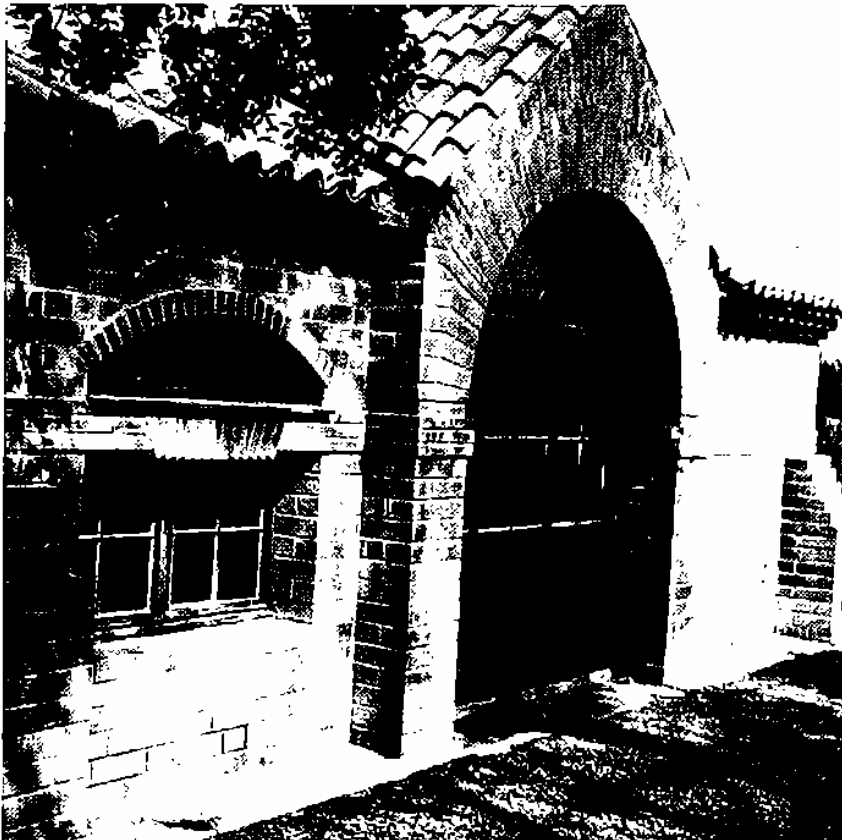


Fig. 17 : Extension de l'Abbaye du Thoronet, France. Archit. E. Mouyal et N. Widmer.

Marrakech, Maroc

La construction en blocs de terre comprimée connaît un renouveau amorcé dans les années 80. Entre la tradition du pisé et de l'adobe des ksour du Sud marocain et la modernité du bloc de terre comprimée enduit de laddelakt (enduit à la chaux colorée et lissé), l'architecte Elie Mouyal est un fervent promoteur de cette technique qu'il met au service de la réalisation d'habitations luxueuses dans le cadre de verdure de la palmeraie (figs. 16 et 18).

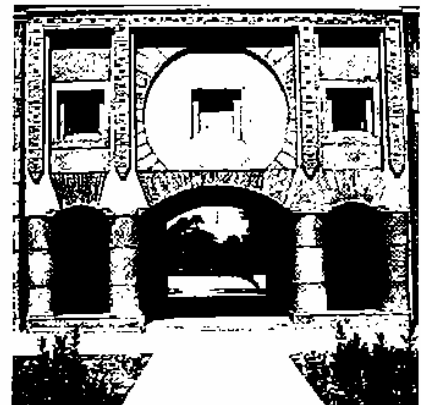


Fig. 18 : BTC et taddelakt, Marrakech.

HABITAT SOCIAL ET LOCATIF



Fig. 19 : Lotissement d'habitats locatifs, à Cavani, quartier de Mamoudzou, chef-lieu de Mayotte. Réalisation SIM.

Mayotte, île des Comores

La filière bloc de terre comprimée a été développée à Mayotte à partir de 1980-81, à l'initiative de la Direction de l'équipement et de la Société immobilière de Mayotte (SIM). La cellule conception de la SIM et les architectes installés sur l'île, soucieux de valoriser l'emploi des matériaux locaux, se sont très rapidement intéressés à ce matériau dont les qualités techniques et les potentialités architecturales allèrent très vite être démontrées sur les premières réalisations d'habitat et d'équipement public. Les premiers projets allaient poser les bases d'un langage architectural propre à Mayotte rapidement mis au service de la genèse d'un véritable patrimoine. L'utilisation du bloc de terre comprimée a été associée à d'autres matériaux locaux (bois, raphia, pierre basaltique et phonolitique) en développant une véritable "intelligence constructive" fondée sur la connaissance de leurs caractéristiques et de leurs potentialités. Levier historique du développement d'une architecture mahoraise, le bloc de terre comprimée est devenu un matériau local initiateur d'un savoir-faire au sein des petites entreprises et artisans de Mayotte (figs. 19, 20 et 21).



Fig. 20 : Mayotte : Villa de location, d'inspiration malgache. Réalisation SIM.



Fig. 21 : Mayotte : Habitat social en bande. Réalisation SIM.

ARCHITECTURE PUBLIQUE



Fig. 22 : Préfecture de Mayotte à Mamoudzou. Archit. AMA, L. Attila Cheyssial et Th. Legrand.

La promotion du bloc de terre comprimée, dans la perspective du montage d'une filière de production et de construction locale est une étape indispensable. Notamment pour dépasser les barrières psychologiques car le bloc de terre comprimée demeure un matériau de construction en terre que la conscience des populations mais aussi des professionnels de la construction associe à la rusticité des matériaux traditionnels, l'opposant à la modernité des blocs de sable-ciment. Dans cette phase initiale, la réalisation des ouvrages d'équipement public est, l'expérience de plusieurs terrains le montre, un atout majeur de grande portée politique et sociale.

A Mayotte, les administrateurs et élus locaux associés aux professionnels du bâtiment ont d'emblée jugé l'importance de la valeur démonstrative des réalisations architecturales. Les premiers programmes pilotes d'habitat étaient aussitôt associés à la construction d'écoles primaires dans l'environnement des plus grosses agglomérations de l'île et en milieu rural. En l'espace de dix ans, Mamoudzou, chef-lieu de l'île en "Grande Terre" allait accueillir le transfert de l'ensemble des administrations jusqu'alors regroupées en "Petite Terre", à Pamandzi. La préfecture, la Direction des actions sanitaires et sociales, la Direction de l'équipement, la Direction de l'enseignement sont des réalisations architecturales d'une qualité et d'une élégance remarquables qui, par la volonté de leurs architectes, mettent en valeur l'emploi du bloc de terre comprimée associé à d'autres matériaux locaux et au savoir-faire acquis par les artisans et les entrepreneurs mahorais.



Fig. 23 : Lycée de la région Sud. Archit. L.A. Cheyssial.



Fig. 24 : Aéroport de Mayotte. Archit. P. Rollet.

ADMINISTRATIONS, ECOLES, HÔTELS

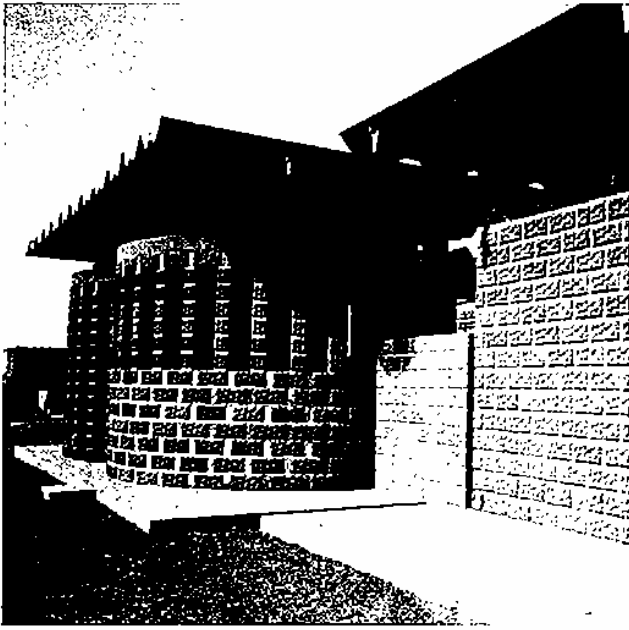


Fig. 25 : Centre de promotion de l'artisanat rural, Dori, Burkina Faso.

Burkina Faso et Maroc

La démarche de promotion du bloc de terre comprimée par la réalisation d'équipements publics est adoptée par de nombreux pays dans le cadre de la mise en œuvre de stratégies de construction avec les matériaux locaux. Au Burkina Faso, au Maroc, le bloc de terre comprimée est utilisé pour réaliser des écoles, des logements universitaires ou des hôtels de tourisme luxueux qui offrent l'occasion de démontrer la qualité du matériau et sa mise au service d'une architecture valorisante. Ces projets sont le fer de lance d'une nouvelle confiance et d'un intérêt accordés à la construction en terre qui prend sa place dans l'actualité de la production architecturale (figs. 25, 26 et 27).

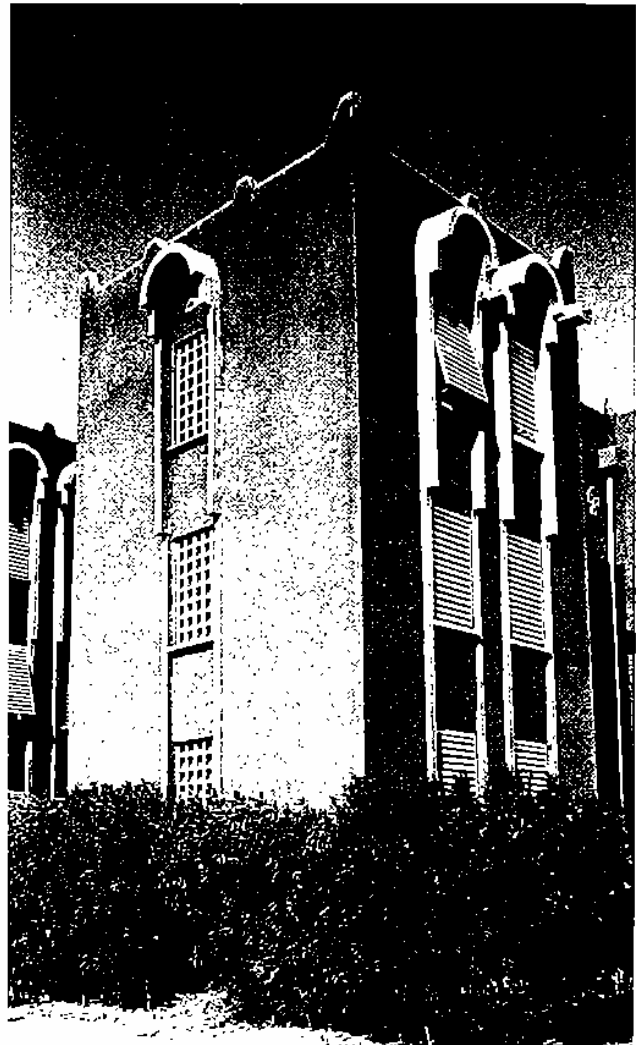


Fig. 26 : Logements étudiants à Ouagadougou, Burkina Faso.

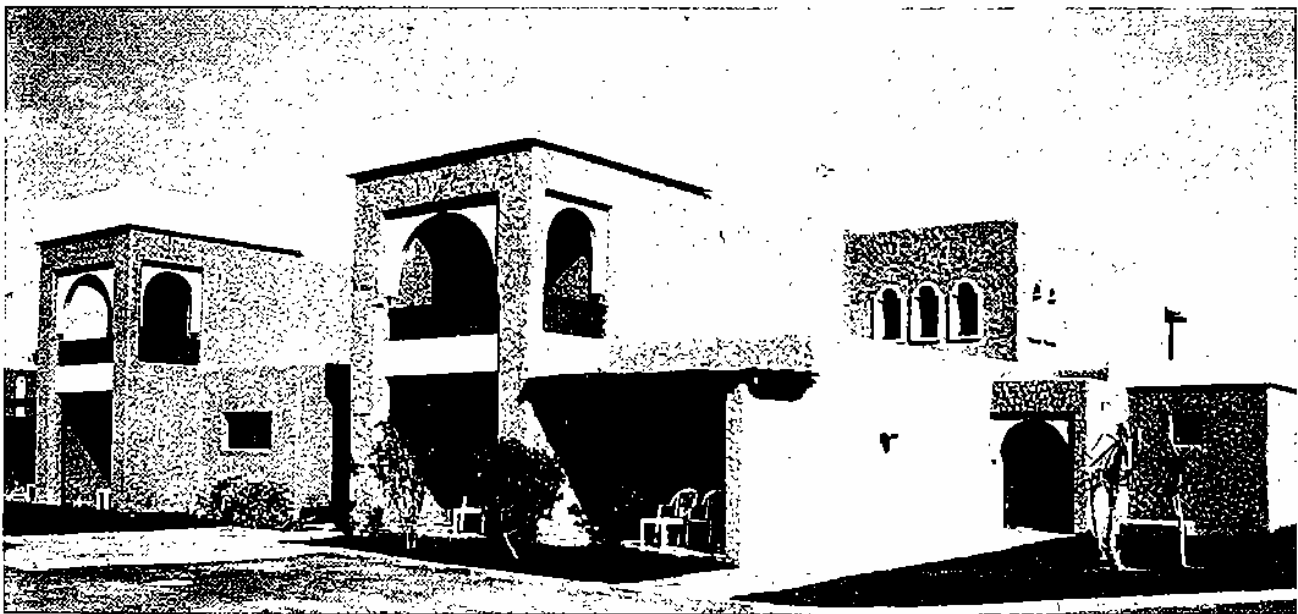


Fig. 27 : Hôtel de luxe à Marrakech, Maroc.



Fig. 26 : Chantier de la "Maison des 24 heures", CRATerre-école d'architecture-université de Grenoble, décembre 1986.

LES PRINCIPES DE MAÇONNERIE

Une maçonnerie en blocs de terre comprimée est une structure de petits éléments empilés, disposés selon un appareil particulier et liés par des joints de mortier.

De cette manière, les blocs de terre constituent un système constructif, mur ou cloison, poteau ou pilier, arc, voûte ou coupole qui possède une résistance en compression. Cette caractéristique de résistance en compression est en effet essentielle car, *a contrario*, les maçonneries en petits éléments résistent très mal à la traction.

La bonne résistance et la bonne stabilité d'un système de maçonnerie en petits éléments dépendent de l'interaction de plusieurs facteurs :

- de la qualité du bloc lui-même,
- de la qualité de la maçonnerie (interaction entre le bloc, l'appareil et le mortier),
- de la forme du système constructif qui doit être adaptée aux sollicitations d'efforts en compression,
- de la qualité des détails des systèmes constructifs qui doivent notamment garantir une bonne protection contre l'eau et l'humidité,
- de la qualité de l'exécution des ouvrages.

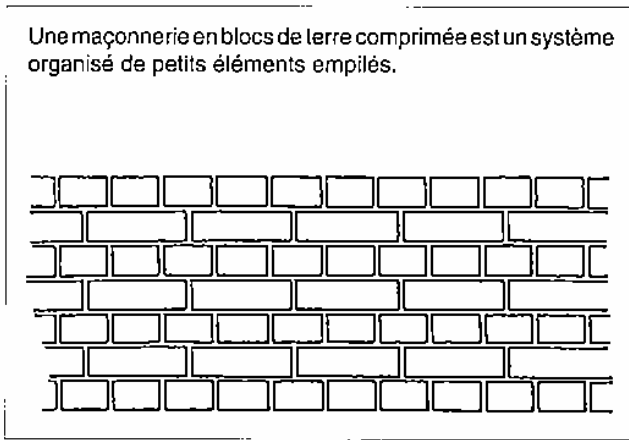


Fig. 29 : Qu'est-ce qu'une maçonnerie en BTC ?

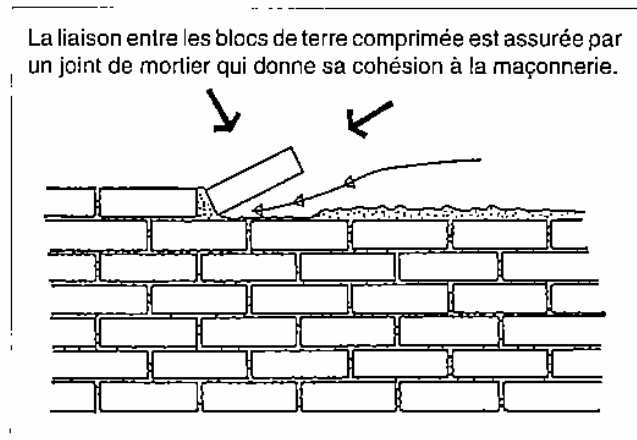


Fig. 30 : Rôle du mortier dans une maçonnerie en BTC.

Une bonne résistance en compression implique

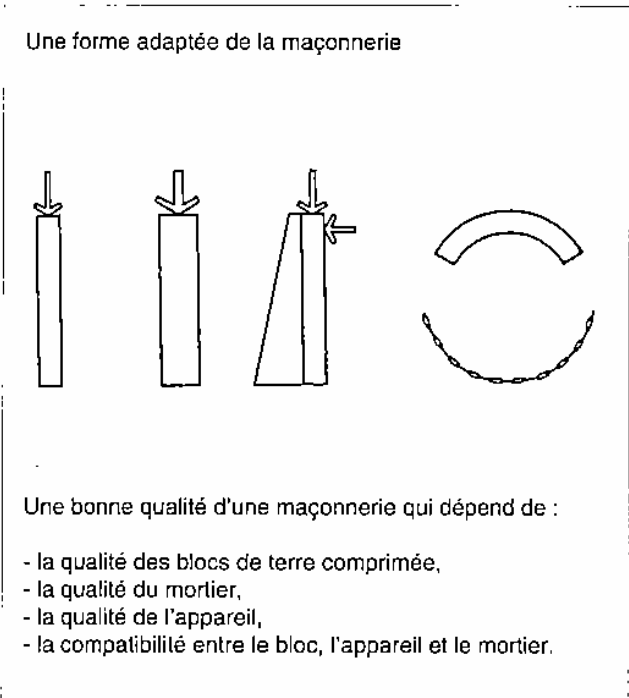


Fig. 31 : Qualité de la maçonnerie en BTC.

Les usages possibles de la maçonnerie en blocs de terre comprimée

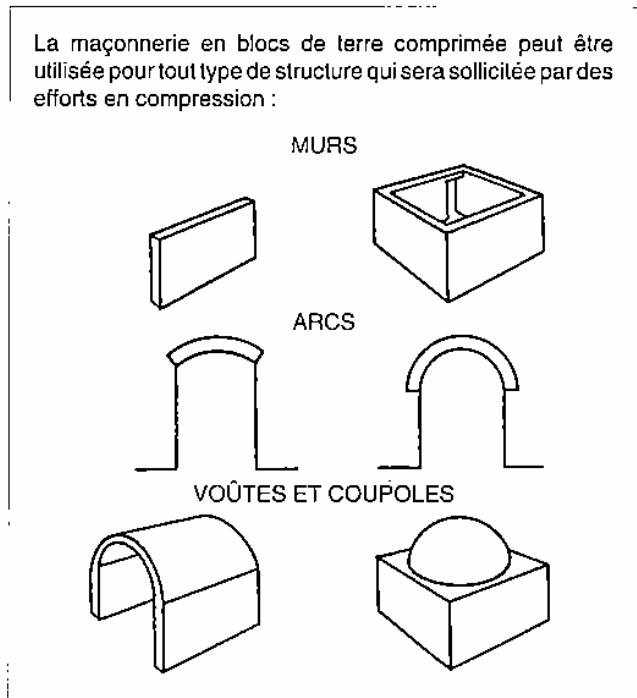


Fig. 32 : Quels systèmes constructifs pour le BTC ?

MORTIER

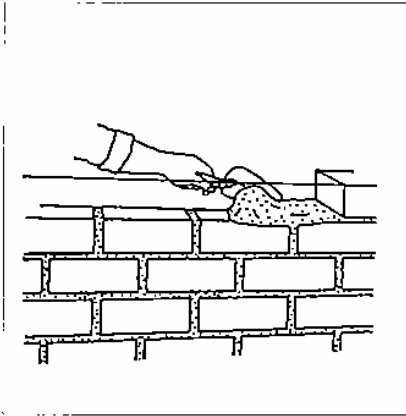


Fig. 33 : Disposer la juste quantité de mortier.

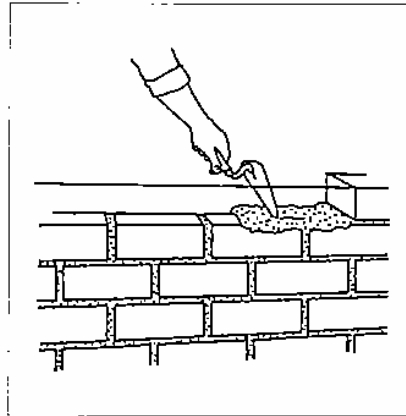


Fig. 34 : Bien répartir le mortier.

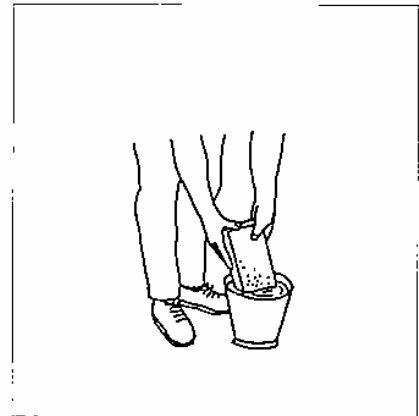


Fig. 35 : Prétrempier les blocs stabilisés.

Définition

Un mortier est un mélange d'agrégats (sables, petits graviers) et de liant (généralement du ciment ou de la chaux), ajouté d'eau en proportions préalablement déterminées. Employé à l'état plastique, le mortier assure une bonne liaison mécanique entre des éléments de maçonnerie constituant un mur, un pilier ou d'autres systèmes construits.

Rôle

Dans la construction en blocs de terre comprimée, comme dans la construction en autres éléments de maçonnerie (pierres, briques cuites, blocs de sable-ciment), le mortier joue un triple rôle :

- il lie les éléments de maçonnerie entre eux dans toutes les directions (joints verticaux et horizontaux) ;
- il permet la transmission des efforts entre les éléments et notamment des efforts verticaux (poids propre des éléments empilés, charges appliquées) ;

- il permet la distribution de ces efforts sur toute la surface des éléments de maçonnerie ;

- il permet de rattraper les défauts d'horizontalité du travail de maçonnerie.

Propriétés et caractéristiques

A l'état frais, un mortier doit être bien "ouvrable". Outre une consistance convenable, il doit présenter une bonne cohésion ainsi qu'un pouvoir de rétention de l'eau contre la succion par les éléments de maçonnerie sur lesquels il est appliqué.

Outre sa consistance, un mortier utilisé pour la construction en blocs de terre comprimée doit :

- pouvoir accepter la déformation ;
- présenter une bonne perméabilité à l'humidité ;
- présenter des performances mécaniques compatibles avec celles des blocs de terre comprimée.

Composition

Dans chaque cas, la composition du mortier doit tenir compte des contraintes réelles imposées à la maçonnerie.

Un bon mortier doit présenter une bonne résistance mécanique et doit garantir la même résistance à la compression et à l'érosion que les blocs de terre comprimée.

Une résistance inférieure du mortier expose à des risques d'érosion, d'infiltration d'eau et de détérioration des blocs de terre. L'érosion et la fissuration du mortier ajoutées au travail en traction des blocs de terre expose à un risque de rupture.

Une résistance supérieure expose à des risques de stagnation de l'eau sur la matrice apparente du mortier qui active l'érosion des blocs ; cela peut causer une fissuration des blocs et amoindrir leur résistance.

La texture d'un bon mortier est en général plus sableuse que celle des blocs de terre avec un diamètre maximal des grains de

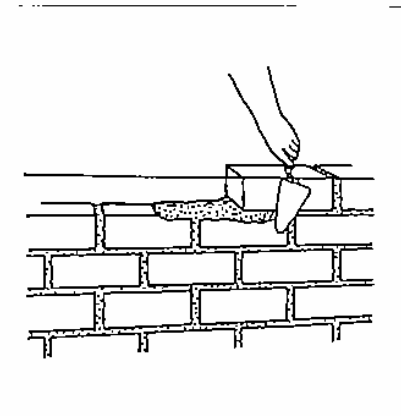


Fig. 39 : Retirer l'excès de mortier.

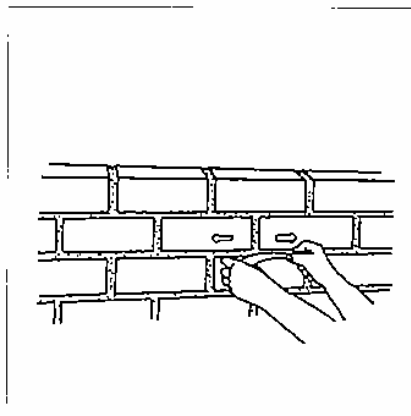


Fig. 40 : Lisser les joints horizontaux.

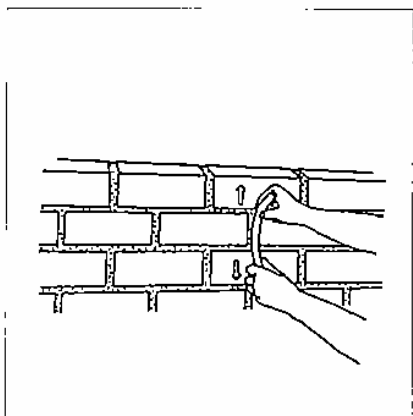


Fig. 41 : Lisser les joints verticaux.

PROPRIETES ET MISE EN OEUVRE

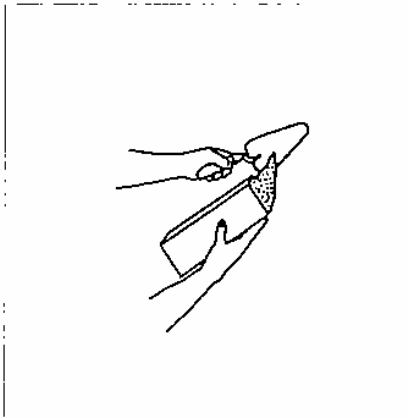


Fig. 36 : Bien tartiner les faces à jointoyer.

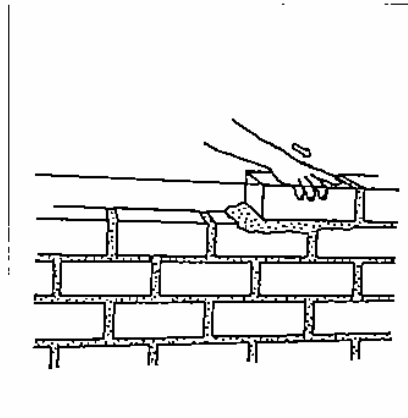


Fig. 37 : Poser le bloc en poussant.

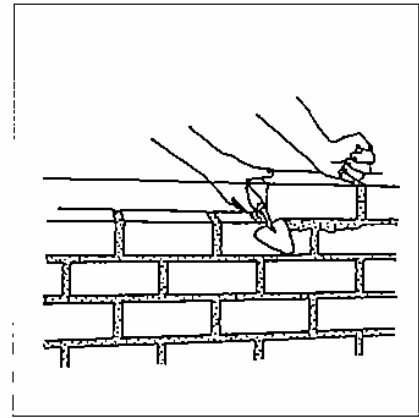


Fig. 38 : Bien caler le bloc sans le taper.

2 à 5 mm. Pour des blocs de terre comprimée stabilisés, il faut obligatoirement employer un mortier stabilisé. Dans ce cas, le dosage en ciment ou en chaux doit être augmenté de 1,5 à 2 fois pour obtenir la même résistance que les blocs de terre.

On peut envisager d'employer un mortier de terre non stabilisé si l'on est assuré que les murs bâtis avec ce mortier sont bien à l'abri du risque d'exposition à la pluie ou à l'eau en général. Mais dans ce cas, il faudra encore s'assurer d'avoir la même résistance à la compression et à l'érosion entre le mortier non stabilisé et les blocs de terre.

Inconvénients

Les mortiers présentent des faiblesses :

- ils opèrent un retrait au séchage ;
- ils peuvent présenter une instabilité chimique ;
- ils peuvent offrir une surface de moindre résistance au contact entre le mortier et le bloc à l'état solide.

L'inconvénient principal est dû au durcissement par dessiccation avec un risque de retrait important. Ce retrait peut occasionner un tassement de la maçonnerie. On peut remédier à ce risque en évitant de bâtir à joints trop épais, en ayant un mortier plus sableux ou en bloquant l'ouverture du joint par ajout de petits cailloux.

Bonne pratique

L'eau de gâchage d'un mortier doit être propre (eau claire et non acide). La surface d'application du mortier doit être préparée et propre. Le liaisonnage des blocs doit être correctement fait dans les deux directions de l'appareil des blocs, par la réalisation de joints horizontaux et verticaux. Les joints verticaux doivent être bien bourrés. On doit veiller à ce que le mortier ne sèche pas trop vite (aspersion du mur en pays chauds) et, d'une manière générale, éviter tous les chocs thermiques (une attention particulière doit être prise dans les régions où les écarts de température sont importants entre le jour et la nuit).

L'épaisseur des joints de mortier, horizontaux et verticaux, doit être régulière et au maximum de 1 à 1,5 cm.

Pour des blocs de terre comprimée stabilisés, il faut prétrempérer les blocs de terre et mouiller le plan de pose. Le bloc doit être "tartiné" de mortier sur les faces à jointoyer avec des quantités justes.

Une fois le bloc posé, on doit le plaquer de façon à bien le caler mais on ne doit surtout pas taper dessus sous peine de supprimer l'adhérence entre le bloc et le mortier.

La reprise des joints doit se faire aussitôt après la pose des blocs, soit avec un fer à joints, soit avec un bout de tuyau de plastique mouillé, un morceau de bois ou de bambou.

Fig. 43 : Aspects finis des joints.
L'aspect fini des joints peut être de trois types :
1 - au même nu que le mur,
2 - en gorge légèrement creuse et arrondie,
3 - en gorge biseautée.

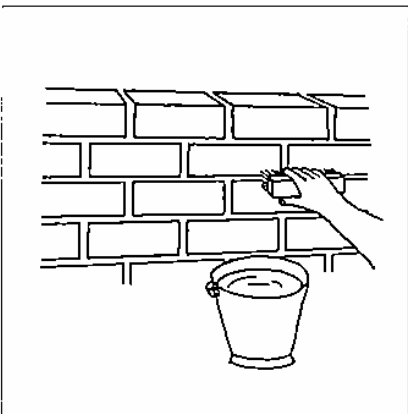


Fig. 42 : Brosser pour achever la finition.

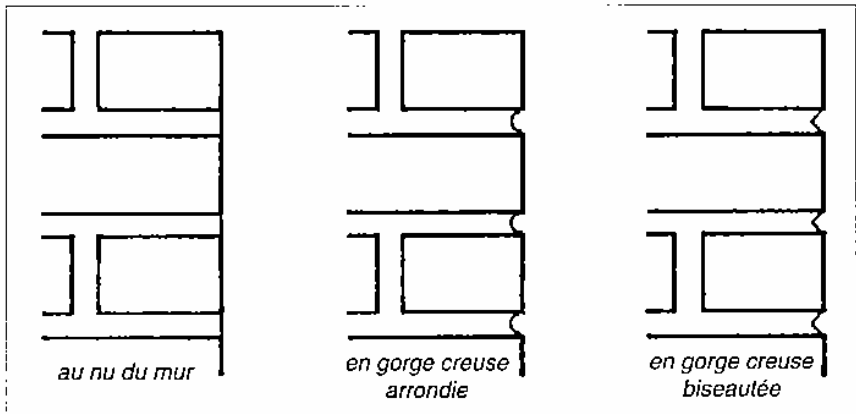


Fig. 43 : Trois types de joints sont possibles.

APPAREILLAGES

Le terme "appareillage" désigne le mode d'arrangement, d'assemblage et donc de liaison des blocs de terre comprimée entre eux, dans toutes les directions d'une structure en maçonnerie (plan horizontal et vertical, épaisseur du mur). Les dispositions de l'appareillage déterminent la position de chacun des blocs de terre, d'une assise à l'autre et servent notamment à éviter ce que l'on nomme un "coup de sabre" résultant de la superposition de deux joints verticaux qui risque de favoriser la propagation de fissures structurales. Le rôle de l'appareillage est essentiel pour garantir la cohésion, la stabilité et la résistance d'une structure en maçonnerie de petits éléments jointoyés au mortier.

Le choix d'un appareillage doit être déterminé avant la mise en œuvre de la maçonnerie et dépend de cinq facteurs que l'on doit considérer ensemble :

- 1 - du type de structure (mur, cloison, pilier, autre),
- 2 - de la taille de la structure,
- 3 - de la dimension des blocs de terre comprimée,
- 4 - de la qualification des maçons (degré de complexité adapté),
- 5 - de l'effet esthétique recherché sur l'aspect fini du parement de l'ouvrage.

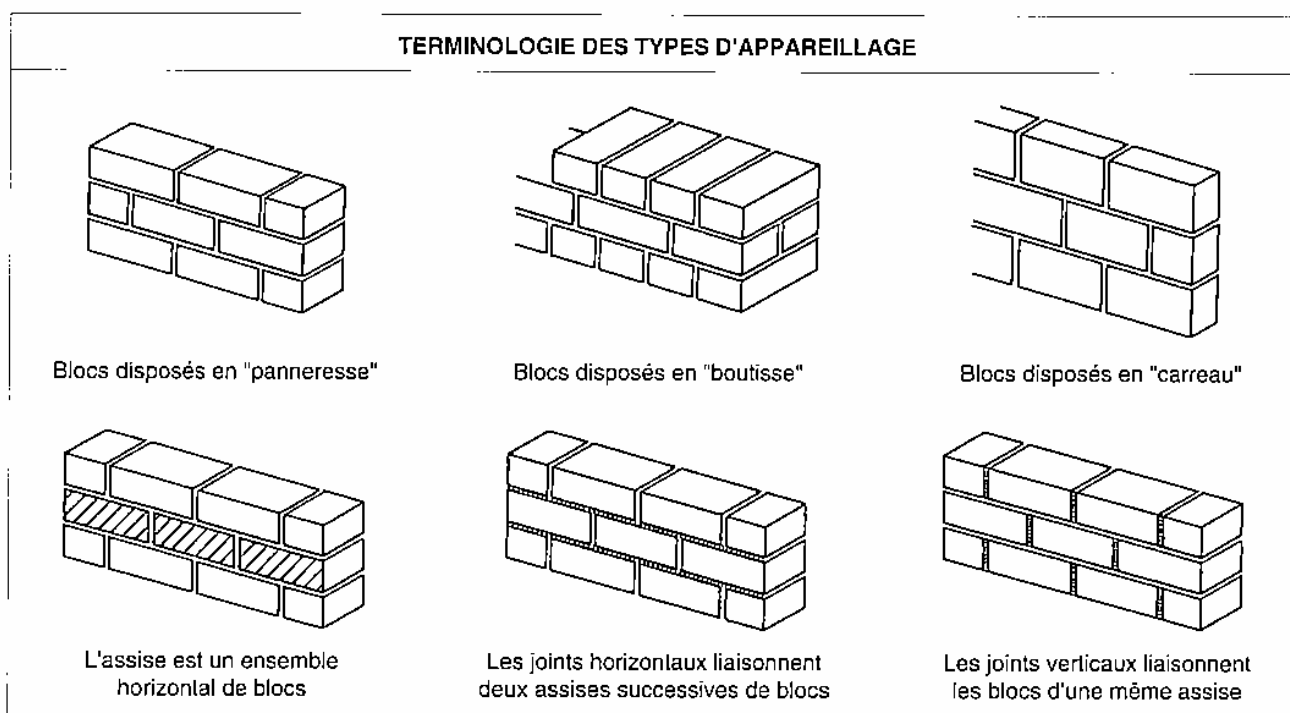


Fig. 44 : Terminologie de base concernant les dispositions des blocs pour constituer un appareillage de maçonnerie à petits éléments.

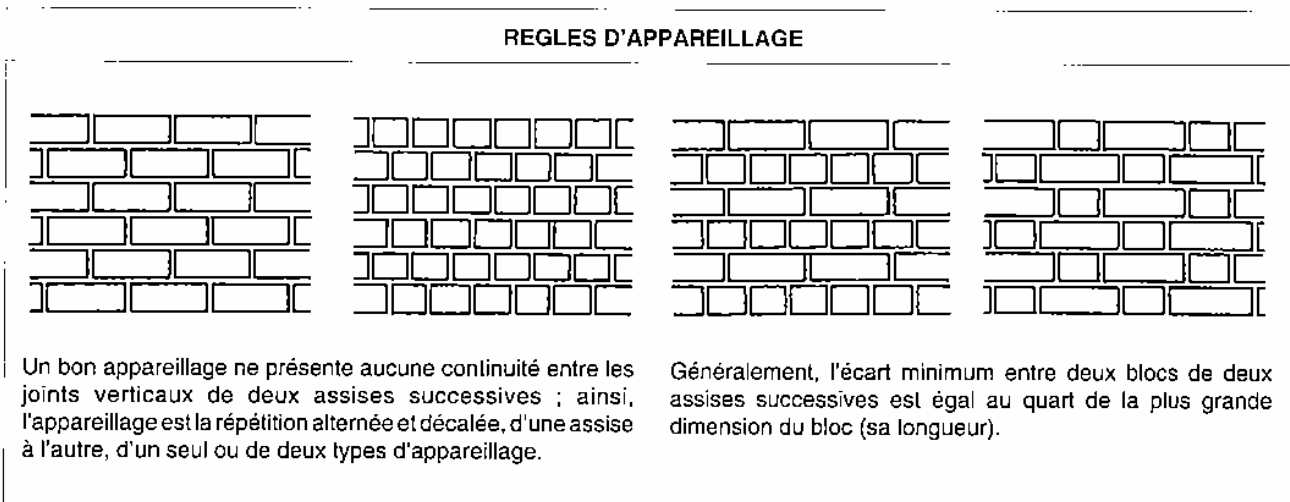


Fig. 45 : Règles fondamentales d'appareillage pour éviter le risque de "coup de sabre".

APPAREILLAGES

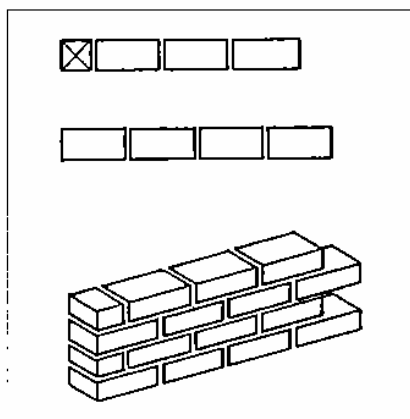


Fig. 46 : Mur d'épaisseur "bloc demi".

Pour réaliser des structures simples en maçonnerie de blocs de terre, tels que des murs, les appareillages les plus courants nécessitent l'emploi de blocs aux dimensions de 1/2 et de 3/4, outre l'emploi de blocs pleins. La fig. 46 donne l'exemple de l'emploi d'un bloc demi en tête de mur dont l'épaisseur équivaut à un demi-bloc et la fig. 47, l'exemple de l'emploi d'un bloc trois quarts en tête de mur dont l'épaisseur équivaut à un bloc entier.

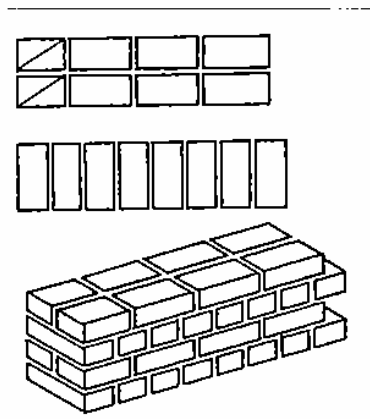
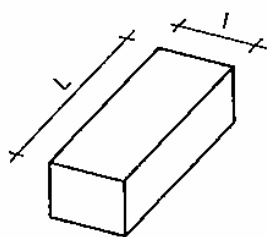


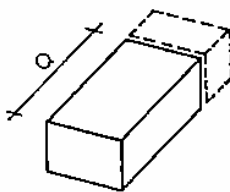
Fig 47 : Mur d'épaisseur "bloc entier".

TERMES POUR LE DIMENSIONNEMENT

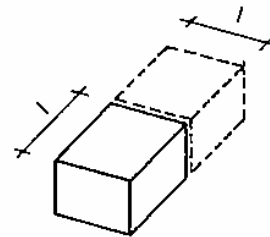
longueur (L) et largeur (l)



bloc trois quarts (Q)



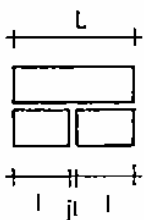
bloc demi
le côté (l) égale la largeur



EPAISSEUR D'UN JOINT DE MORTIER (jt)

$$L = 2l + jt$$

$$l = (L - jt) / 2$$



$$2Q + jt = L + l + jt$$

$$Q = (L + l) / 2$$

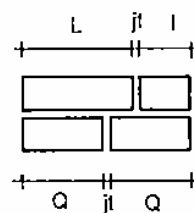
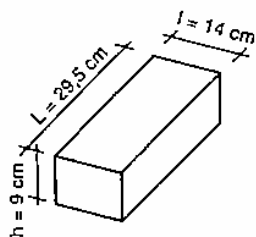


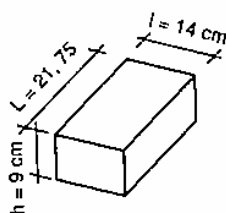
Fig. 48 : Termes et règles de dimensionnement pour la réalisation d'appareillages simples.

DIMENSIONS DU BLOC COURANT ET DE SES DÉRIVÉS

bloc entier



bloc trois quarts



bloc demi

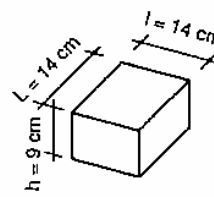


Fig. 49 : Dimensions les plus courantes du bloc de terre comprimée et de ses dérivés (bloc courant, demi et trois quarts).

APPAREILLAGES

Quelques cas de figure d'appareillages pour des murs dont l'épaisseur correspond à un bloc demi. Les appareillages emploient le bloc plein, le bloc demi et le bloc trois quarts.

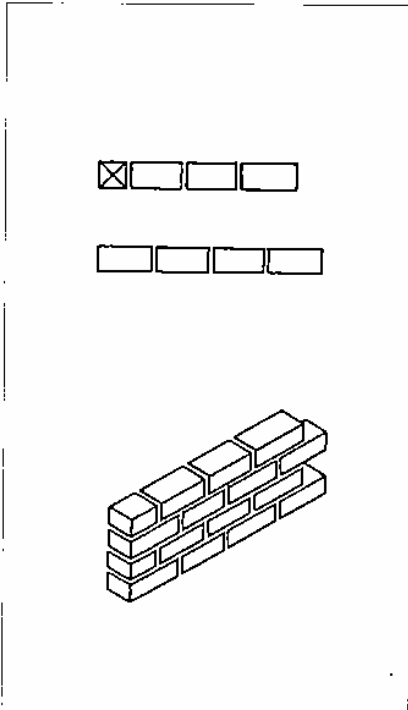


Fig. 50 : Tête de mur et mur courant avec blocs demis.

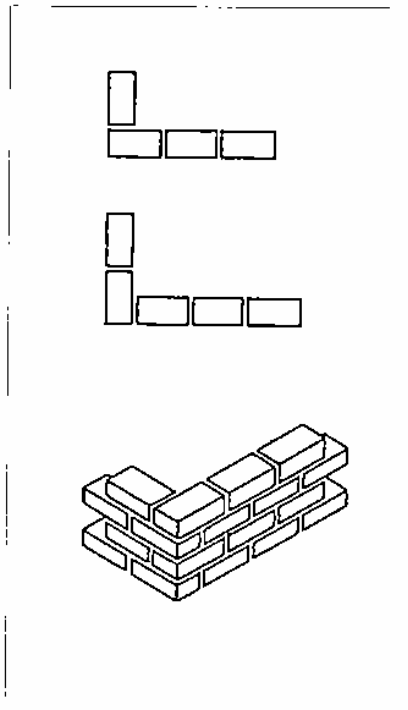


Fig. 51 : Angle de mur avec blocs entiers.

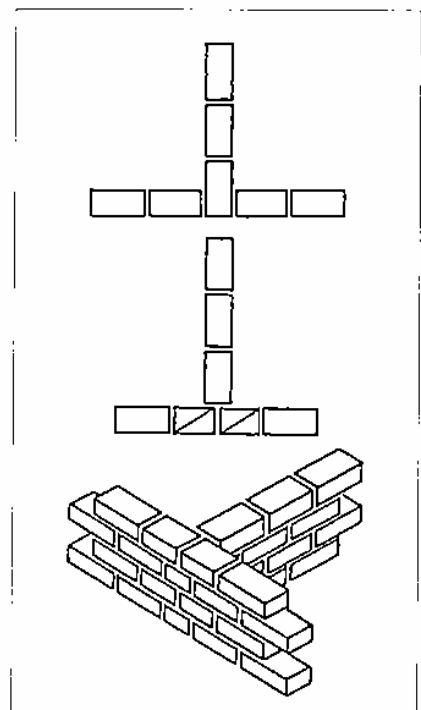


Fig. 52 : Liaison en "T" avec blocs trois quarts.

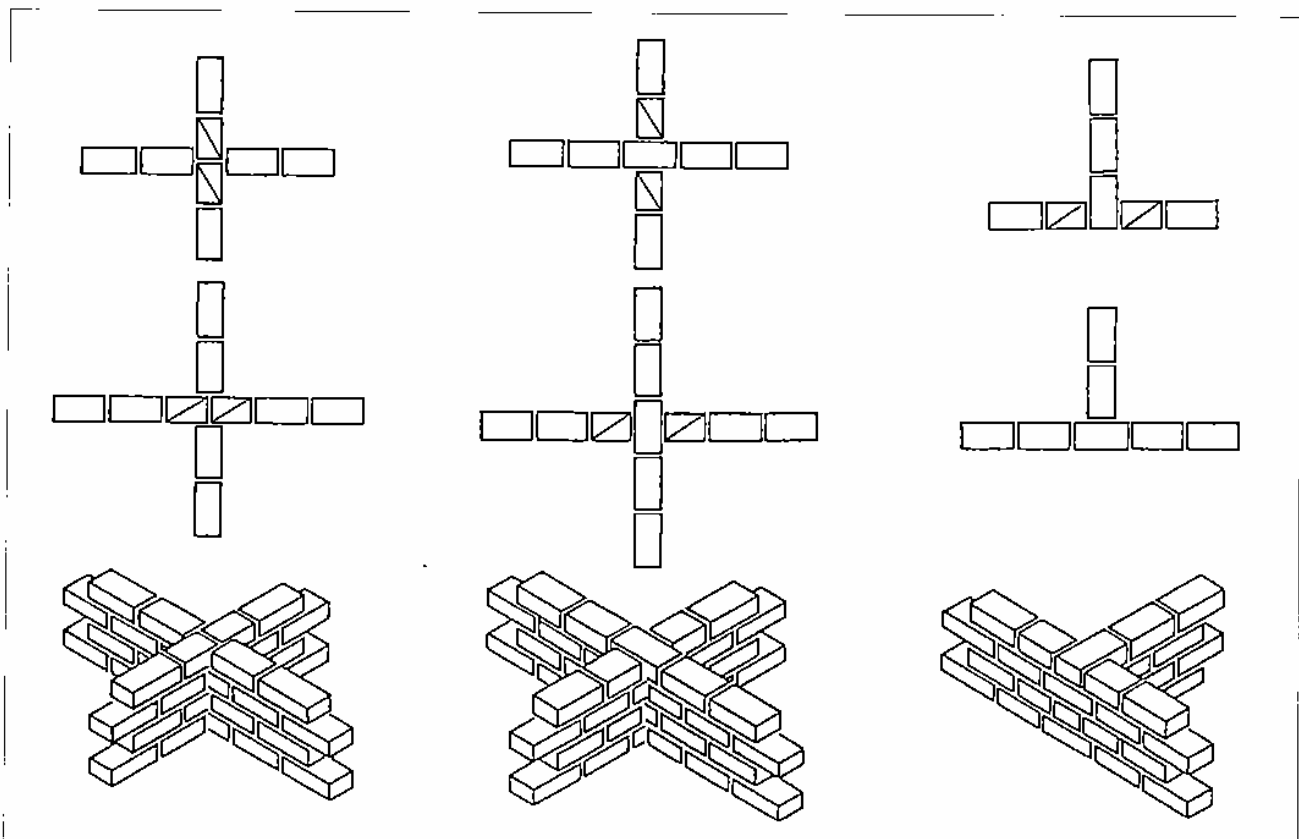


Fig. 53 : Liaison de mur en "X" et liaison de mur en "T" avec blocs trois quarts.

APPAREILLAGES

Quelques cas de figure d'appareillages pour des murs dont l'épaisseur correspond à un bloc plein. Les appareillages emploient le bloc plein, le bloc demi et le bloc trois quarts.

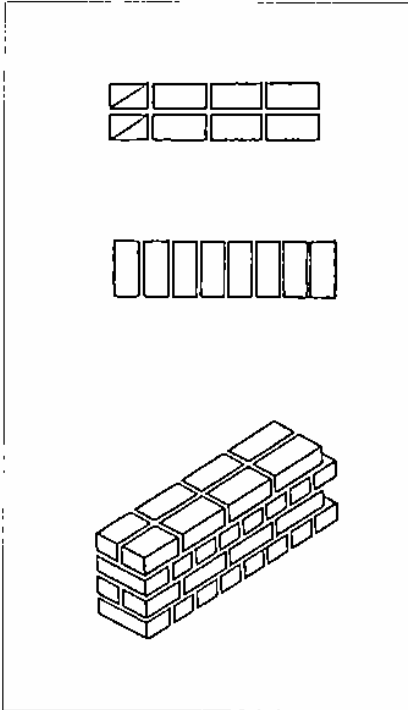


Fig. 54 : Tête de mur et mur courant avec blocs trois quarts.

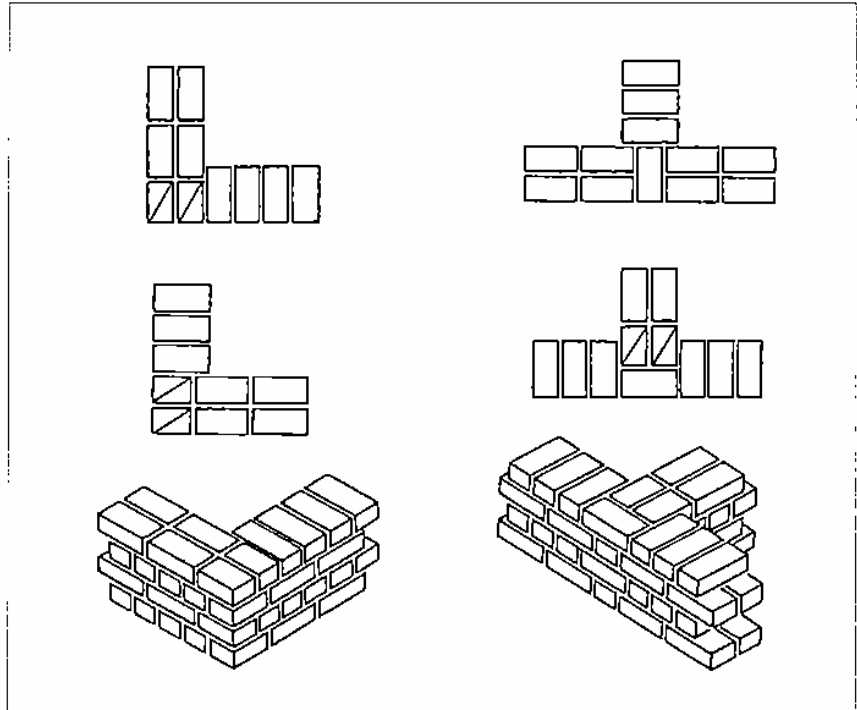


Fig. 55 : Liaison de murs en "L" et en "T" avec blocs trois quarts.

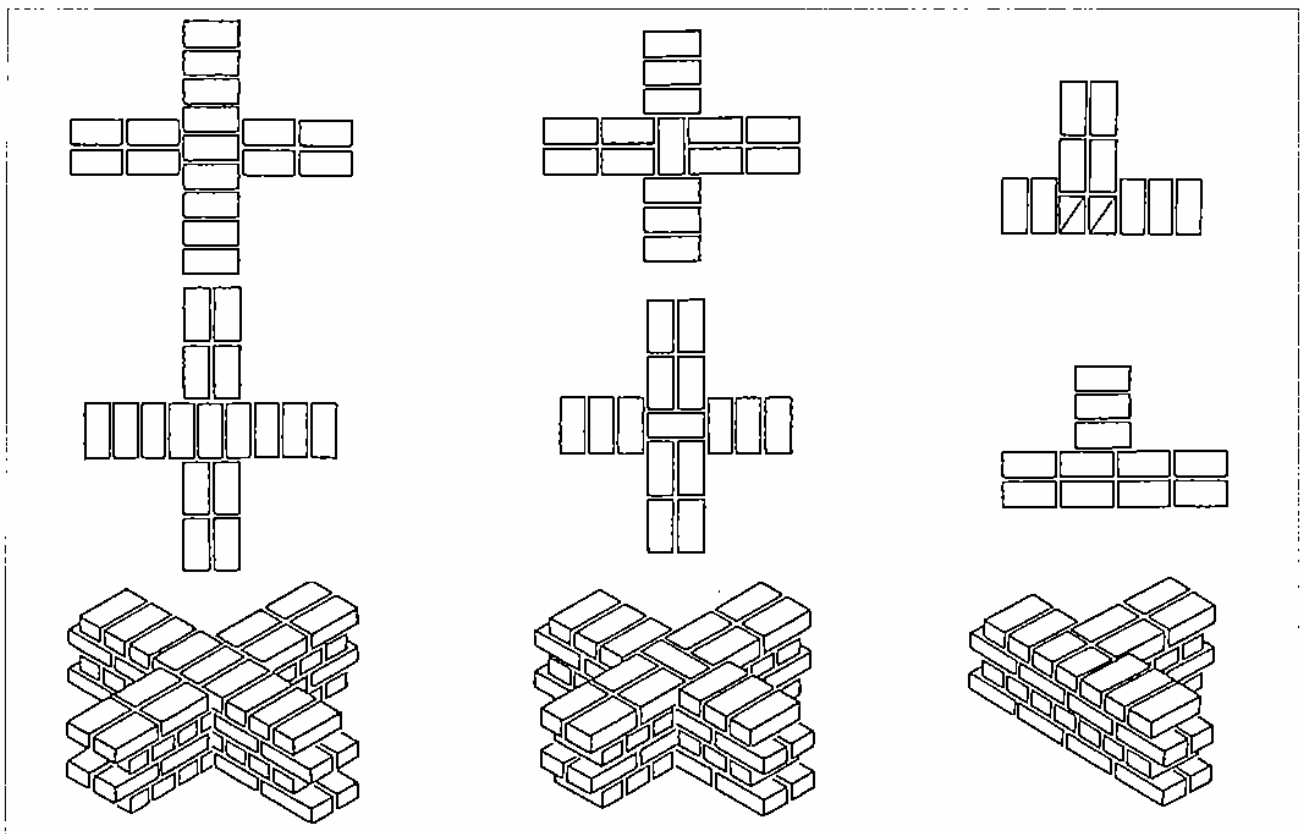


Fig. 56 : Liaison de murs en "X" avec blocs pleins et liaison en "T" avec blocs trois quarts.

APPAREILLAGES

Les appareillages en boutisse pour des systèmes de murs dont l'épaisseur équivaut à un bloc plein imposent souvent l'utilisation du bloc trois quarts. On peut ici l'observer pour une tête de mur courant et une liaison de deux murs en "L" ou en "T".

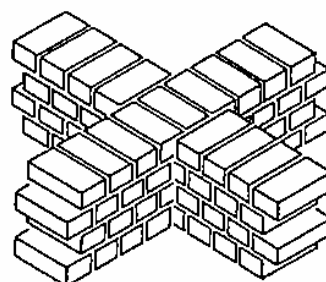
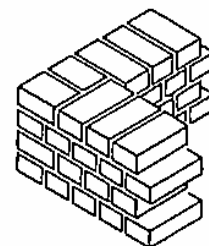
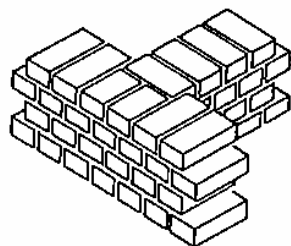
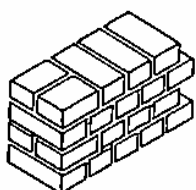


Fig. 57 : Quelques cas d'appareillages en boutisse pour des murs d'un bloc d'épaisseur.

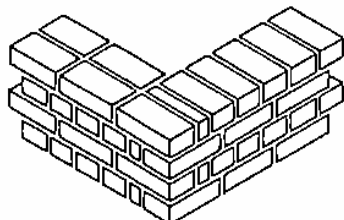
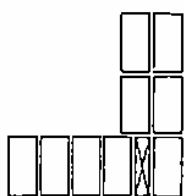
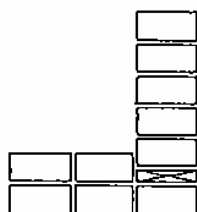


Fig. 58 a : Angle appareillé en boutisse et panneresse sans trois quarts.

Dans ce cas de figure d'un angle de mur en boutisse et panneresse, les deux blocs trois quarts sont remplacés par un bloc plein et un bloc demi coupé dans sa longueur.

Des appareillages en boutisse et panneresse, plus sophistiqués, toujours pour des murs dont l'épaisseur équivaut à un bloc plein, peuvent associer l'emploi de blocs pleins taillés dans leur épaisseur, dans le sens de leur longueur et des quarts de blocs. Ce sont néanmoins des solutions à éviter car ils peuvent rendre fragile la structure de l'angle.

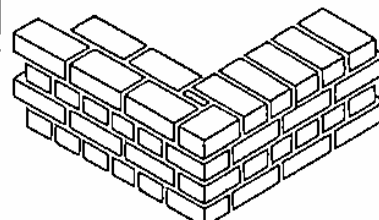
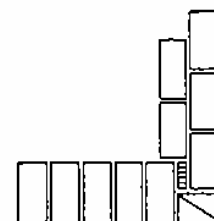
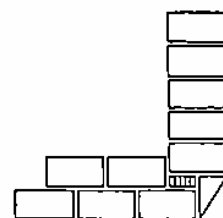


Fig. 58 b : Utilisation d'un bloc un quart avec un bloc trois quarts.

Dans ce cas de figure d'angle appareillé en boutisse et panneresse, un bloc trois quarts est associé à la récupération du 1/4 résultant de la découpe du bloc plein.

APPAREILLAGES

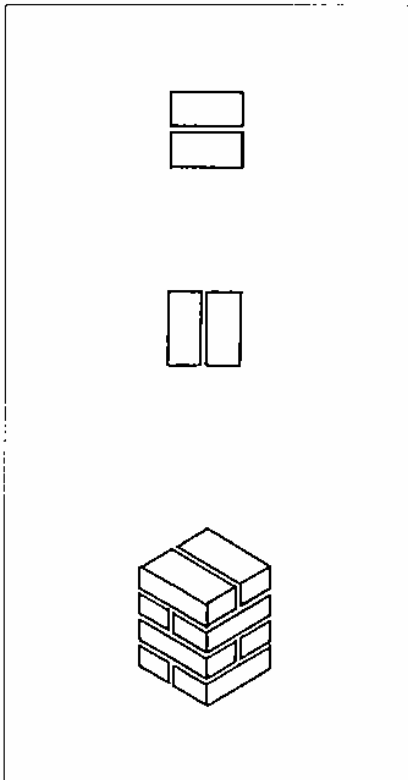


Fig. 59 a : Appareillage simple pour poteau 30 x 30 cm.

Les appareillages de poteaux ou de piliers de petite section (30 x 30 cm ou 30 x 45 cm) se font généralement avec des blocs pleins en jouant sur la rotation du plan d'appareillage ou sa symétrie renversée.



Fig. 60 : Poteau massif et complexe en "X".

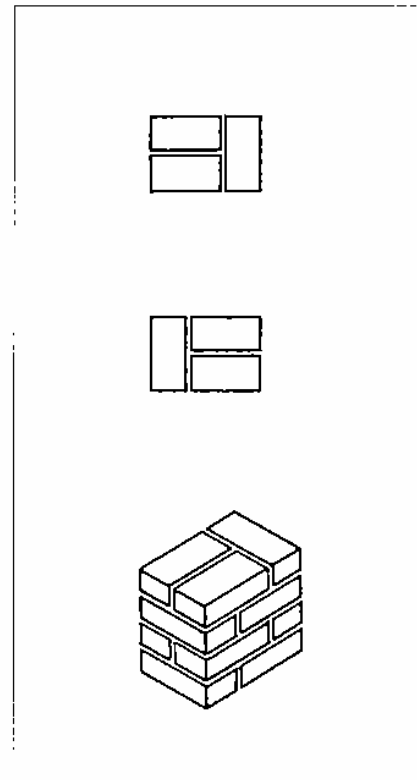
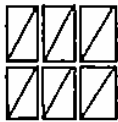


Fig. 59 b : Appareillage simple pour pilier 30 x 45 cm.



Les appareillages de piliers de grosses sections (45 x 45 cm ou 60 x 60 cm) utilisent le bloc trois quarts dans leur conception classique. Des appareillages simplifiés peuvent n'utiliser que le bloc plein.

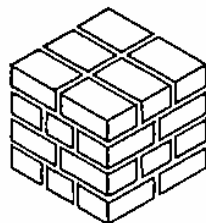
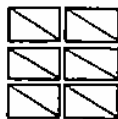


Fig. 61 a : Appareillage classique pour un pilier de 45 x 45 cm.

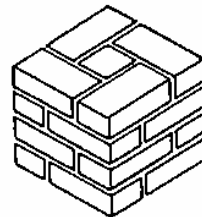


Fig. 61 b : Appareillage simplifié pour un pilier de 45 x 45 cm.

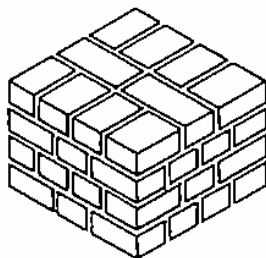
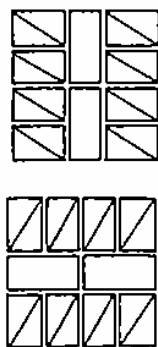


Fig. 61 c : Appareillage classique pour un pilier de 60 x 60 cm.

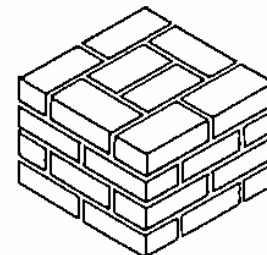


Fig. 61 d : Appareillage simplifié pour un pilier de 60 x 60 cm.



APPAREILLAGES

BLOCS AU FORMAT CARRÉ

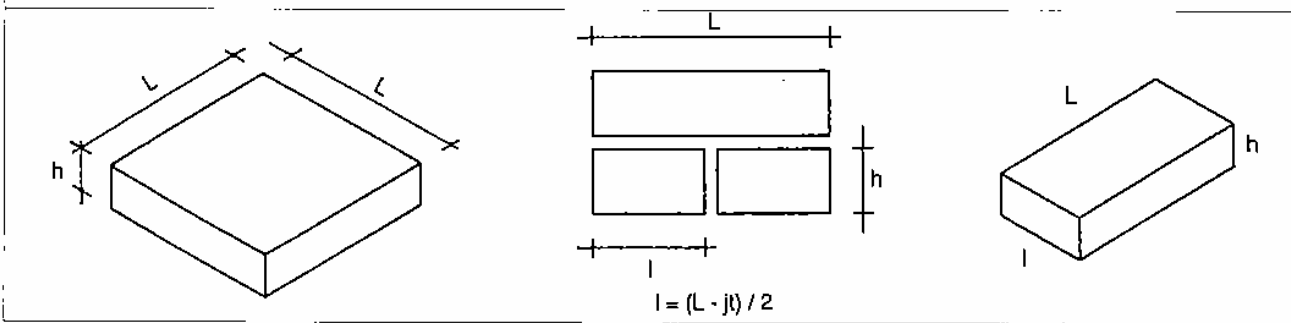


Fig. 62 : Bloc carré et son bloc demi dérivé d'une coupe médiane.

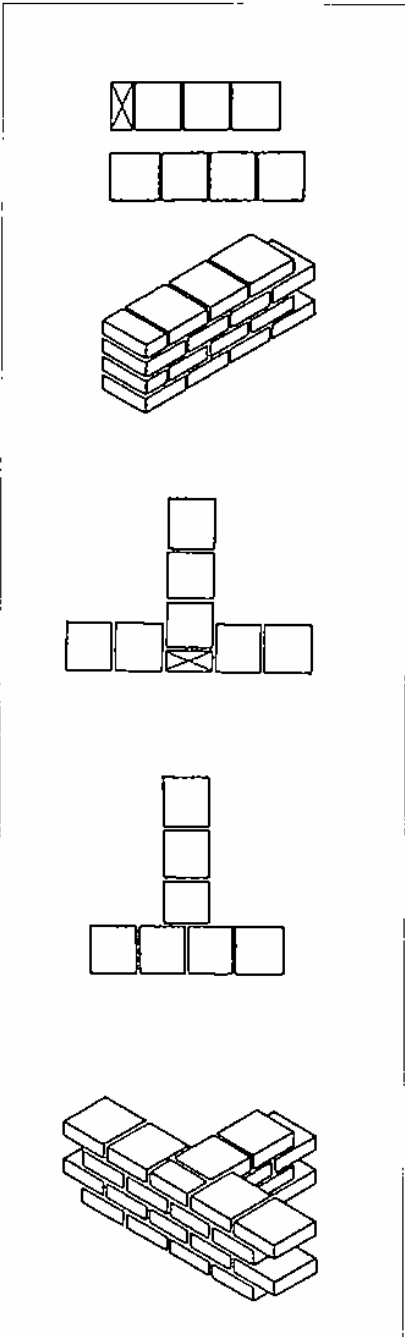


Fig. 63 a : Angle de mur.

Le bloc de terre comprimée au format carré est dérivé de la tradition de la brique d'adobe de même format qui est notamment utilisée dans les cultures constructives latino-américaines enracinées dans l'histoire pré-colombienne (Pérou, Colombie, Equateur, Bolivie). Les presses récentes proposent l'adaptation de moules au format carré. Ce format est très apprécié pour des systèmes constructifs armés. Il a été utilisé dans des opérations de construction de modèles d'habitat parasismique, au Pérou et aux Philippines, permettant d'introduire facilement des armatures verticales en bois ou en acier dans l'épaisseur des murs.

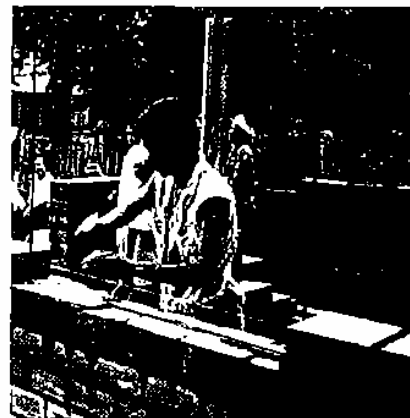


Fig. 64 : Construction parasismique, Philippines.

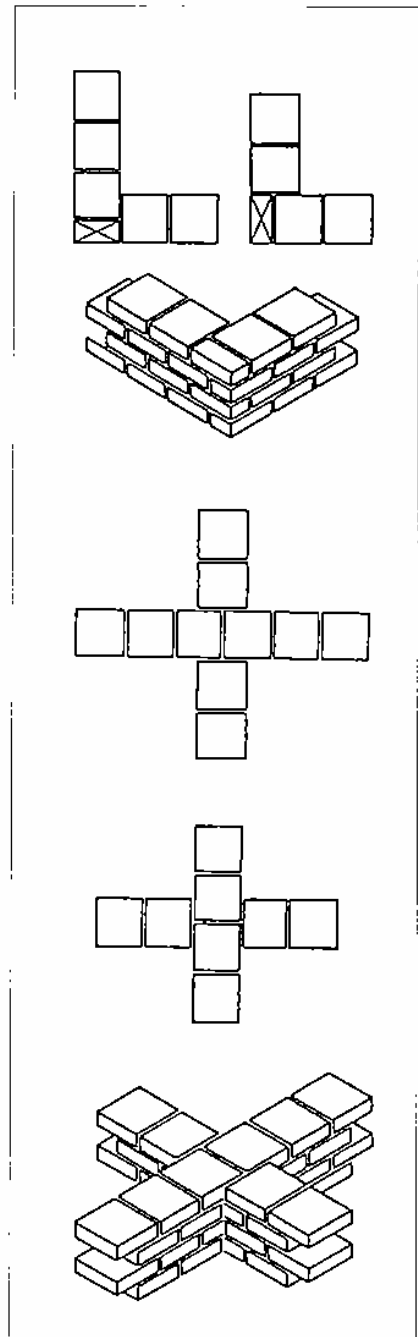


Fig. 63 b : Croisement de murs en "X".

CALEPINAGE

La construction en maçonnerie à petits éléments présente l'intérêt d'une grande souplesse d'utilisation qui résulte d'une parfaite maîtrise de l'emploi modulaire du matériau. Cette modulation associée au dimensionnement des systèmes constructifs se définit en fonction de la taille de l'élément de construction, soit du bloc de terre comprimée. Elle se définit aussi en fonction des principes d'appareillage des blocs qui sont utilisés dans l'élaboration des systèmes constructifs.

Le "calepinage" est la relation que le concepteur établit entre les dimensions du bloc de terre comprimée, le dimensionnement des systèmes constructifs et leur représentation architecturale en plan, en élévation, en coupe ou en détail. L'action de calepiner un plan d'architecture en blocs de terre comprimée est une opération indispensable lors de la réalisation des plans d'exécution des ouvrages. Elle garantit une bonne maîtrise du projet à plusieurs niveaux.

- Le calepinage permet d'effectuer une cotation précise du dessin d'exécution, en plan et en élévation, et donc de réaliser un métré quantitatif précis du projet. Un dossier d'exécution bien calepiné sera mis à profit au stade ultérieur de la production des blocs de terre comprimée pour réaliser le chantier en apportant toute précision sur la quantité nécessaire de blocs. Il garantira notamment un contrôle sur la perte qui pourrait résulter d'un excès de chutes à la découpe des blocs en précisant la quantité de blocs pleins, de blocs trois quarts ou un quart.

- Par le contrôle de l'exécution des ouvrages et de la qualité des systèmes constructifs mis en œuvre, le calepinage permet de préciser avec exactitude le dimensionnement des baies dans les murs (tableaux des portes et fenêtres), la position d'un chaînage, l'emplacement des poutres d'un plancher sur le mur, etc. Autant de précisions qui se retrouveront dans la qualité de la structure mise en œuvre.

- Sur l'esthétique du projet, en permettant une mise en valeur du matériau dans la maçonnerie du mur apparent en blocs de terre. La modulation précise, grâce au calepinage, est à la base de l'effet esthétique de toute maçonnerie en petits éléments qui résulte de la vue des séquences rythmiques dans le mur apparent.

CALEPINAGE, APPAREILLAGE, MODULATION ET DIMENSIONNEMENT

Longueur d'un mur droit : $A = \text{nombre de blocs} \times (l + jt) - jt$

Dimensions d'un mur en "L" :
 $B = \text{nombre de blocs} \times (l + jt)$

Dimensions d'un mur en "U" :
 $C = \text{nombre de blocs} \times (l + jt) + jt$

Où $x =$ nombre de blocs demis, chaque bloc entier doit être compté comme deux blocs demis.
 $l =$ longueur du bloc (ici 14 cm).
 $jt =$ épaisseur du joint

Exemple $A = 13 (14 + 1,5) - 1,5 = 200 \text{ cm}$

Pour obtenir une réponse rapide, utiliser le tableau de dimensions (fig. 66) qui donne pour résultat :

$B = 155 \text{ cm}$ $B' = 108,5 \text{ cm}$
 $C = 156,5 \text{ cm}$ $C' = 79 \text{ cm}$

Fig. 65 : Règles de calepinage pour murs droits, en "L" et en "U".

Dimensions des murs en blocs de 29,5 x 14 x 9 cm et des joints de 1,5 cm d'épaisseur

| Demi blocs | A | B | C |
|------------|-------|-------|-------|
| 1 | 14,0 | 15,5 | 17,0 |
| 2 | 29,5 | 31,0 | 32,5 |
| 3 | 45,0 | 46,5 | 48,0 |
| 4 | 60,5 | 62,0 | 63,5 |
| 5 | 76,0 | 77,5 | 79,0 |
| 6 | 91,5 | 93,0 | 94,5 |
| 7 | 107,0 | 108,5 | 110,0 |
| 8 | 122,5 | 124,0 | 125,5 |
| 9 | 138,0 | 139,5 | 141,0 |
| 10 | 153,5 | 155,0 | 156,5 |
| 11 | 169,0 | 170,5 | 172,0 |
| 12 | 184,5 | 186,0 | 187,5 |
| 13 | 200,0 | 201,5 | 203,0 |
| 14 | 215,5 | 217,0 | 218,5 |
| 15 | 231,0 | 232,5 | 234,0 |
| 16 | 246,5 | 248,0 | 248,5 |
| 17 | 262,0 | 263,5 | 265,0 |
| 18 | 277,5 | 279,0 | 280,5 |
| 19 | 293,0 | 294,5 | 296,0 |
| 20 | 308,5 | 310,0 | 311,5 |
| 21 | 324,0 | 325,5 | 327,0 |
| 22 | 339,5 | 341,0 | 342,5 |
| 23 | 355,0 | 356,5 | 358,0 |
| 24 | 370,5 | 372,0 | 373,5 |
| 25 | 386,0 | 387,5 | 389,0 |
| 26 | 401,5 | 403,0 | 404,5 |
| 27 | 417,0 | 418,5 | 420,0 |
| 28 | 432,5 | 434,0 | 435,5 |
| 29 | 448,0 | 449,5 | 451,0 |
| 30 | 463,5 | 465,0 | 466,5 |

Fig. 66 : Tableau de dimensions des murs droits, en "L" et en "U".

CALEPINAGE DU PLAN

Le calepinage des représentations géométrales du dossier d'exécution d'un ouvrage en maçonnerie de blocs de terre comprimée commence par le calepinage du plan. Celui-ci s'établit sur un dessin d'exécution soigné. L'échelle du dessin d'exécution doit être adaptée à une bonne lecture du plan. Pour cela le 1/50 (2 cm/m) est souvent préférable au 1/100 (1 cm/m).

Il est nécessaire de réaliser un calepinage "global" du plan d'exécution et non une approche fragmentaire qui pourrait apporter des confusions résultant de la mise en bout-à-bout des différents fragments de plans calepinés.

Le calepinage du plan est exécuté pour chaque assise différente de blocs de terre et généralement pour la "première" et la "deuxième" assise. Mais il apparaît parfois nécessaire de préciser le calepinage d'assises de blocs occupant une position particulière dans l'ouvrage à construire. Tel est le cas des assises de chaînage, par exemple, lorsqu'on a choisi de réaliser un coffrage perdu en blocs de terre. Tel est encore le cas d'un ouvrage qui serait élevé avec des murs de grosse épaisseur au 1^{er} niveau et des murs de moindre épaisseur au 2^e niveau. On remarquera que la modulation des ouvertures s'effectue en fonction des dimensions nominales du bloc de terre utilisé et que leur cotation s'effectue au nu intérieur des tableaux.

Les cotations du plan calepiné résultent de l'application des règles de modulation et de dimensionnement (fig. 65 et 66 p. 29).

Calepinage d'un plan à partir de l'emploi d'un bloc de terre parallélépipédique aux dimensions de 29,5 x 14 cm et pour des joints de mortier de 1,5 cm d'épaisseur. L'épaisseur des murs équivaut à 1/2 bloc.

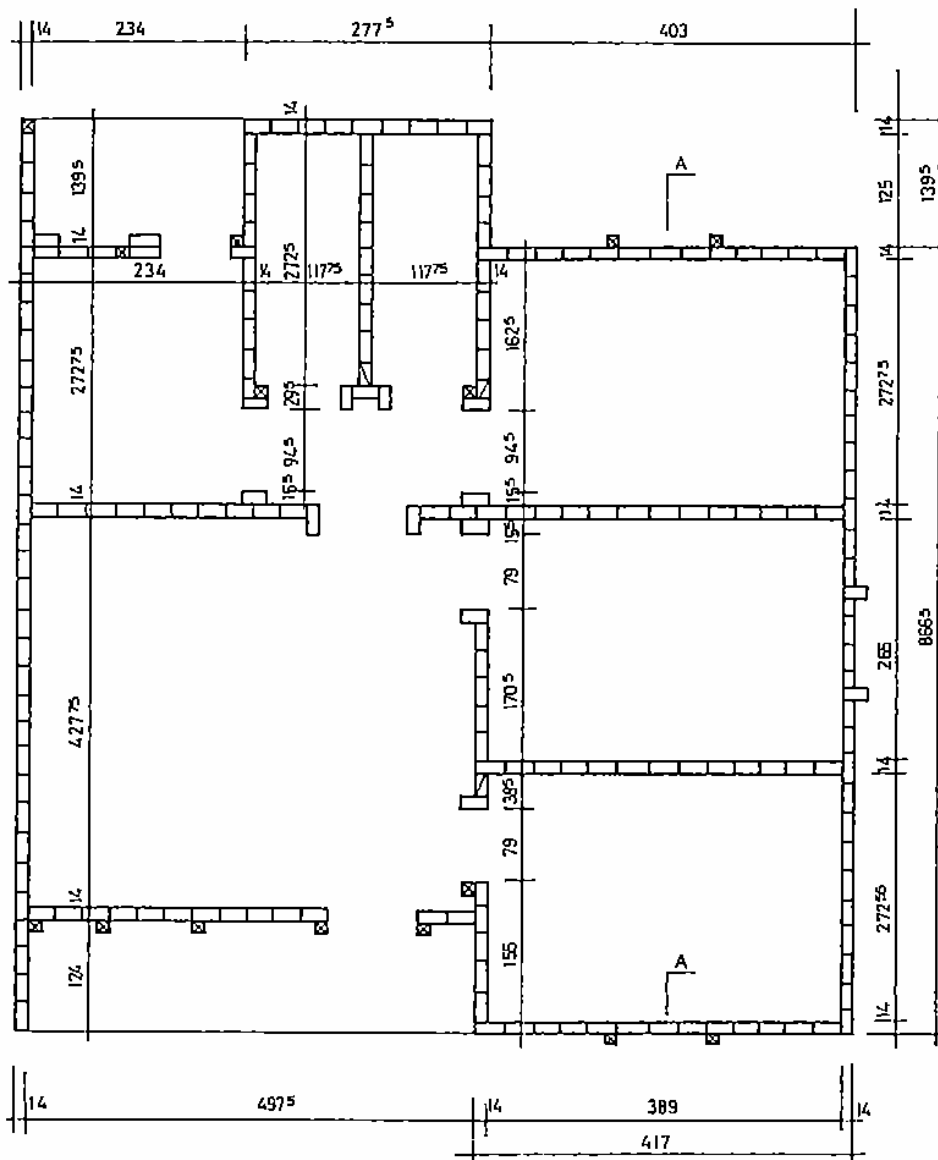
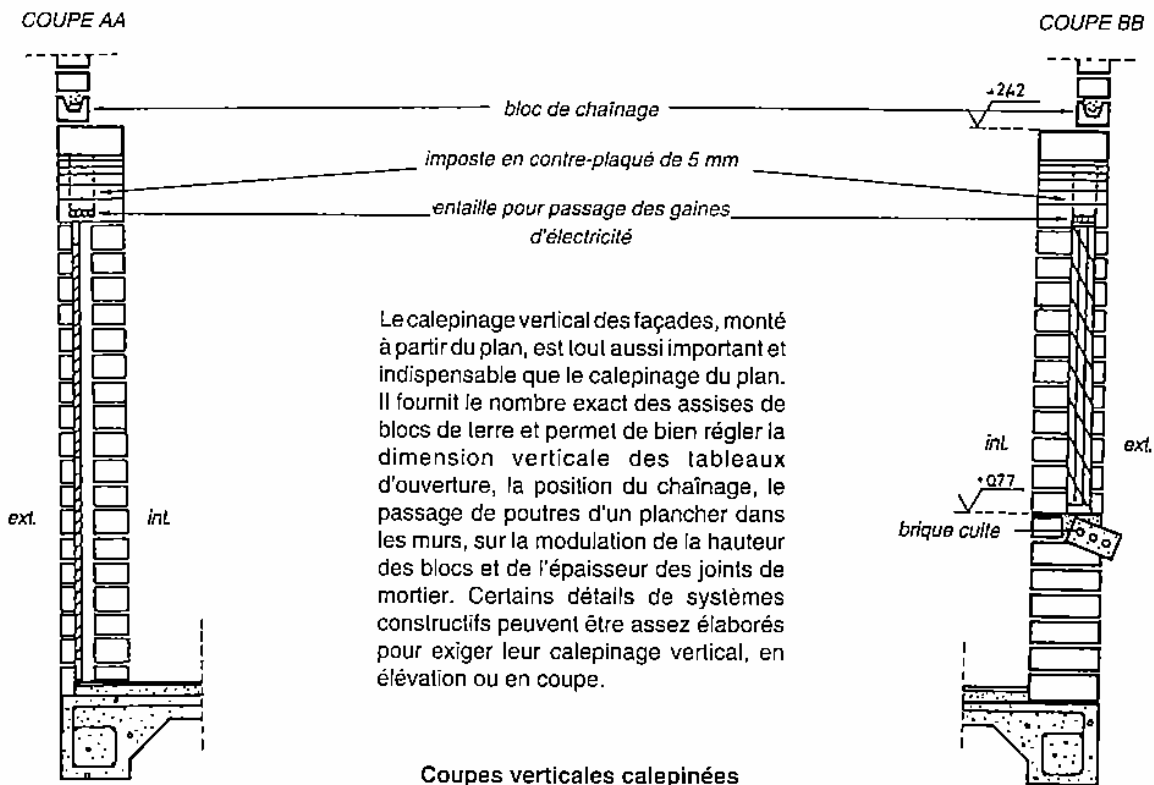
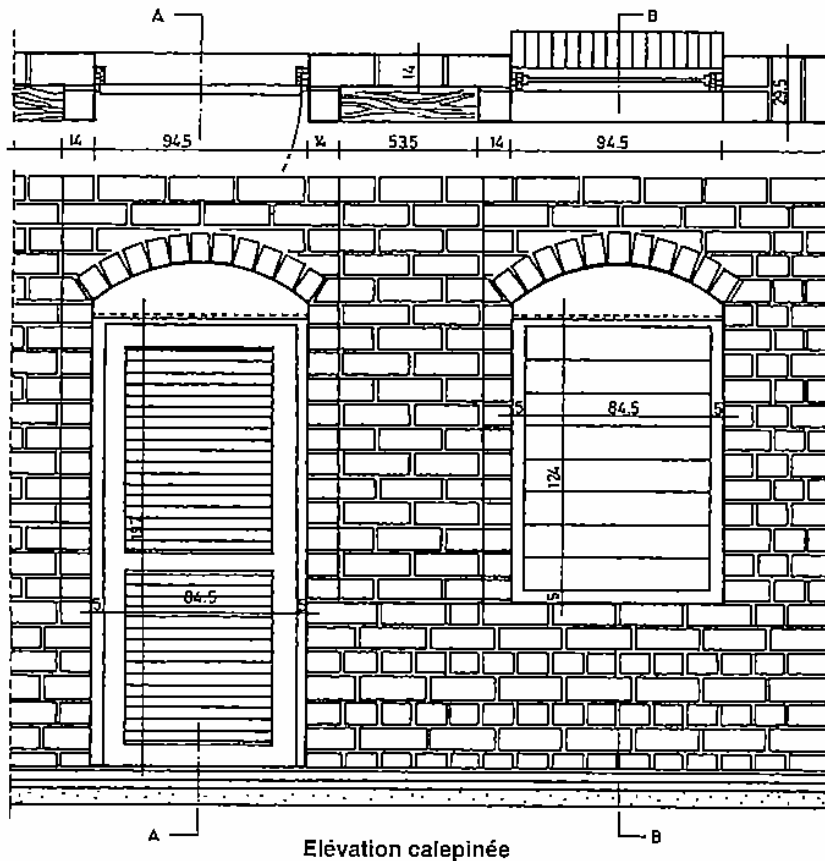


Fig. 67 : Calepinage du plan de la première assise de blocs. Vue en plan.

CALEPINAGE DES ELEVATIONS



Le calepinage vertical des façades, monté à partir du plan, est tout aussi important et indispensable que le calepinage du plan. Il fournit le nombre exact des assises de blocs de terre et permet de bien régler la dimension verticale des tableaux d'ouverture, la position du chaînage, le passage de poutres d'un plancher dans les murs, sur la modulation de la hauteur des blocs et de l'épaisseur des joints de mortier. Certains détails de systèmes constructifs peuvent être assez élaborés pour exiger leur calepinage vertical, en élévation ou en coupe.

Fig. 68 : Exemple de calepinage vertical d'une façade et de coupes verticales sur un mur avec ouvertures.



Fig. 69 : Petite maison d'association de style péruvien. "Village du Bout du Monde", Macon, France. Architectes de CRATerre et CEAA-Terre.



Fig. 70 : Petite villa de bord d'océan. Région d'Abidjan, Côte d'Ivoire. Archit. Ph. Romagnolo.

LES DISPOSITIONS CONSTRUCTIVES DU PROJET

"Savoir concevoir" et "savoir bâtir" valent mieux que "savoir blinder"

La bonne conception architecturale et la bonne mise en œuvre dépendent des connaissances et du savoir-faire des concepteurs et des bâtisseurs. C'est en renouant avec une longue tradition du "savoir concevoir" et du "savoir bâtir" en terre et en exploitant les apports récents d'une technologie actuelle que l'on peut produire une architecture de terre de grande qualité. Plusieurs dictons régionaux prennent acte de ce bon sens et de cette sagesse populaires. Tel ce dicton de la région du Devon, en Angleterre : « *All cob wants is a good hat and a good pair of shoes* » (Tout ce que souhaite une maison en terre, c'est un bon chapeau et une bonne paire de chaussures). Traduisons, une bonne toiture et un bon soubassement.

Ce "savoir architectural" et ce "savoir construire" sont hélas trop souvent éclipsés par une nouvelle démarche que l'on dénommera ici le "savoir blinder". Une tendance actuelle de la construction en terre fait en effet davantage appel à l'ingénierie, parfois très sophistiquée, en vue d'accroître la résistance à l'eau de la "terre" tout en ignorant la démarche traditionnelle éprouvée qui consiste à rendre le "bâtiment" résistant à l'eau, c'est-à-dire à intégrer pleinement le rôle central de l'architecture pour garantir la qualité, la performance, la résistance et la durabilité des constructions. Cette démarche du blindage est malheureusement très souvent un costume cache-misère qui dissimule les erreurs d'une mauvaise conception architecturale ou d'une conception qui n'est pas spécifique au matériau terre, qui emprunte maladroitement à la construction en béton ou en blocs creux de béton.

Les principaux problèmes à résoudre

Ils sont de deux natures :

- D'une part, les problèmes de structure qui obligent à respecter les principes de bonne résistance en compression et, *a contrario*, de faible résistance à la traction et au cisaillement du matériau terre. Le respect de ces principes renvoie le concepteur au choix de concepts de structure et de détails de construction appropriés.
- D'autre part, les problèmes d'eau et d'humidité résultant de ce que l'on nomme le "système de la goutte d'eau" : érosion, ruissellement, rejaillissement, infiltration, absorption. Ces problèmes renvoient le concepteur au respect de quelques principes fondamentaux : protéger le haut et le bas des murs ("bon chapeau et bonnes chaussures"), laisser le matériau terre respirer et concevoir des détails appropriés pour l'ensemble des dispositions constructives.

EXEMPLES DE PROBLEMES DE STRUCTURE

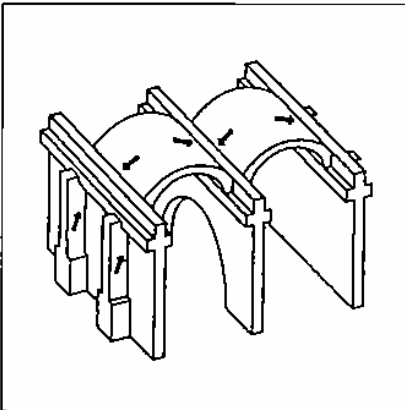


Fig. 71 : Reprendre la poussée des voûtes.

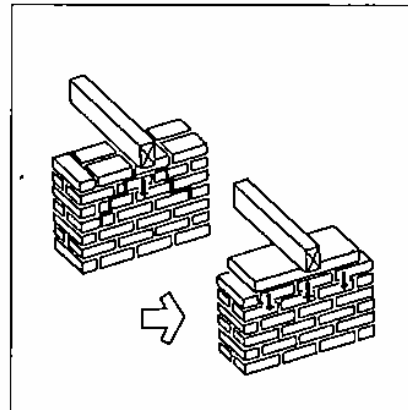


Fig. 72 : Répartir la charge des planchers sur le mur.

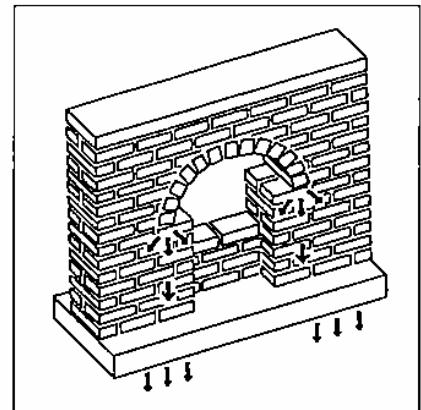


Fig. 73 : Reprendre la poussée des arcs.

EXEMPLES DE PROBLEMES D'HUMIDITE

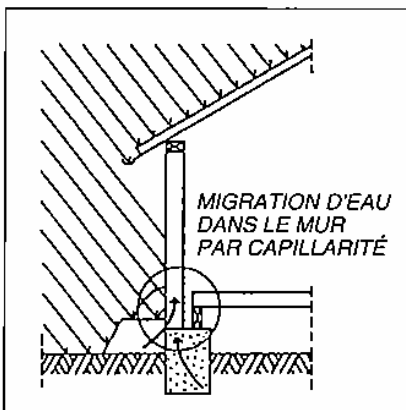


Fig. 74 : Problème d'humidité à la base des murs.

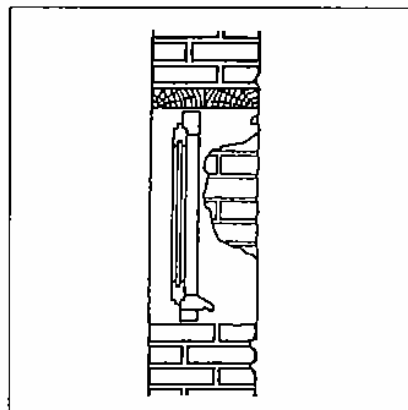


Fig. 75 : Problème d'humidité au niveau des ouvertures.

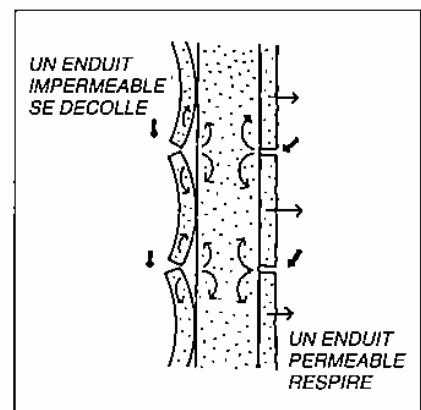


Fig. 76 : Respiration des murs.

TYOLOGIE DES MURS

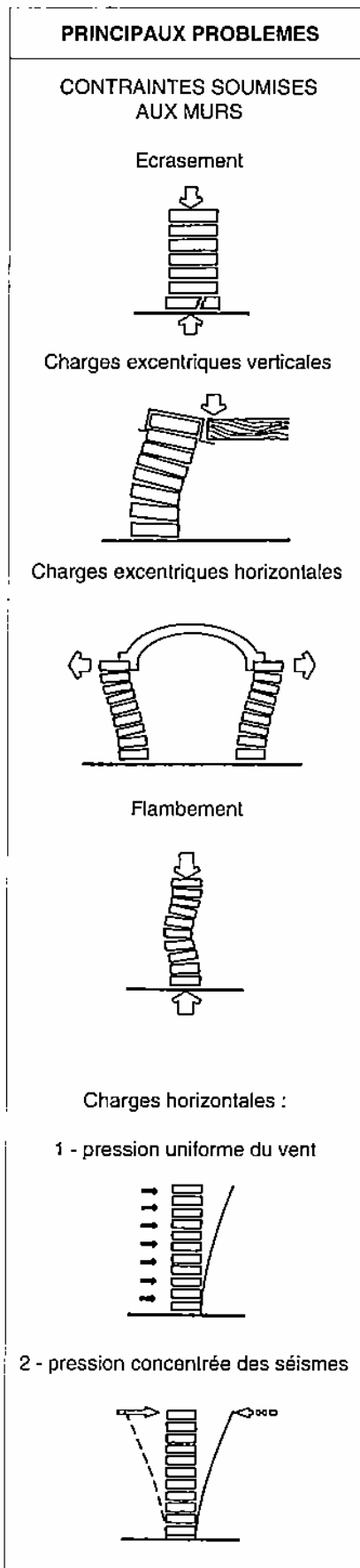


Fig. 77 : Cinq grands problèmes.

La maçonnerie en blocs de terre comprimée permet de réaliser soit des murs porteurs, minces ou épais, soit des murs non porteurs telles que cloisons de séparation des espaces à l'intérieur d'un bâtiment. Cette typologie simple offre une grande souplesse d'utilisation architecturale.

Principaux problèmes

Pour l'ensemble des systèmes de murs en maçonnerie les principaux problèmes résultent d'une typologie de contraintes qui leur sont appliquées.

- L'écrasement : sous l'effet du poids propre du mur ou d'une charge concentrée verticale.

- Les charges excentriques verticales résultant d'un effort en traction (rotation aux planchers, par exemple).

- Les charges excentriques horizontales résultant de la poussée d'une voûte sur les murs par exemple.

- Le flambement résultant de l'effet cumulé d'une contrainte de charge et d'un tassement dans un mur trop mince et trop élancé, par exemple.

- Les charges horizontales. Elles sont de deux types. D'une part la pression uniforme des vents sur les murs, d'autre part la pression concentrée des séismes (fortes contraintes de tension, en flexion).

Solutions

Pour les murs non porteurs, la maçonnerie de remplissage (d'une ossature en béton ou d'un colombage en bois) limite le risque d'écrasement.

Pour les murs porteurs, il existe plusieurs solutions qui permettent de réduire les contraintes de charges excentriques, de flambement ou de charges horizontales.

On peut en effet :

- jouer sur l'épaisseur des murs ;
- améliorer la stabilité des murs minces par des contreforts ;
- améliorer la stabilité des murs minces par des chaînages ;
- réaliser des maçonneries armées, horizontalement et verticalement (systèmes parasismiques).

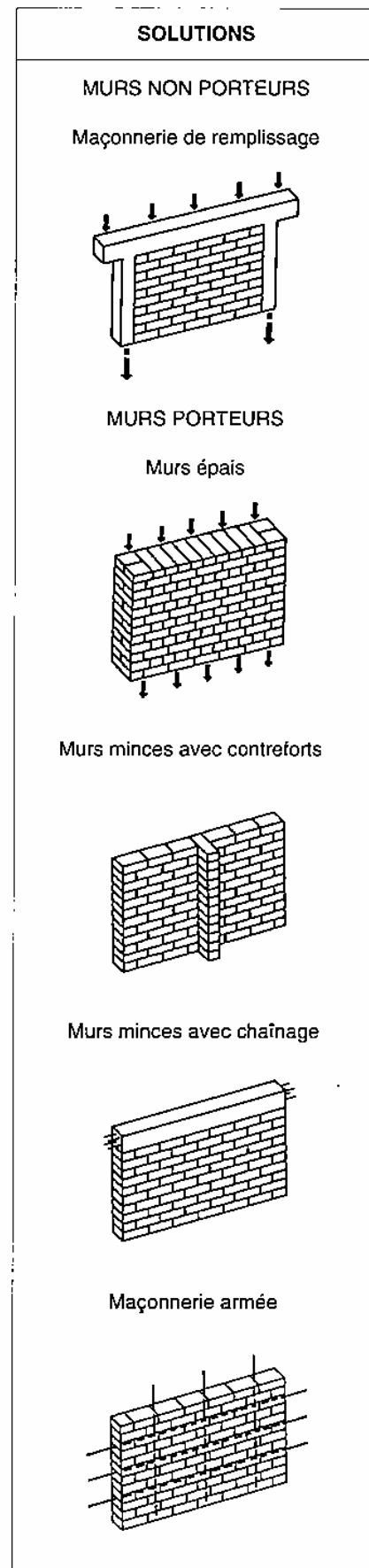


Fig. 78 : Cinq bonnes solutions.

TYOLOGIE DE STRUCTURES

Cinq règles de l'art essentielles

La construction en blocs de terre comprimée, au-delà des spécificités propres à toutes techniques de maçonnerie en petits éléments, renvoie directement le concepteur des ouvrages et le bâtisseur aux règles de l'art de concevoir et de bâtir en terre.

Ces règles de l'art essentielles peuvent être résumées en cinq points :

- Connaître le matériau, ses caractéristiques physiques, ses propriétés et ses performances mécaniques.
- Connaître les particularités de la technique de construction en terre employée, son outillage adapté et ses modes de mise en œuvre spécifiques.
- Adopter des systèmes constructifs simples et compatibles avec les modes de travail du matériau : bonne résistance à la compression, faible résistance à la traction, flexion et cisaillement.
- Adopter des principes de conception, des solutions constructives propres aux architectures de terre en veillant à protéger les parties de l'édifice exposées aux agents dominants de dégradation (l'eau, par exemple).
- La nécessité de soigner l'exécution des ouvrages.

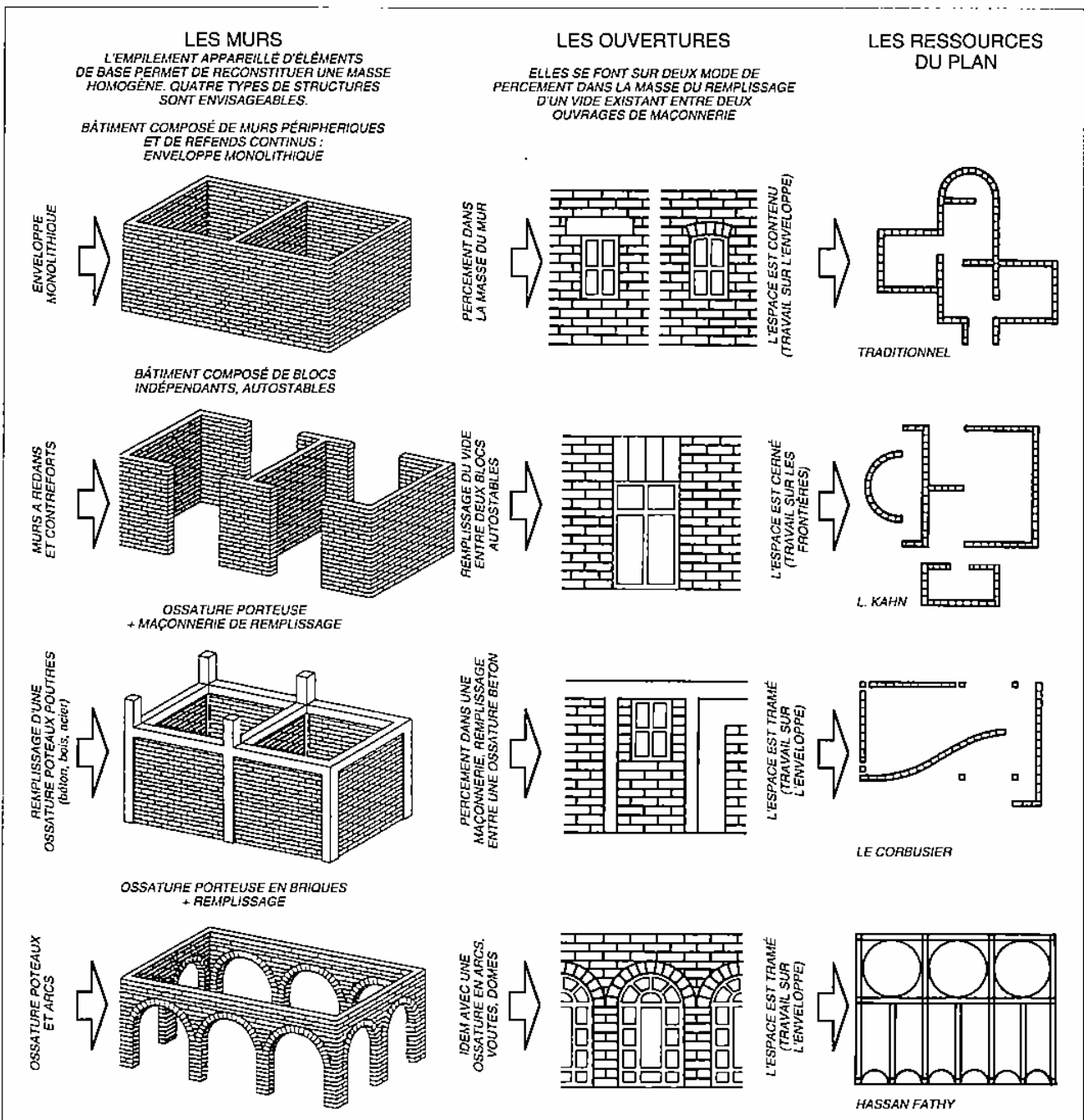


Fig. 79 : Tableau de correspondance entre les principes de structure, types de murs, d'ouvertures et les ressources architecturales du plan.

FONDATEMENTS ET SOUBASSEMENT

Deux types de problèmes

Les fondations et le soubassement d'un ouvrage en BTC doivent être particulièrement soignés et doivent mettre le bâtiment à l'abri de deux principaux types de problèmes :

- les problèmes de structure,
- les problèmes liés à l'humidité.

En effet, les ouvrages bâtis en blocs de terre comprimée, par la nature du matériau terre, sont exposés à des risques de pathologie structurale ou d'humidité pouvant causer des dégradations très graves. Il convient donc d'être particulièrement vigilant quant au respect des règles de l'art et des codes de bonne pratique spécifiques à la construction en terre. Mais les problèmes ne sont pas pour autant uniquement tributaires de la nature du matériau et peuvent provenir de causes extérieures - tassement différentiel, glissement de terrain, catastrophes naturelles telles que séismes, inondations - qui solliciteront d'autant plus les ouvrages s'ils sont mal conçus ou mal réalisés.

Le choix d'un système de fondations et soubassement

Il dépend de la nature du sol sur lequel l'ouvrage va être construit et du type de structure que l'on prévoit de réaliser. Il y a risque de pathologie structurale lorsque les ouvrages sont bâtis sur des terrains instables ou peu résistants. Ce risque peut être accru par le fait d'une mauvaise conception (sous-dimensionnement ou manque de résistance par exemple) ou d'une mauvaise construction des fondations (position excentrée par rapport aux descentes de charge par exemple). Sur des terrains mal drainés, l'humidité peut accroître les risques de pathologie structurale car elle peut considérablement affaiblir la cohésion du matériau, sa résistance et donc celle du mur.

Les problèmes évoqués ne doivent pas pour autant conduire à surdimensionner les fondations et le soubassement, ni à faire un emploi trop abondant de béton armé. Le choix d'un système de fondations et de soubassement doit être avant tout adapté au type de sol, au type de bâtiment construit (édifice privé ou recevant du public), à la nature des charges et surcharges admissibles, aux contraintes climatiques de l'environnement (pluie, neige, vent, etc.), aux dispositions constructives de l'ouvrage (types de murs, épaisseur des murs, présence d'une cave, d'un vide sanitaire, etc.).

Le tableau de la fig. 81 propose des concepts de structure de fondations et de soubassement selon la nature des systèmes de murs et des sols.





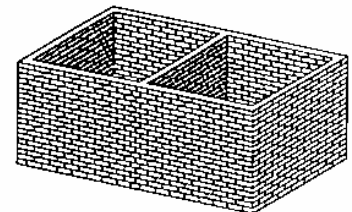
| | |
|---|---|
|  | Blocs de terre comprimée. |
|  | Matériaux résistant à l'érosion, par exemple, BTC stabilisé à 8 %, briques cuites, agglos de ciment, béton cyclopéen, béton de graves. |
|  | Matériaux résistant à l'érosion et à haute résistance à la compression associés à une maçonnerie bien exécutée surtout pour les joints de mortier verticaux. Mêmes matériaux que précédemment mais de haute qualité. Les agglos creux de ciment sont à proscrire. |
|  | Béton armé. |

Fig. 80 : Légendes graphiques de la figure 81.

TYPOLOGIE DES MURS ET TYPES DE FONDATIONS ET SOUBASSEMENT

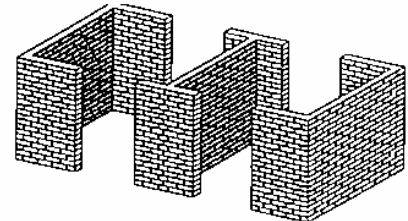
L'ENVELOPPE MONOLITHIQUE

LE BÂTIMENT EST COMPOSÉ DE MURS PÉRIPHÉRIQUES ET DE REFENDS CONTINUS QUI FORMENT UNE ENVELOPPE MONOLITHIQUE



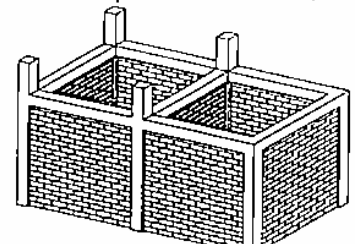
LE MURS A REDANS ET CONTREFORTS

LE BÂTIMENT EST COMPOSÉ DE BLOCS INDÉPENDANTS AUTOSTABLES



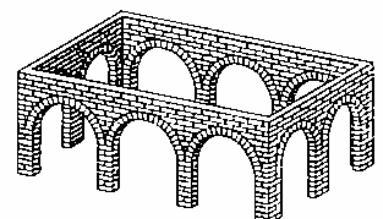
REMPLISSAGE D'UNE OSSATURE POTEAUX POUTRES (béton, acier, bois)

OSSATURE PORTEUSE + MAÇONNERIE DE REMPLISSAGE



OSSATURE PILIERS ET ARCS

OSSATURE PORTEUSE EN BLOCS + REMPLISSAGE



CONCEPTS DE STRUCTURE

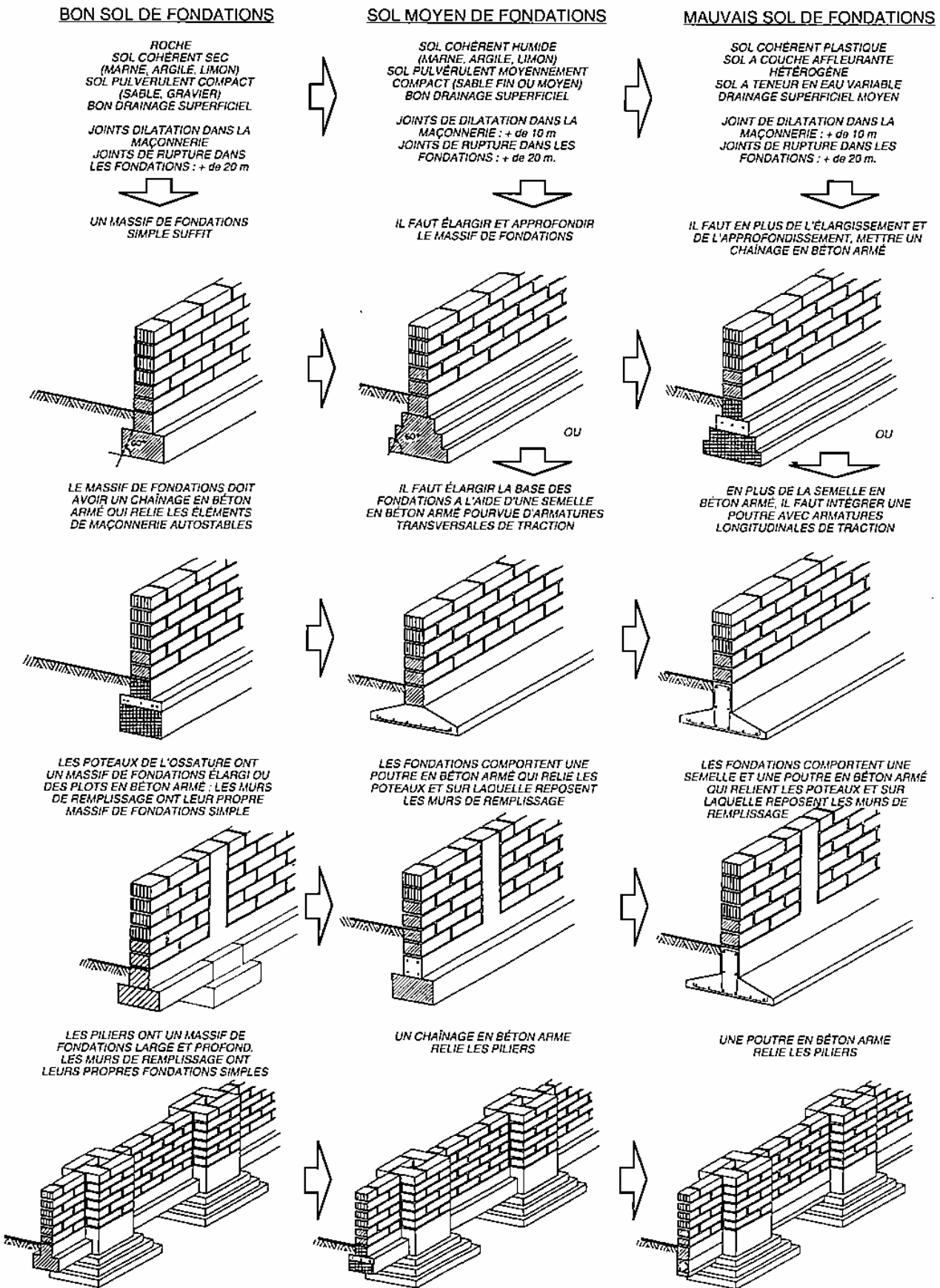


Fig. 81 : Tableau récapitulatif des concepts de structure selon les types de murs et la nature des sols de fondations.

FONDATEMENTS ET SOUBASSEMENT

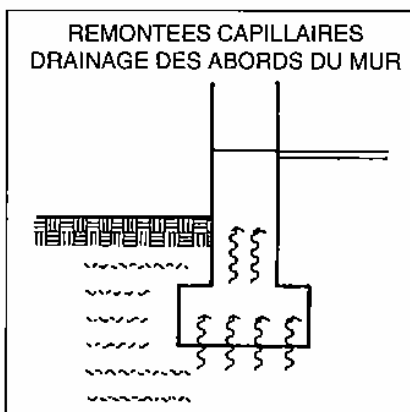


Fig. 82 : Pathologie d'humidité prolongée.

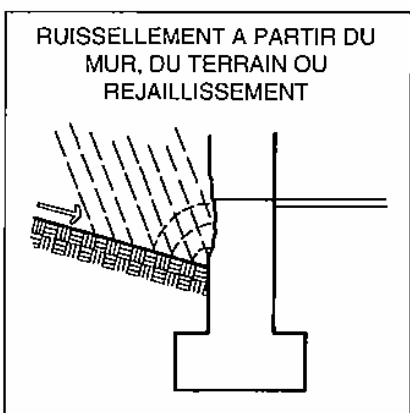


Fig. 83 : Pathologie d'humidité : minage de la base.

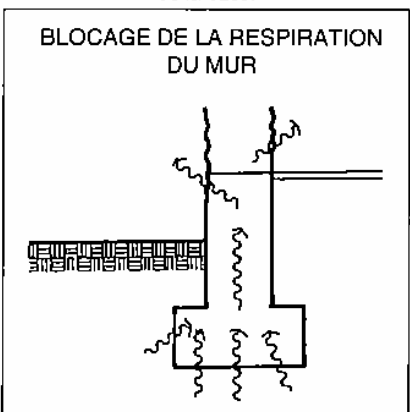


Fig. 84 : Pathologie d'humidité : excès d'étanchéité.

L'eau et l'humidité : un risque à ne pas sous-estimer

Les ouvrages bâtis en terre, que ce soit en blocs de terre comprimée ou en d'autres matériaux de construction en terre, demeurent particulièrement sensibles à l'eau. Le concepteur d'ouvrages en terre doit bien considérer ce risque et ne pas sous-estimer son importance. Il doit prendre des mesures appropriées en vue de l'éradiquer. Il est impératif d'éloigner l'humidité, particulièrement de la base des murs, au niveau des fondations et du soubassement.

Problèmes aux fondations

A la base des murs, depuis les fondations, le risque de remontée capillaire peut avoir plusieurs origines : fluctuations saisonnières de la nappe phréatique, rétention d'eau par une végétation herbacée ou arbustive trop proche des murs, détérioration de réseaux d'adduction d'eau potable ou d'évacuation des eaux usées, absence de drainage ou drainage défectueux, stagnation de l'eau au pied des murs. L'état durable d'humidité peut affaiblir la base des murs en terre, notamment lorsque le matériau perd sa cohésion, passant de l'état solide à l'état plastique. La base des murs risque alors de ne plus pouvoir supporter les charges et il y a risque d'effondrement. L'humidité favorise le développement d'efflorescences salines qui attaquent le matériau, entraînent le creusement de cavités où peut alors nicher une petite faune (insectes, rongeurs...) qui peut aggraver un processus de minage des murs déjà engagé.

Problèmes au soubassement

Au-dessus du terrain naturel, la base des murs peut être attaquée par l'eau. Cela peut être dû au rejaillissement de gargouilles, de chéneaux détériorés ou mal conçus, par la projection de flaques au passage de véhicules, par le lavage intérieur des sols, par la condensation matinale (rosée), par un ruissellement de caniveau trop proche du mur, par une imperméabilisation de surface (trottoir en ciment) qui bloque l'évaporation du sol, par un enduit imperméable qui facilite un point de rosée entre le mur et l'enduit ou bien par le développement d'une flore parasite (mousses) et d'efflorescences salines.

Ces problèmes sont connus et tout à fait solubles. Le concepteur averti ne doit pas pour autant adopter une démarche de "blindage" du bâtiment qui pourrait non seulement être très coûteuse mais être génératrice des pathologies que l'on veut éviter, par excès d'étanchéité. Le bâtiment doit avant tout respirer. L'attitude correcte est de résoudre les problèmes en attaquant leurs sources et non leurs effets. Les solutions appropriées ne peuvent être développées que sur une bonne connaissance des types de contraintes que l'on va préciser.

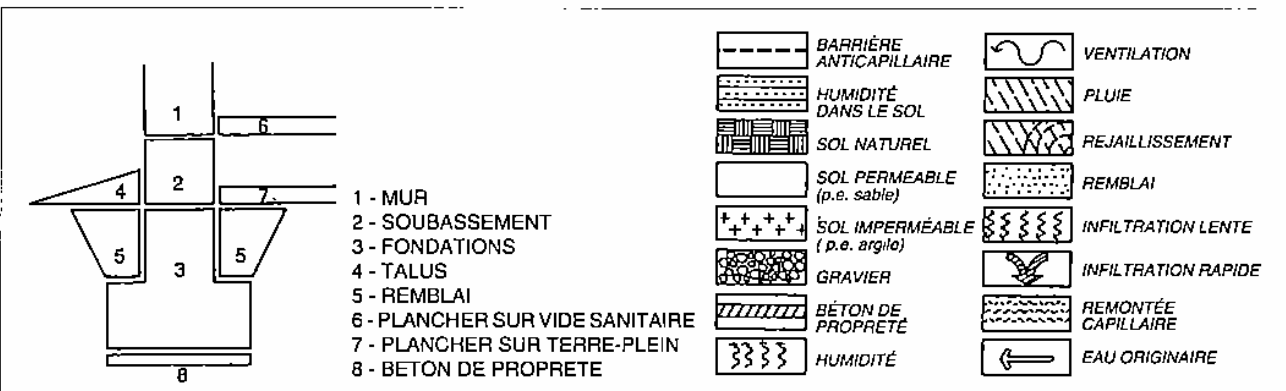


Fig. 85 : Légende des figures 82 à 93.

CONTRAINTES D'HUMIDITE

Infiltration sans accumulation

Cette contrainte d'humidité est très classique dans le cas où les fondations sont bâties sur un terrain perméable de composition géotechnique dominante en sables et/ou graviers. Ce type de terrain garantit un bon drainage des abords de l'ouvrage. Lorsqu'il pleut, l'eau s'infiltrate rapidement depuis la surface vers le sous-sol. Cette eau d'infiltration n'a donc pas la possibilité de s'accumuler et de demeurer en contact avec les fondations. Il ne peut alors y avoir de risque de remontées capillaires suffisamment important pour atteindre le mur et provoquer des dégradations.

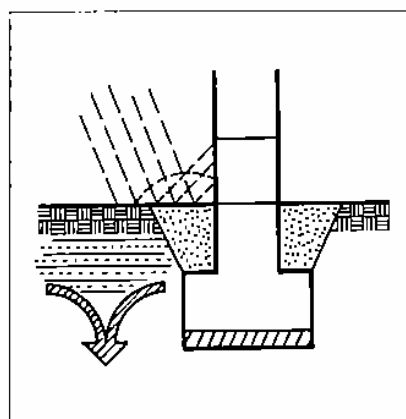


Fig. 86 : Infiltration sans accumulation.

Infiltration avec accumulation temporaire

Cette contrainte est fréquente dans des sols cohésifs du type argileux ou silteux. Si l'ouvrage des fondations est accompagné d'un bon drainage superficiel comme le montre schématiquement la fig. 87, sous forme d'un talus en pente qui éloigne l'eau du bâtiment, la contrainte d'humidité peut être moins influente. Dans une terre cohésive, l'eau pénètre moins rapidement de la surface vers le sous-sol et vers le remblai. Celui-ci, lorsqu'il est constitué d'un matériau perméable (ex. : sable graveleux) n'accumulera de l'eau que temporairement, mais cette eau aura des difficultés à disparaître du sol cohésif adjacent. Malgré tout, ce phénomène d'accumulation temporaire peut être à l'origine d'une succion de l'eau par les fondations, pendant une courte durée.

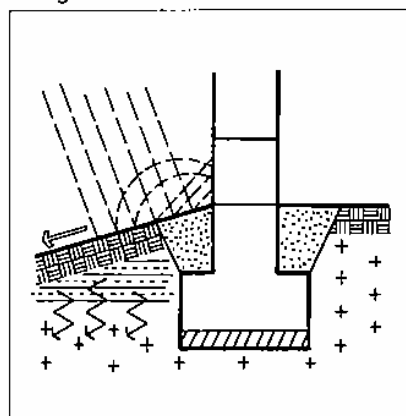


Fig. 87 : Accumulation temporaire.

Infiltration avec accumulation prolongée

Cette contrainte d'humidité peut être appliquée à tous les types de sol dont le drainage superficiel est mal assuré, même dans le cas d'un sol perméable, sableux et/ou graveleux lorsqu'on est en présence d'un talus à contre pente vers le bâtiment (situation qu'il faut éviter à tout prix). Dans ce cas, le remblai fonctionne comme un capteur et un accumulateur d'eau qui va rester en contact prolongé avec les fondations. Des remontées capillaires s'ensuivent qui peuvent être importantes lors de la saison des pluies. Ces remontées capillaires, selon la conception de l'ouvrage, peuvent même gagner le soubassement et la base des murs. Des dégradations importantes peuvent apparaître.

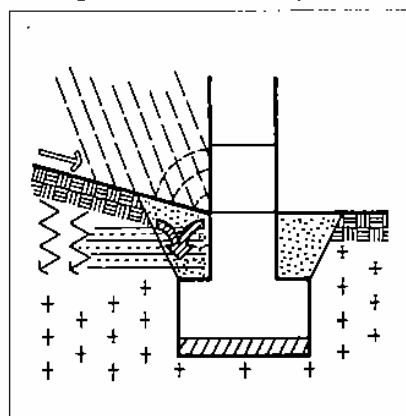


Fig. 88 : Accumulation prolongée.

Remontées capillaires avec ou sans Infiltration

La contrainte d'humidité la plus sévère se présente lorsque l'ouvrage est en contact ou dans le voisinage proche d'une nappe phréatique. Lorsque les fondations sont directement en contact avec cette nappe d'eau, le phénomène de capillarité fonctionne en permanence. Ce phénomène est d'autant plus sensible lorsque le sol est cohésif car celui-ci, venant à saturation d'eau maintient un état permanent d'humidité. Dans un sol perméable, si le niveau de la nappe phréatique reste en permanence sous le niveau des fondations, le risque est moins grand mais il demeure. L'exposition permanente des fondations à la contrainte de remontées capillaires présente un gros risque de dégradation de la base de l'ouvrage.

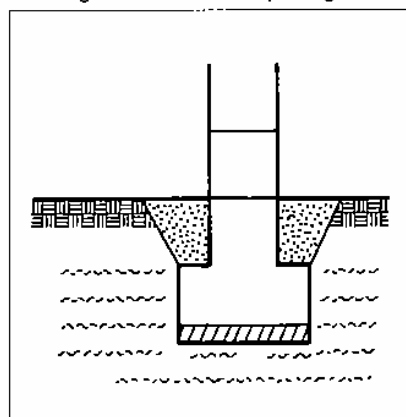


Fig. 89 : Remontées capillaires.

FONDATIONS, SOUBASSEMENTS ET HUMIDITE

Infiltration sans accumulation

Puisque l'eau disparaît très vite dans le sous-sol, il suffit d'évacuer le plus vite possible le peu d'eau résiduelle qui pénètre vers les fondations. Dans ce cas, les fondations et le soubassement peuvent être soumis à cette faible contrainte de capillarité résultant de l'infiltration mais ils doivent impérativement pouvoir résister aux contraintes de ruissellement et/ou de rejaillissement qui agissent à la base de l'ouvrage, en surface. L'emploi de matériaux tels que la pierre, la brique cuite ou l'aggloméré de sable-ciment enduit peuvent pallier cette contrainte. On peut limiter la réalisation d'un enduit au parement intérieur du soubassement de façon à laisser une voie possible à l'évaporation vers l'extérieur et éviter toutes traces d'humidité côté intérieur. Il n'est pas nécessaire d'utiliser des matériaux imperméables en fondations ni de mettre en œuvre un système de drainage.

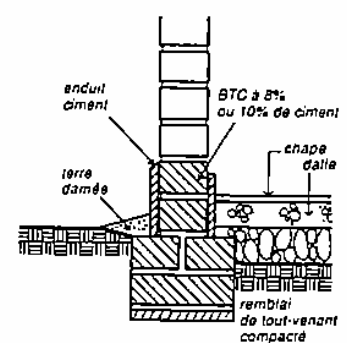
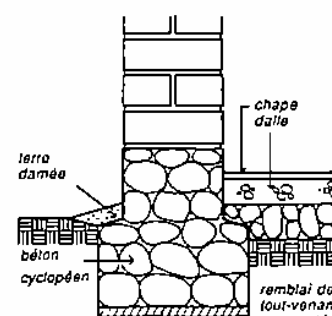
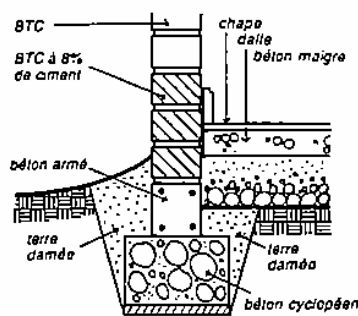
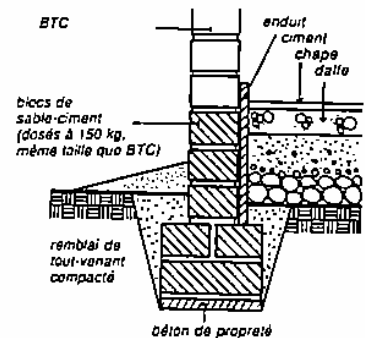


Fig. 90 : Plusieurs exemples de traitement de la contrainte d'humidité résultant d'une infiltration sans accumulation.

Infiltration avec accumulation temporaire

Puisque, dans ce cas, le sol cohésif absorbe l'eau, un bon drainage de surface s'impose, de façon à évacuer l'eau du voisinage du bâtiment. Un trottoir ou un talus peuvent suffire mais on veillera à ne pas les rendre imperméables aux migrations d'humidité ou de vapeur d'eau. C'est malheureusement souvent le cas lorsqu'on croit bien faire en réalisant un trottoir en béton surdosé. En effet, même le peu d'eau qui demeure au niveau des fondations ne peut s'échapper, bloqué par le revêtement imperméable ; il prend alors naturellement la voie du soubassement et du bas du mur. Il est inutile de prévoir un enduit imperméable ou même du bitume sur la face verticale des fondations, ni de réaliser des fondations imperméabilisées ou un drainage en profondeur car l'accumulation d'eau n'est que temporaire. L'ouvrage doit respirer.

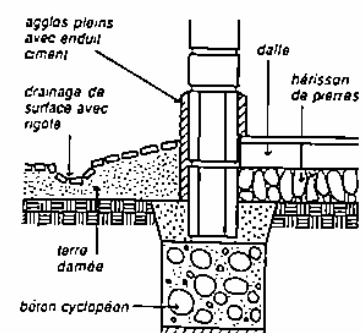
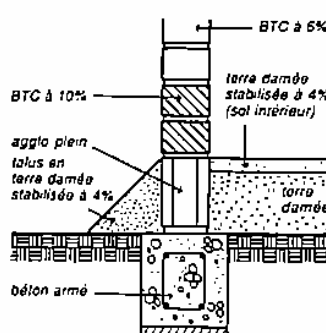
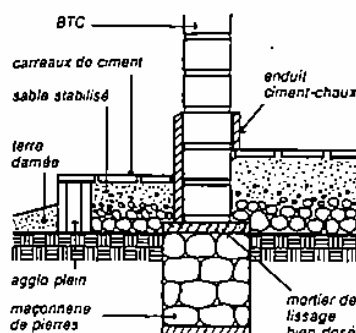
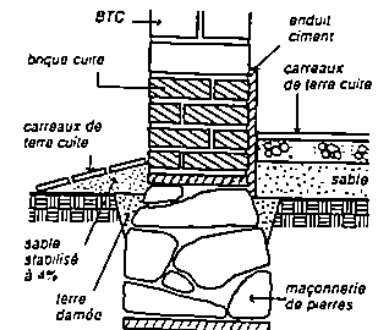


Fig. 91 : Plusieurs exemples de traitement de l'humidité résultant d'une infiltration avec accumulation temporaire.

EXEMPLES DE SOLUTIONS

Infiltration avec accumulation prolongée

En présence d'un risque d'infiltration d'eau prolongée, il convient d'intercepter cette eau avant qu'elle ne pénètre dans le sous-sol et de l'évacuer le plus rapidement possible. Le principe du drain convient parfaitement. Les drains peuvent être réalisés directement contre les fondations mais il faut alors enduire ou imperméabiliser le parement vertical extérieur des fondations. Ils peuvent aussi être mis en œuvre à un mètre des fondations mais à condition d'être plus profonds que celles-ci. Ces drains éloignés du mur sont plus efficaces s'ils sont accompagnés de talus d'évacuation à la base des murs et si la couche superficielle du drainage est en forme de cuvette d'évacuation. Il est également judicieux de placer une barrière anticapillaire horizontale (polyane, bitume ou mortier fortement dosé) entre le soubassement et le mur de blocs de terre.

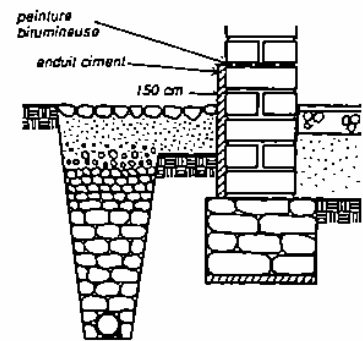
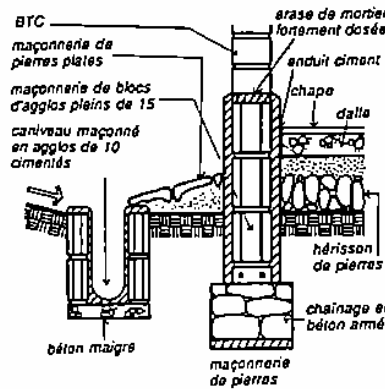
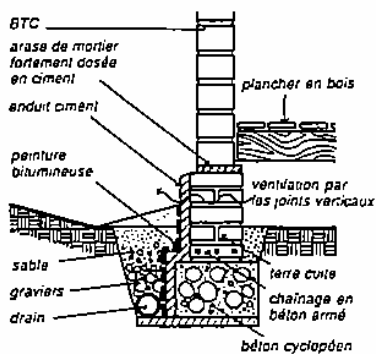
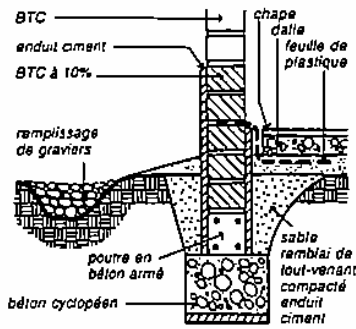


Fig. : 92 : Plusieurs exemples de traitement de la contrainte d'humidité résultant d'une infiltration avec accumulation prolongée.

Remontées capillaires permanentes

L'origine de l'humidité est permanente et provient de chaque côté des fondations en contact avec la nappe phréatique. Du côté extérieur, cette humidité provient de l'effet cumulé de la pluie et de remontées capillaires. Du côté intérieur, de remontées capillaires. Il faut prévoir des drains contre les fondations (qui doivent être résistantes à l'eau) et même sous le pavement du sol en rez-de-chaussée si celui-ci est directement mis en œuvre sur le terre-plein. Les drainages éloignés sont à déconseiller. Il faut aussi des barrières étanches horizontales entre le soubassement et le mur de blocs de terre. Le pavement de sol sur terre-plein peut être dressé sur un film étanche, lui-même déroulé sur un hérissou de pierres et de graviers roulés qui fonctionne comme une barrière anticapillaire. Il est préférable de remanier au préalable le terre-plein de l'assiette du bâtiment et de s'assurer de l'existence de matériaux perméables (terre sablo-graveleuse). Si le sol du bâtiment est construit sur un vide sanitaire, celui-ci doit être ventilé.

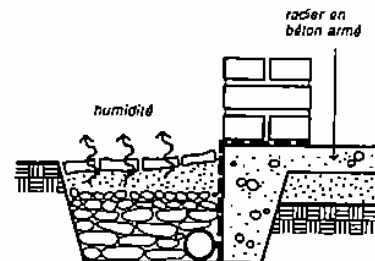
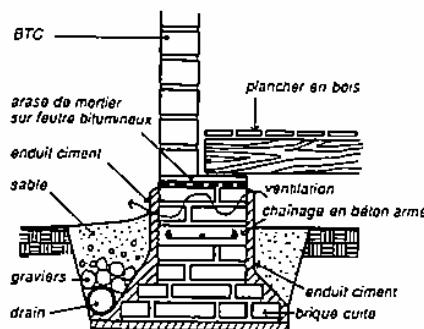
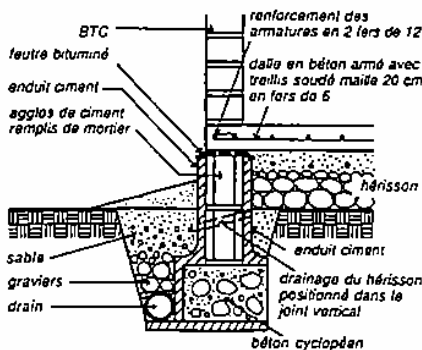
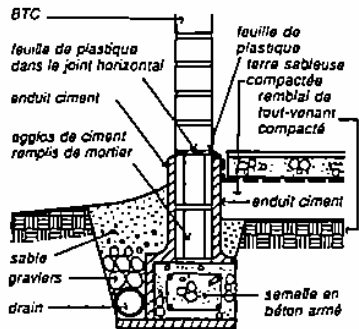


Fig. 93 : Plusieurs exemples de traitement de la contrainte d'humidité résultant de remontées capillaires permanentes.

FONDATEMENTS ET SOUBASSEMENTS

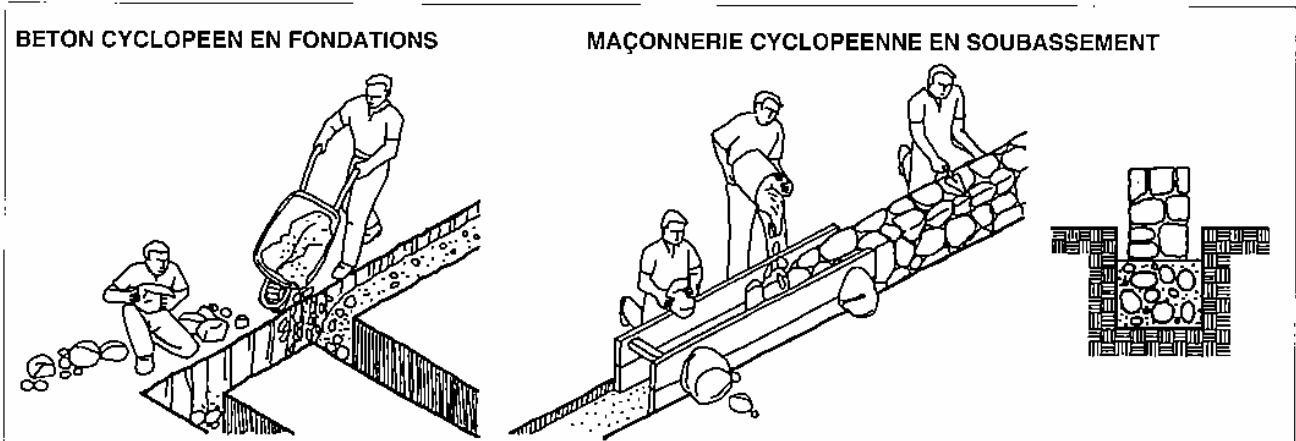


Fig. 94 : L'emploi du béton cyclopaéen pour les fondations et le soubassement est une solution intéressante au plan technique et économique.

Choix des matériaux et spécifications

Lorsque qu'on réalise des fondations en fouilles, la première chose est de les creuser le plus régulièrement et proprement possible. Il s'agit, d'une part, d'aller chercher le bon sol, dans la mesure du possible, sans profondeur excessive (surcoût) et de réaliser des parements de fouilles bien dressés. Les principes traditionnels d'implantation d'un bâtiment à partir de chaises en bois et de cordeaux sont très utiles pour garantir un bon tracé des fouilles de fondations.

Il faut, d'autre part, éviter que les fouilles creusées soient trop longtemps exposées aux intempéries. Il est pour cela recommandé de réaliser, en fond de fouilles, un béton de propreté sur une épaisseur de 4 à 5 cm et dosé à 150 kg/m³. Ce béton de propreté permettra en outre de bien démarrer le dressage de la maçonnerie des fondations. Sur ce béton de propreté, les massifs de fondations peuvent être bâtis en pierres, en briques cuites, en agglos de sable-ciment pleins, en béton ou en béton cyclopaéen, exceptionnellement en blocs de terre comprimée stabilisée à environ 10% si les contraintes d'humidité sont très faibles. Le soubassement peut être également dressé en pierres, briques cuites, agglos de sable-ciment avec enduit, en maçonnerie de béton cyclopaéen ou en blocs de terre comprimée stabilisée à 8 % si la contrainte d'humidité par rejaillissement n'est pas trop importante. Si les fondations sont dressées en béton, il sera dosé à 200 kg/m³, s'il contient des armatures, à 250 kg/m³ et s'il s'agit d'une semelle ou longrine en béton armé, il sera dosé à 300 kg/m³. Dans ce dernier cas, la quantité d'acier peut être estimée entre 50 à 70 kg/m³ dont 25 à 40 kg pour les armatures transversales qui travaillent en traction.

L'emploi d'un béton cyclopaéen

La réalisation d'un béton cyclopaéen en fondations consiste à enchâsser des moellons de pierre dans des couches successives de mortier de béton qui enveloppent chaque couche de moellons constituant un enrobage d'au moins 3 cm d'épaisseur. Ce type d'ouvrage convient parfaitement pour une construction économique sur des bons sols mais doit être bien réalisé. Il convient notamment de bien disposer les moellons de façon à ce qu'ils ne se touchent pas et de ne pas réaliser que les parements du massif de fondations qui serait alors simplement bourré de mortier en son cœur. Un tel ouvrage serait peu résistant. Il convient de disposer régulièrement des moellons qui fassent

toute l'épaisseur du massif et qui constituent en quelque sorte un harpage (en boutisse).

L'autre aspect est celui du dosage d'un béton cyclopaéen. Le béton est dosé à 250 kg/m³ (250 kg de ciment, 400 l de sable et 800 l de graviers). Les moellons de pierre étant disposés dans des couches de béton, 1 m³ de béton cyclopaéen contient finalement moins de ciment qu'un béton massif (environ 125 kg), ce qui est économiquement intéressant. Dans tous les cas, la largeur totale du massif de fondations sera d'au moins 40 cm ou d'un minimum de 20 cm de plus que l'épaisseur des murs, répartis de part et d'autre des parements du mur à partir de son axe longitudinal. La hauteur du massif de fondations sera au moins égale à la moitié de sa largeur. Si les fondations nécessitent une barrière étanche anticapillaire au niveau du soubassement, celle-ci sera réalisée en mortier de ciment surdosé (500 kg/m³), en peinture bitumineuse ou en feuille bitumeuse ou de plastique si ces matériaux sont disponibles.

Cette solution du béton cyclopaéen peut être utilisée pour continuer l'ouvrage de soubassement au-dessus des fondations mais dans ce cas, le béton cyclopaéen doit être coffré et les moellons bien dressés contre le coffrage. Le principe de la mise en place de moellons de harpage (environ tous les 60 cm et en quinconce) pour garantir la solidité d'un soubassement en béton cyclopaéen doit être bien vérifié sur le chantier.

Chaînage au niveau des fondations

Dans le cas où l'on construit sur de mauvais sols, instables et pouvant être à l'origine de tassements différentiels, il est recommandé de réaliser des fondations avec chaînage. Celui-ci permettra de stabiliser les parois contre les mouvements potentiels des fondations. Ces mouvements sont essentiellement verticaux et par conséquent, le chaînage de fondations sera conçu comme une poutre avec un moment de flexion dans le sens vertical. Un tel chaînage ne peut donc être qu'une poutre avec des armatures en haut et en bas. Néanmoins, si le massif de fondations est principalement construit en maçonnerie, il est possible de réduire la consommation d'acier. En plaçant le chaînage de fondations en béton armé au milieu de la hauteur du massif de fondations, on peut compter sur une zone de compression au-dessus et au-dessous de ce béton armé et l'ensemble peut donc fonctionner dans les deux sens. Pour cela, il faut une maçonnerie qui résiste parfaitement à la compression

MATERIAUX ET SPECIFICATIONS

et l'on ne peut pas utiliser des blocs de sable-ciment creux.

A titre d'indication, 3 cm² d'acier peuvent suffire et 2 cm² pour l'acier à haute adhérence. L'enrobage de ces aciers par le béton doit être d'au moins 4 cm. La hauteur du chaînage poutre en béton armé peut être ainsi réduite à 10 cm avec 2 fers de 12 ou 3 fers de 10. Le dosage du béton est au minimum de 250 kg/m³.

Ce principe du chaînage en béton armé dans les fondations peut ne pas être retenu pour des petits bâtiments de plain-pied établis sur des sols de bonne à moyenne résistance (sols rocheux, sols sablo-graveleux compactés ou sols cohésifs) et si la distribution des charges est homogène. Dans les autres cas, il est préférable de retenir la solution d'un chaînage en béton armé intégré dans les fondations.



Fig. 95



Fig. 95 : Réalisation d'une fouille de fondations pour l'édification d'une petite maison d'habitat social à Mayotte. Observer la franche découpe du parement des fouilles.

Fig. 96 : Réalisation d'un béton cyclopéen en fondation d'un ouvrage d'habitat social de plain-pied à Mayotte. Noter la présence de moellons de harpage qui occupent toute l'épaisseur du massif de fondations.

Fig. 96

OUVERTURES

Bonne liaison structurale

La liaison structurale entre les tableaux d'ouvertures et les murs de BTC doit être soignée. Cela afin de limiter le risque de fissuration qui pourrait être à l'origine d'une infiltration d'eau et donc d'un processus d'érosion.

Pathologie structurale aux ouvertures

Il importe de bien reprendre les contraintes de cisaillement aux appuis des ouvertures, directement transmises par les jambages des tableaux depuis les linteaux.

Des erreurs classiques doivent être évitées :

- le surdimensionnement des ouvertures : surcharge du linteau,
- l'accumulation des ouvertures sur un même mur et la trop grande diversité de leur taille : affaiblissement du mur,
- le positionnement d'une ouverture à proximité immédiate de l'angle du bâtiment : flambement de l'angle,
- deux ouvertures trop rapprochées avec un trumeau trop mince : flambement du trumeau,
- des jambages de tableaux trop faibles : flambement,
- un ancrage insuffisant du linteau ou de l'appui dans le mur : cisaillement,
- un mauvais appareillage des blocs de terre comprimée à proximité des ouvertures : fissure de coup de sabre.

Linteau

Un linteau est très sollicité par la charge de maçonnerie qu'il supporte et qu'il transmet par les jambages du tableau vers l'appui ou le seuil de la baie. Il est donc préférable, pour supprimer la contrainte de cisaillement, d'augmenter la longueur d'appui du linteau dans le mur en ménageant un minimum de 20 cm pour les petites baies. Il faut veiller à la bonne résistance en compression des jambages en utilisant des blocs de terre de résistance égale. Les matériaux de construction du linteau sont le bois ou le béton armé. Pour conserver une homogénéité structurale du mur, les arcs en blocs de terre (surbaissé, en plate-bande ou autre forme) peuvent se substituer alors au linteau et faciliter le report des charges sur les jambages.

Appui

Il sert pour une fenêtre, à bien reprendre les charges transmises par les jambages du tableau. On peut envisager de disposer des armatures sous l'appui. Un autre problème à résoudre est celui du cisaillement de l'allège. Il est préférable d'adopter la solution des joints secs entre l'allège et le mur ; cela conduit à bâtir un tableau de fenêtre comme on le ferait pour une porte et à réaliser ensuite l'allège. Ces joints secs pourront être colmatés ultérieurement quand la maçonnerie aura opéré son retrait et son tassement initial.

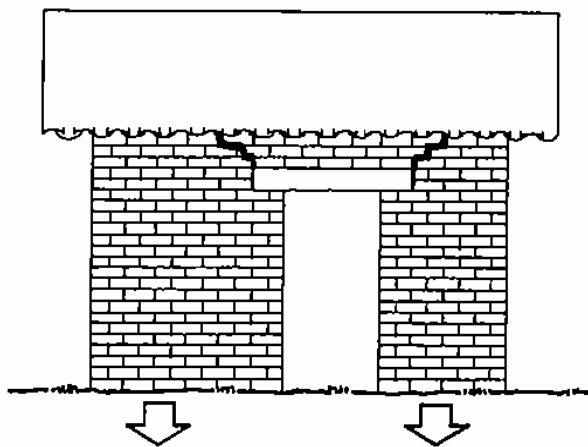


Fig. 97 : Soigner l'ancrage du linteau dans le mur.

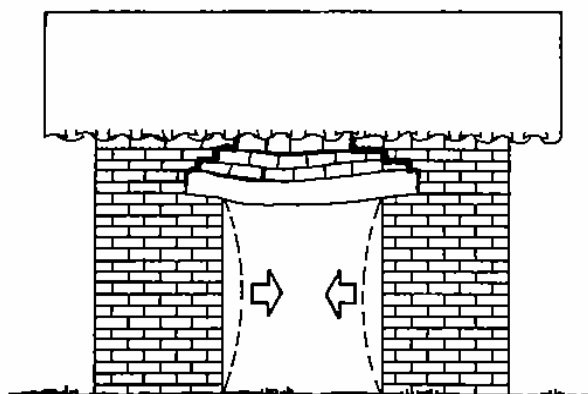


Fig. 98 : Bien dimensionner le linteau des grandes baies.

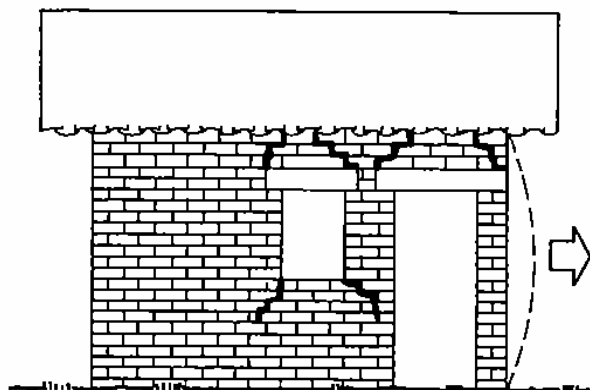


Fig. 99 : Bien dimensionner le trumeau entre deux baies voisines.

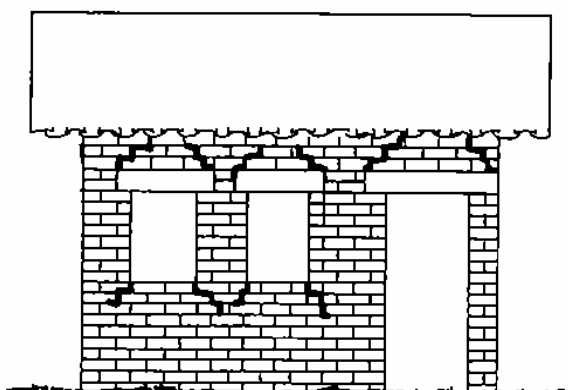


Fig. 100 : Ne pas multiplier le nombre des ouvertures dans un même mur.

BONNE CONCEPTION

Pathologie d'humidité aux ouvertures

La pathologie structurale, le plus souvent marquée par une fissuration, est une voie libre pour l'érosion des tableaux d'ouvertures à partir d'une pathologie d'humidité. Celle-ci, au voisinage des tableaux d'ouvertures, agit selon le "système de la goutte d'eau" qui décrit l'effet cumulé du ruissellement, du rejaillissement, de l'infiltration et de la stagnation de l'eau.

Les points névralgiques sont les liaisons entre le linteau, les jambages, l'appui et la maçonnerie. Les harpages, les ancrages et les scellements doivent être particulièrement soignés. De même, il est préférable de renforcer les feuillures, ébrasements ainsi que tous scellements de chambranles, de gonds ou de paumelles.

Il est recommandé de prévoir :

- un larmier sous le linteau et sous l'appui ou des systèmes de solins qui rejettent l'eau. Il faut éviter toute saillie ;
- des solutions pour les problèmes de condensation qui résulteraient de ponts thermiques ;
- une stabilisation renforcée, un enduisage ou des couvre-joints en façade extérieure, au nu des parements des tableaux de baies (en régions à saisons pluvieuses marquées) ;
- une étanchéité sous l'appui.

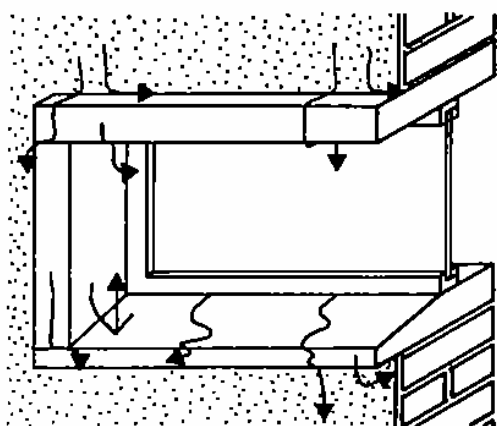


Fig. 101 : Pathologie d'humidité, le système de la goutte d'eau.

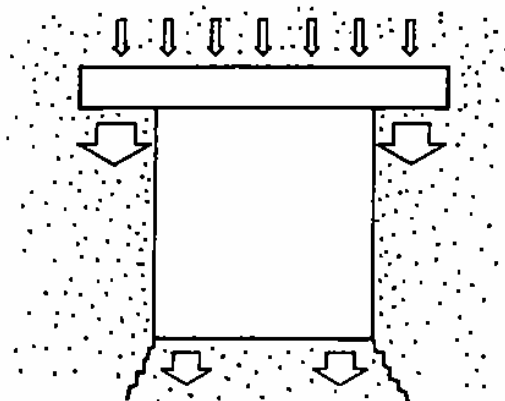


Fig. 103 : Transmission des charges, fissures aux appuis.

Dimensionnement des ouvertures

Il existe des règles de dimensionnement des ouvertures dans une maçonnerie en terre qui n'excluent pas la variété de conception de leur forme et de leur taille.

- Dans un même mur, le rapport des vides et des pleins ne doit pas être supérieur à 1/3 et doit être le plus régulièrement réparti. Il convient d'éviter les trop grandes concentrations de vides ou les trop grandes ouvertures à moins d'avoir conçu la structure en conséquence.
- La longueur cumulée des ouvertures ne dépassera pas 35 % de la longueur du mur.
- Les portées classiques des ouvertures se limitent à 1,20 m pour des linteaux de section classique. Pour les plus grandes baies, il faut sur-dimensionner le linteau et augmenter la profondeur de son ancrage dans le mur.
- La distance minimale entre une baie et un angle du bâtiment est de 1 m. Il est toutefois possible de réduire cette distance en prenant des dispositions constructives appropriées.
- La largeur d'un trumeau commun à deux baies n'est pas inférieure à l'épaisseur du mur et correspond à un minimum de 60 cm (deux blocs classiques). Le trumeau n'est pas porteur à moins de 1 m de large (linteau commun aux deux baies pour un trumeau moins large).
- La hauteur de la maçonnerie au-dessus du linteau et de l'allège sous l'appui doit respecter un rapport équilibré en fonction de la largeur de la baie.

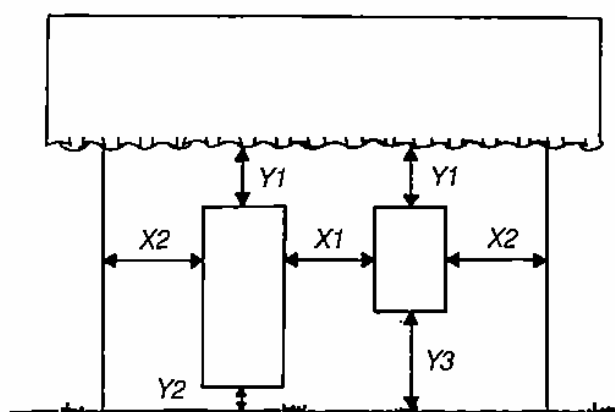


Fig. 102 : Règles de dimensionnement des ouvertures.

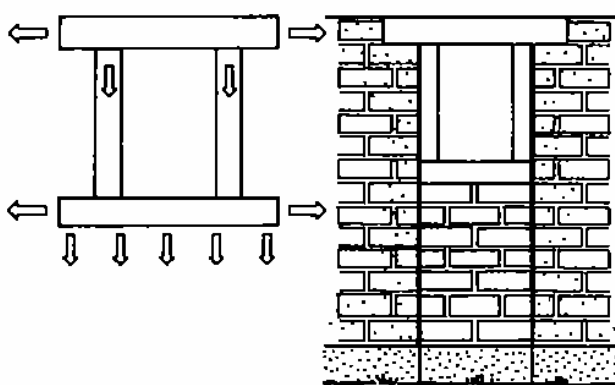


Fig. 104 : Appui bien dimensionné ou allège indépendante.

CONCEPTION ET POSE DES OUVERTURES

Matériaux des tableaux

Comme dans toutes constructions en maçonnerie à petits éléments, la construction en blocs de terre comprimée admet très bien que l'on réalise les tableaux avec le matériau du mur. Dans ce cas il est préférable d'employer des blocs de terre comprimée stabilisée de façon à garantir une bonne résistance à d'éventuels risques de pathologie d'humidité et en compression, particulièrement pour les jambages. L'arc en blocs de terre comprimée peut remplacer le linteau et l'appui peut être réalisé en briques cuites ou en béton. Quoiqu'il en soit, un tableau en blocs doit être parfaitement calepiné de façon à garantir la qualité de l'appareillage et donc à contrôler le risque de pathologie structurale.

L'autre solution, classique, est de réaliser un tableau complet en bois, de sections égales à l'épaisseur du mur, en dimensionnant bien l'ancrage du linteau et de l'appui dans la maçonnerie (au moins



Fig. 105 : Tableau de fenêtre saillant en blocs de terre comprimée, bien protégé par un débord de toiture. Allège indépendante dans un tableau qui pourrait convenir pour une porte. Enduisage de protection au badigeon de chaux.

égale à la longueur d'un bloc de terre). Les autres solutions, qui associent par exemple la brique cuite en tableau avec la maçonnerie en blocs de terre comprimée, sont possibles, d'une grande flexibilité d'emploi et donnent un bel aspect esthétique mais doivent faire l'objet d'une mise en œuvre très soignée.

Scellements et fixations

Le scellement direct des précadres de portes et fenêtres dans la maçonnerie de blocs de terre comprimée doit impérativement garantir un bon ancrage. En effet, les vibrations et les chocs résultant de la manipulation des menuiseries peuvent provoquer des fissurations. De même, le scellement doit être compatible avec l'entretien, les réparations et l'éventuel remplacement des menuiseries sans endommager la structure du mur.

PENDANT LA CONSTRUCTION DES MURS

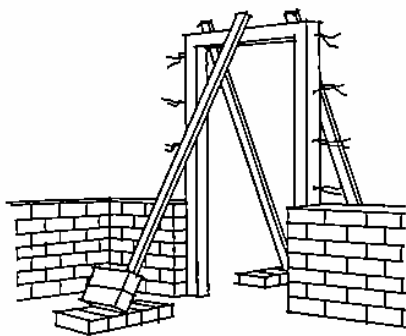


Fig. 106 : Pose d'un cadre de porte pendant l'élévation des murs.

APRÈS LA CONSTRUCTION DES MURS

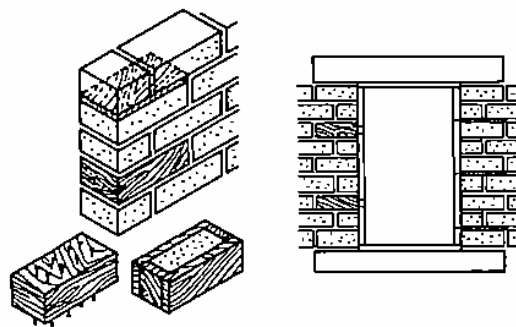


Fig. 107 : Utilisation de blocs en bois intégrés dans les jambages.



Fig. 108 : Exemple d'application sur une école en construction au Zaïre.

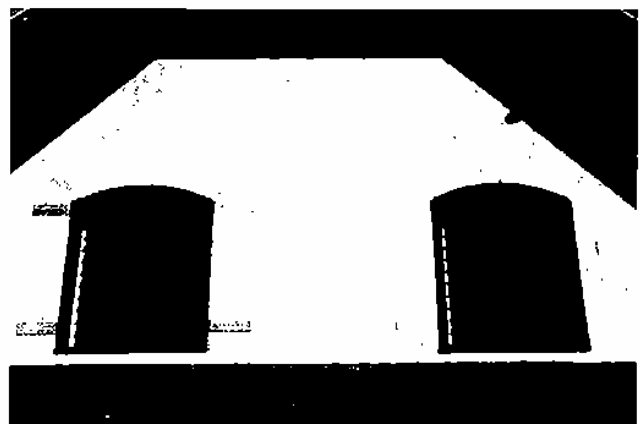


Fig. 109 : Exemple d'application sur une maison en Guyane.

TRAITEMENT DES DETAILS : EXEMPLES

Il y a deux solutions possibles.

- Dresser les précadres des menuiseries en même temps que l'on élève la maçonnerie avec des ancrages dans les lits de mortier (fils de fer barbelés ou patte de scellements).

- Intégrer dans le calepinage des tableaux de maçonnerie en blocs de terre comprimée, des blocs en bois ("gringos blocks") qui faciliteront ensuite le clouage, chevillage ou vissage des précadres.

Protection des tableaux

Les tableaux doivent être protégés du risque d'érosion résultant de l'action du "système de la goutte d'eau" et du vent qui peut être très important sur un terrain de fissuration. La mise en œuvre très soignée des tableaux des ouvertures, la bonne liaison structurale des matériaux qui les composent et une amélioration pouvant être apportée par une stabilisation de surface ou un enduisage loul autour du tableau (badigeon et peinture) sont à même de garantir cette protection.



Fig. 110 : Lorsque les blocs de terre comprimée stabilisée sont très résistants, il est possible de sceller les menuiseries directement dans le murs avec pattes, chevilles et vis. Ici, le mur doit recevoir une isolation extérieure.

Dans le cas d'un bâtiment à étage et pour les façades orientées aux vents dominants, les ouvertures de l'étage sont plus exposées que celles du bas, notamment aux appuis. Il convient de stabiliser ces parties exposées et de veiller à ce que l'appui des baies d'étage ne soit pas trop débordant (risque d'érosion dû aux turbulences). Il convient également de prévoir une étanchéité entre l'appui des ouvertures et le mur en BTC, des larmiers ou solins en sous-face du linteau et de l'appui.

Menuiseries

Elles doivent être très soignées et si possible munies de larmiers en sous-face du linteau, de pièces d'appui à rejingot et système d'évacuation des condensations. Il est en tout cas préférable de positionner les menuiseries au nu extérieur des façades pour éradiquer le plus possible l'action du "système de la goutte d'eau". Il faut également soigner le scellement des gonds de volets et de loul type d'occultation extérieure.

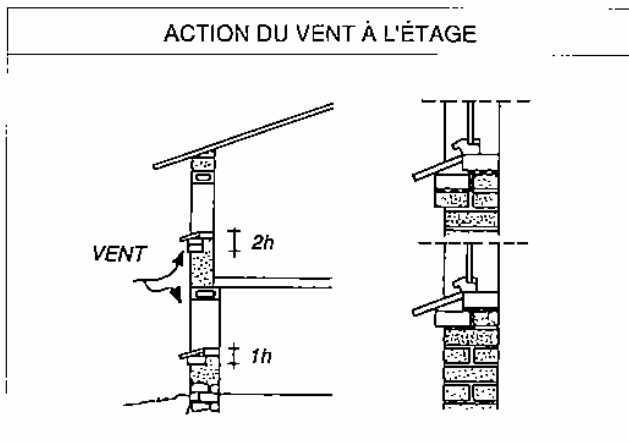


Fig. 111 : Renforcer l'étanchéité entre les appuis et le mur.

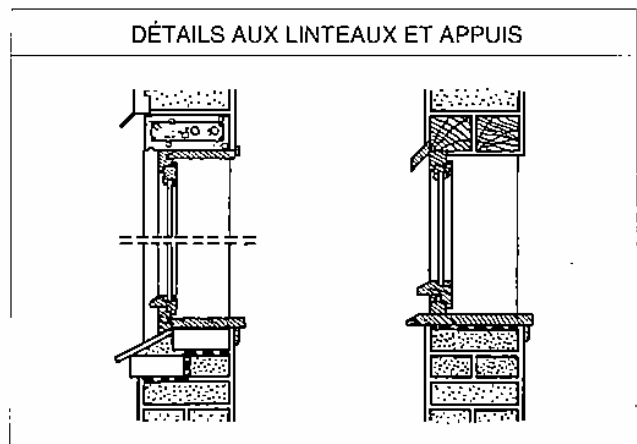


Fig. 112 : Des solins et larmiers repoussent l'eau au-delà du nu du mur.

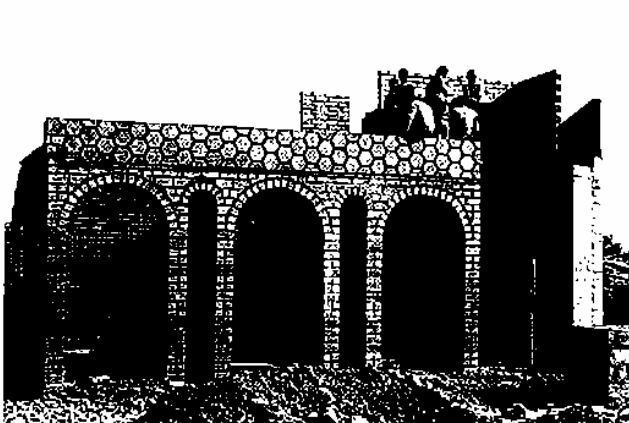


Fig.113 : Système de tableaux d'ouvertures en arcs, Burkina Faso.



Fig.114 : Menuiseries au nu extérieur du mur, Inde.

ARMATURES

Intérêt de la maçonnerie armée

Les systèmes de renforcement des murs en blocs de terre ont été développés en vue d'améliorer la résistance des constructions en terre aux séismes. La plupart des régions exposées à ce risque ont imposé des normes qui exigent l'emploi de renforts verticaux et horizontaux (Pérou, Turquie, U.S.A.). Les systèmes constructifs mis en œuvre utilisent le principe du chaînage en bois ou en acier noyé dans les murs ainsi que le renforcement des angles de murs et des tableaux de baies. La présence d'armatures améliore considérablement la résistance de la maçonnerie à la traction et à la flexion.

Blocs spéciaux

Il est possible d'armer une maçonnerie utilisant des blocs de terre comprimée ordinaires mais il est préférable d'employer des blocs spéciaux qui faciliteront la mise en œuvre des armatures. Les blocs avec des réservations (gorges, évidements et trous) permettent la pose d'armatures verticales et horizontales (fig. 118).

Chaînages hauts

Le chaînage est le système constructif parasismique par excellence. En effet, l'absence de chaînage rend pratiquement

inefficace toute autre disposition constructive parasismique, particulièrement lorsqu'on réalise des murs peu épais ou élancés. Le chaînage assure une bonne transmission des efforts et permet de constituer une structure de maçonnerie fortement organisée.

Les chaînages horizontaux et verticaux sont les systèmes de renforcement les plus employés. Ce sont parfois des armatures localisées, disposées dans les parties les plus faibles de la maçonnerie, soit aux angles, soit aux tableaux des ouvertures. Ces renforts localisés sont le plus souvent noyés dans les lits de mortier et sont en bois, en acier, treillis métalliques ou grillages.

Le rôle joué par le chaînage est particulièrement important pour assurer la stabilité des maçonneries en blocs de terre comprimée comme pour tout type de maçonnerie en petits éléments (briques cuites). Il demeure indispensable même en régions non exposées au risque sismique et particulièrement pour les constructions à murs minces.

Le chaînage permet un contrôle du risque de fissuration qui est le fait de tassements différentiels, retraits, gonflements, dilatations thermiques, tensions de rotation ou cisaillements (aux ouvertures et liaisons de murs), tensions induites par les appuis de planchers, poussées latérales du vent, toitures en pentes, arcs ou voûtes. Le chaînage permet de contrôler l'effet néfaste de ces contraintes en ceinturant le mur dans toutes les directions, en continu.

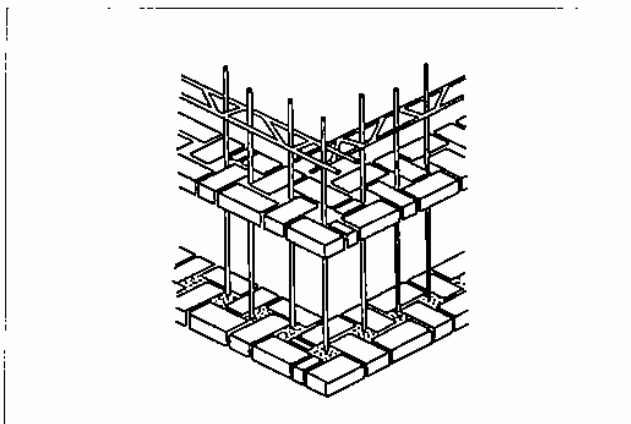


Fig. 115 : Appareillage permettant la pose d'armatures verticales.

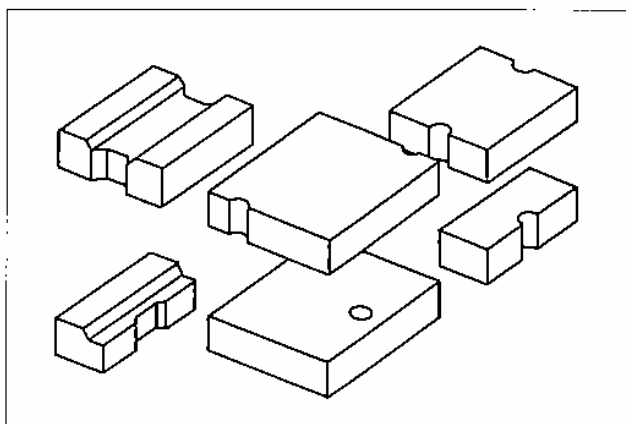


Fig. 116 : Blocs spéciaux pour maçonnerie armée et chaînages.

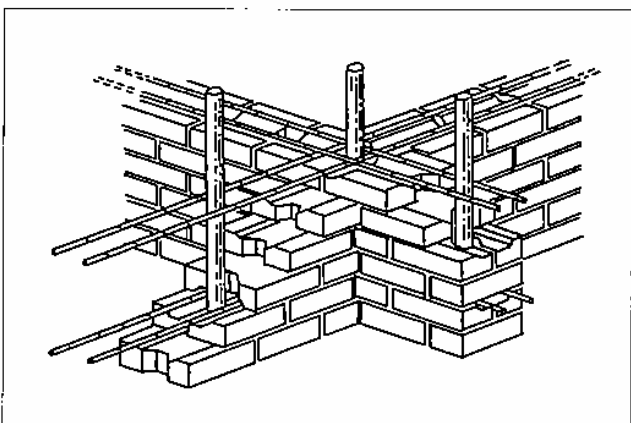


Fig. 117 : Maçonnerie en blocs spéciaux armée de bois.

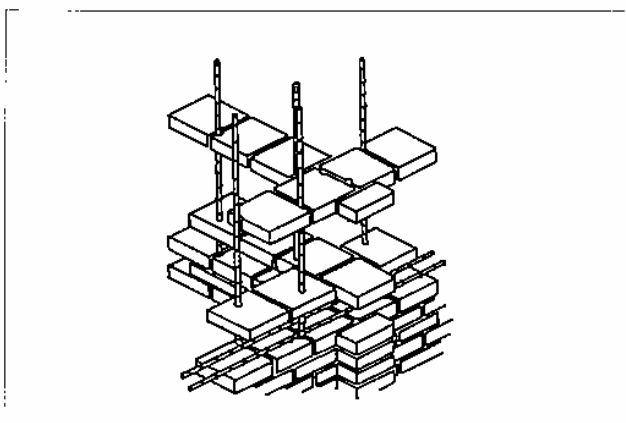


Fig. 118 : Maçonnerie armée de bambou en blocs carrés spéciaux.

CHAÎNAGES

Le rôle principal du chaînage est de liasonner les murs, notamment pour reprendre les efforts horizontaux, ceux de nature verticale étant repris par les fondations. Cet effet de liaisonnement ne peut être garanti que si le chaînage est parfaitement connecté au mur et s'il est parfaitement rigide et indéformable, particulièrement pour garantir une résistance à la traction.

Un chaînage peut aussi être employé à d'autres fins pour contrôler les déformations résultant d'un risque de flambement (il est alors préférable de le situer à une hauteur intermédiaire de la maçonnerie, sous les appuis de baies ou au niveau du linteau), pour assurer une répartition uniforme des charges, pour constituer un linteau continu ou servir de support et d'ancrage aux planchers ou toitures.

Matériaux pour chaînages

Les principaux matériaux employés sont le bois, l'acier ou le béton. Ces matériaux doivent avoir une bonne adhérence avec la maçonnerie de blocs de terre pour

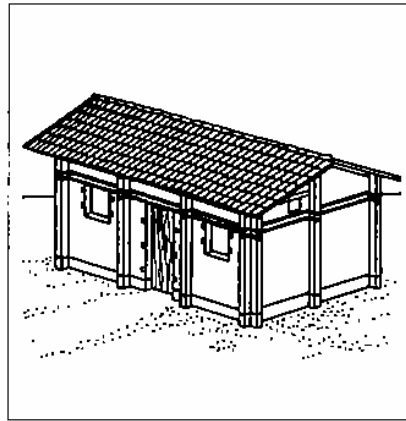


Fig. 119 : Murs minces, contreforts et chaînages.

garantir l'efficacité du chaînage. Les armatures en bois (bambou, eucalyptus) ou en acier sont en général posées à bain de mortier dans l'épaisseur des murs. L'acier doit être correctement ligaturé surtout aux angles des murs et suffisamment enrobé de béton. Les chaînages en béton armé sont soit coulés en couronnement de l'épaisseur du mur

(problème de pont thermique à résoudre), soit dans des blocs spéciaux évidés ou dans un système d'appareillage des blocs constituant un coffrage perdu.

Maçonneries minces

Pour des murs minces (fig. 119), des systèmes de contreforts peuvent être intégrés aux façades, notamment aux angles et au voisinage des tableaux des grandes baies. Les murs sont aussi chaînés horizontalement au niveau des planchers et/ou de la toiture et ces chaînages bas et hauts sont reliés par des éléments verticaux aux angles et aux murs contigus.

Pour les murs pignons, l'intégration d'un pilier dans l'axe du mur, parfaitement calepiné et harpé avec la maçonnerie du mur, garantit un bon renforcement. Ce pilier raidit le panneau de mur et améliore sa résistance à la poussée des vents. Un chaînage à la base du pignon reprend les poussées de la toiture.

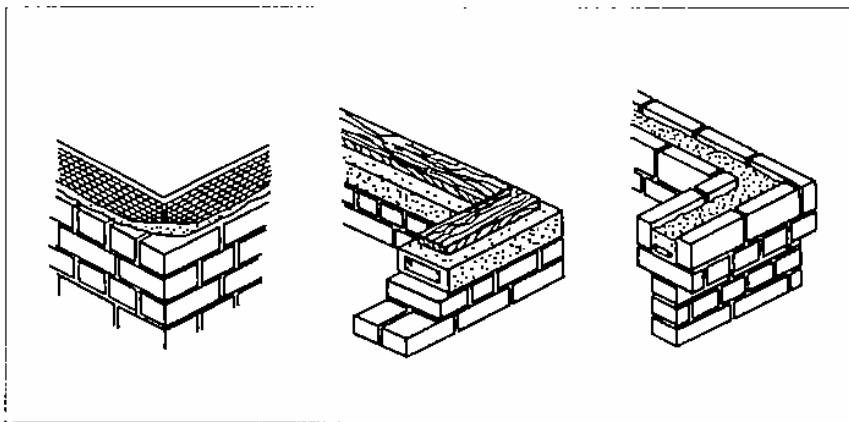


Fig. 120 : Chaînages et renforts d'angles en bois ou en acier noyés dans le mur.

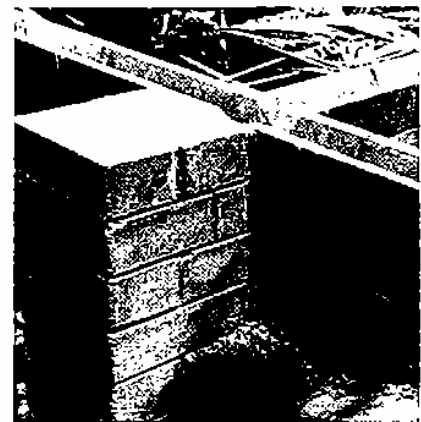


Fig. 121 : Blocs spéciaux de chaînage évidés.

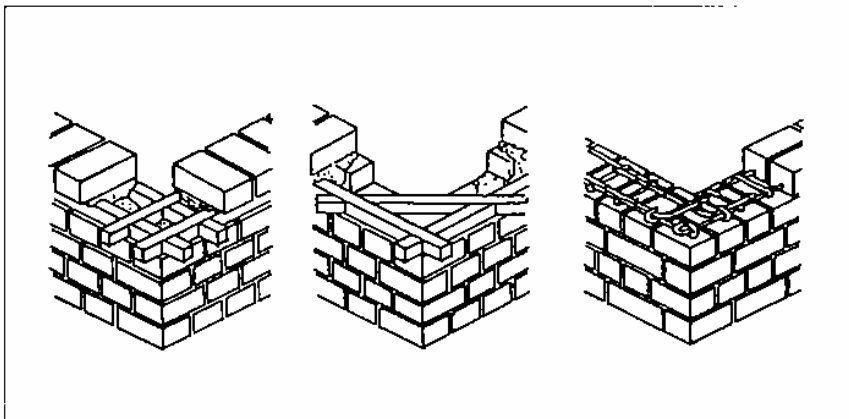


Fig. 122 : Chaînages en grillage noyé dans le mortier ou en béton armé.



Fig. 123 : Béton de chaînage coulé.

PLANCHERS : STRUCTURES

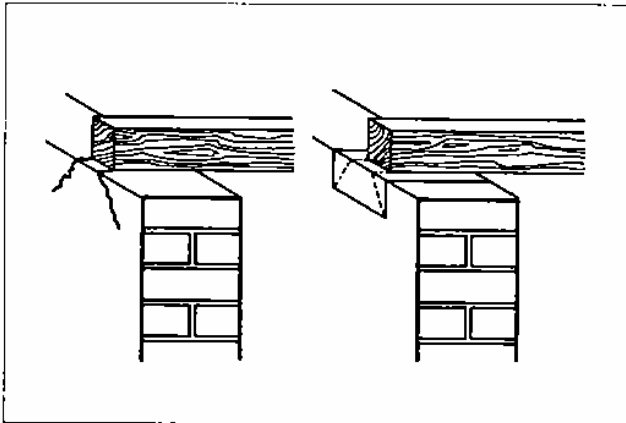


Fig. 124 : Situation de poinçonnement.

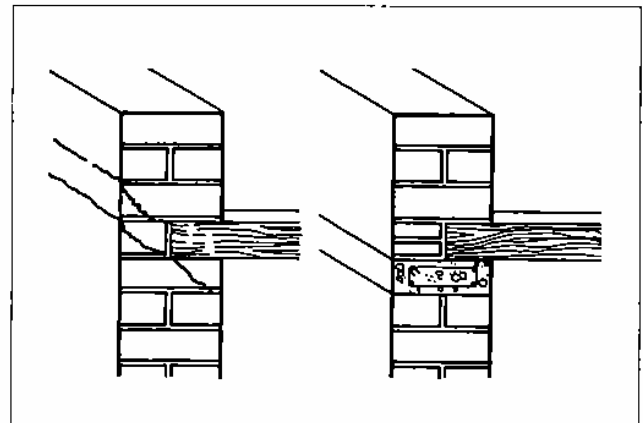


Fig. 125 : Situation de rotation à l'appui.

Planchers en blocs de terre comprimée

Le plus souvent, la maçonnerie en blocs de terre comprimée est destinée à supporter des planchers de conception classique, en corps de charpente en bois, à poutrelles en béton et hourdis en sable-ciment ou en terre cuite, voire même des dalles portantes coffrées en place ou préfabriquées et posées sur des chaînages. Mais les blocs de terre comprimée permettent la réalisation de planchers qui utilisent le principe constructif des voûtains ou entrevous sur poutres de béton, de bois ou encore d'acier (I.P.N.).

Exigences et contraintes

Du point de vue structural, un plancher doit supporter les charges statiques d'utilisation, les charges concentrées (risques de poinçonnement) et doit transmettre ces charges vers son support, dans le mur porteur en blocs de terre comprimée. Ces charges, par le biais du support, doivent être uniformément réparties et orientées vers le centre de gravité du mur porteur.

Il faut aussi tenir compte du fait qu'un plancher est soumis à des vibrations, rotations, dilatactions hydriques et thermiques et même à un risque de soulèvement aux angles dans le cas d'une dalle qui porte sur ses quatre côtés. Des tolérances sont donc nécessaires. Il faut aussi éviter tout encastrement partiel dans le mur et toute connexion en porte-à-faux.

Du point de vue des finitions, outre l'aspect structure, un plancher est constitué d'un sol (au-dessus) et d'un plafond (en-dessous). Il doit garantir une bonne résistance à l'usure du sol et doit offrir une surface plane soigneusement finie, facile à entretenir, durable. La sous-face du plancher ou plafond doit également présenter une belle finition.

La liaison plancher-mur

La liaison d'un plancher au support (mur ou piliers) est assurée par un appui qui transmet par ailleurs les charges au support.

Voici les principaux problèmes.

1. Le poinçonnement : il intervient lorsque l'appui est sous-dimensionné et lorsqu'il ne répartit pas les charges de façon uniforme. Il se traduit par des tensions différentielles et des fissures. Pour éviter ce risque, la surface d'appui doit être augmentée et l'on doit ramener les charges au centre de gravité du support.

2. La rotation : elle intervient lorsque le plancher prend de la flèche. On observe alors un soulèvement, un décentrement des charges, des fissures et un écrasement au support. Pour empêcher la rotation, il faut rétablir un bon rapport charge / portée / section et poser le plancher sur un chaînage.

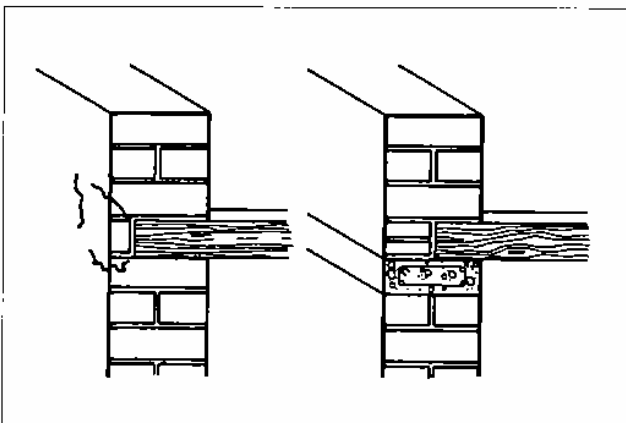


Fig. 126 : Variations dimensionnelles.

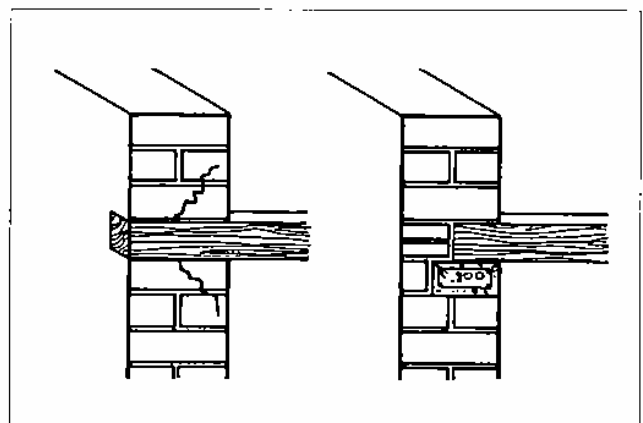


Fig. 127 : Pont thermique, condensation.

ENTREVOUS ET VOUTAINS

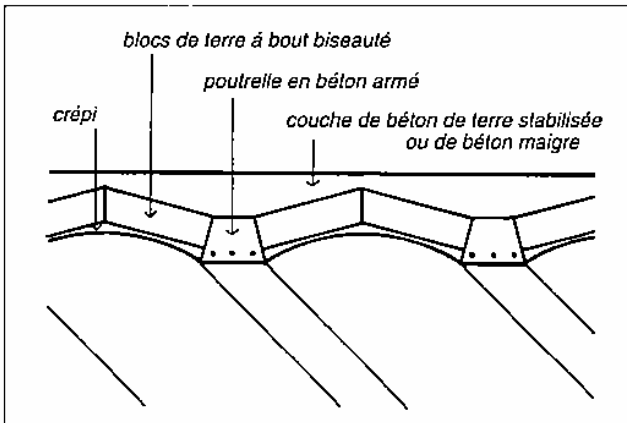


Fig. 128 : Bloc de terre biseauté pour faciliter la pose.

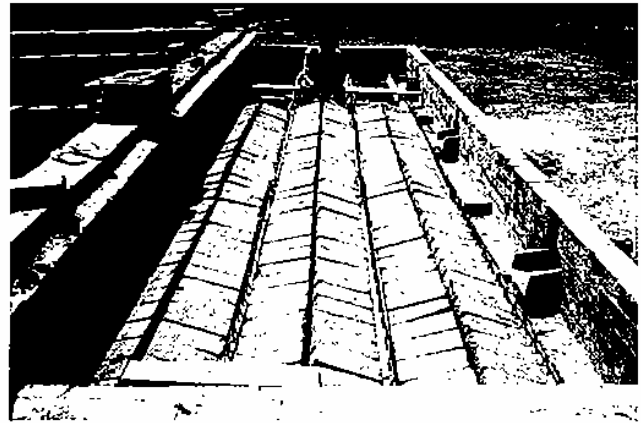


Fig. 129 : Application du principe sur une école en Somalie.

3. Les variations dimensionnelles : généralement d'origine thermique ou résultant d'un travail différentiel entre le plancher et son support. Un chaînage horizontal et l'absence de contact direct entre le corps de charpente du plancher et le mur en blocs de terre comprimée permet de lever ce risque.

4. Pont thermique : il provient de la variation du comportement hydrique et thermique des matériaux du plancher et du mur et provoque de la condensation. Une absence de contact direct entre le corps de charpente du plancher et le mur, un chaînage intégré dans le mur réservant un parement extérieur en blocs de terre, permet de limiter ce risque.

Mise en œuvre des planchers

La meilleure façon de garantir une mise en œuvre soignée des planchers est de prévoir à l'avance des réservations pour le passage des poutres ou leurs appuis dans le mur. Ce problème doit être vu dès la conception des plans d'exécution des ouvrages, notamment lors du dessin du calepinage du bâtiment. Sur le chantier, le problème le plus important à résoudre est celui de la protection des ouvrages de plancher contre la pluie afin d'éviter toute infiltration d'eau.

Entrevous et voûtains

Un plancher à entrevous en blocs de terre comprimée agit comme un coffrage perdu. C'est une solution qui réduit la consommation en sable, graviers, ciment et armatures par rapport aux systèmes en dalle de béton.

Les planchers à entrevous ont l'avantage de faire travailler le bloc de terre en compression, les efforts en flexion étant repris par les poutres ou poutrelles en bois, en béton ou en acier. La trame de pose des poutres varie de 0,50 m pour les petits systèmes à 2 m pour les plus grands qui peuvent exiger l'emploi de tirants métalliques. Les entrevous en blocs de terre comprimée reposent sur les ailes inférieures des I.P.N. ou sur les reins des poutrelles en béton. Une légère flèche (1/10 de la portée) permet une bonne reprise des poussées par les poutrelles. La finition du plancher se fait par un remplissage en béton de terre stabilisée ou en béton maigre. Ces planchers restent néanmoins lourds et leur charge doit être bien répartie et transmise aux appuis.

La mise en œuvre des entrevous peut se faire avec coffrage, le plus souvent glissant, ou bien sans coffrage avec une technique de pose apparentée à celle de la voûte nubienne (en assises successives inclinées) ou sur un madrier (disposé dans l'axe de l'entrevous) supporté par des chandelles et sur lequel les blocs seront disposés de part et d'autre de cet axe (fig. 130).



Fig. 130 : Voûtain coffré à l'aide d'un madrier axial. Projet au Maroc.



Fig. 131 : Pose sur un coffrage glissant et à joints décalés.

TYOLOGIE DES TOITURES

Importance de la toiture

Les ouvrages en blocs de terre comprimée doivent être protégés par une bonne toiture, particulièrement dans les régions climatiques marquées par un régime saisonnier de pluies abondantes. La toiture est "le bon chapeau" des constructions en blocs de terre comprimée. Elle repousse le ruissellement des pluies au-delà du mur et joue un rôle essentiel dans la préservation contre la pathologie d'humidité qui représente un risque majeur.

L'emploi du bloc de terre comprimée en toiture

Traditionnellement, dans la plupart des régions du monde, le bloc de terre comprimée n'est que rarement utilisé pour la réalisation des toitures. Les régions à climat désertique ou semi-désertique sont héritières d'une tradition de la construction de toitures en adobe, sous forme de voûtes ou de coupoles, mais l'évolution vers l'emploi du bloc de terre comprimée n'est pas encore très marqué. Au cours des dernières décennies, les architectes et les constructeurs ont confirmé leur intérêt pour la réalisation de toitures en blocs de terre, dans plusieurs projets, notamment dans des contextes où le coût des matériaux traditionnels de toiture (bois, béton) est un handicap important. Les toitures en terre présentent un avantage économique certain, le coût d'une toiture pouvant, à lui seul, atteindre jusqu'à 50 % du coût global de la construction.

Les principaux types de toitures

Les toitures plates

Elles sont généralement réalisées suivant le principe des planchers précédemment évoqué, soit à poutres de bois, poutrelles de béton ou d'acier et entrevous en blocs de terre comprimée. Les principaux problèmes sont l'étanchéité, la dilatation thermique (climats chauds), le drainage du toit plat (pente minimum de 1 à 2 %), l'évacuation par des systèmes de gargouilles ou de descentes appropriées et la protection des rives de toiture par des solutions d'acrotère.

Les toitures inclinées

Elles sont réalisées de façon très conventionnelles, en corps de charpente en bois et couverture en tuiles, tôles ou bacs d'acier. Leur pente doit être suffisante ainsi que la largeur du débord de toiture (minimum de 30 cm) pour favoriser un rejet de l'eau de pluie au-delà du mur. Les principaux problèmes sont ceux de la stabilité des murs pignons (élançement) et de l'ancrage de la charpente dans les murs porteurs (utilisation du chaînage).

Les toitures courbées

Elles sont réalisées sous forme de voûtes ou de coupoles. Les principaux problèmes sont de même nature que pour les toitures plates, notamment pour l'étanchéité, la dilatation thermique et le rejet des eaux de pluies au-delà des murs. Leur protection périphérique est aussi assurée par des systèmes d'acrotère.



Fig. 132 : Toiture inclinée en chaume à Jos, Nigéria.



Fig. 133 : Toiture inclinée en tôles à Alotobo, Côte d'Ivoire.

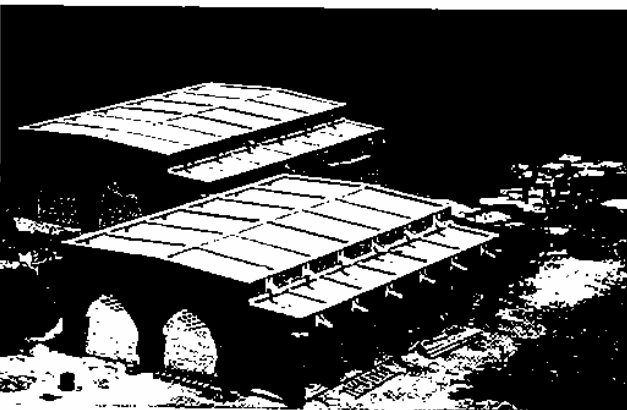


Fig. 134 : Toiture plate à entrevous à Jenaale, Somalie.

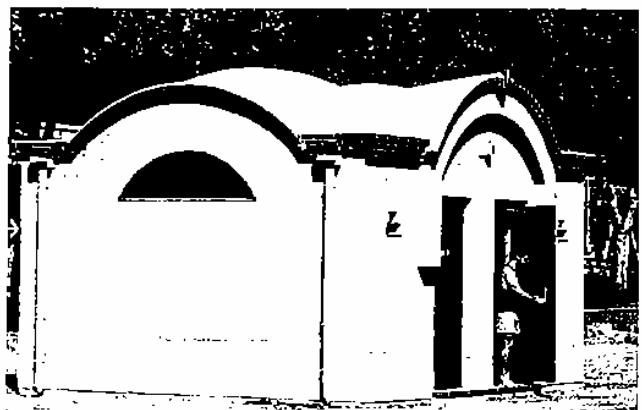
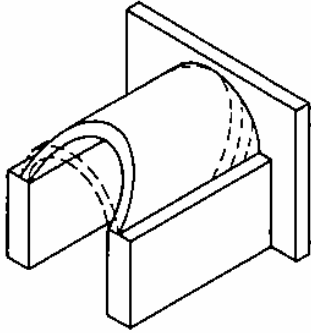


Fig. 135 : Toiture courbée en coupole à Château-Arnoux, France.

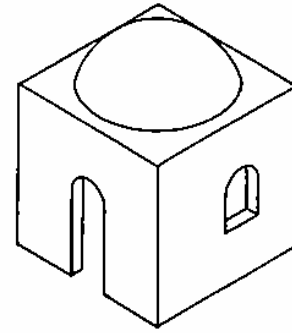
TOITURES EN BLOCS DE TERRE COMPRIMÉE

L'héritage d'une tradition

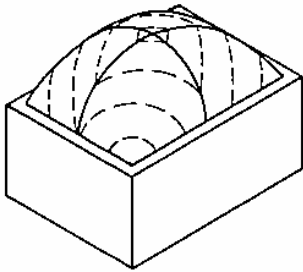


voûte "nubienne" en assises inclinées

Les toitures en blocs de terre comprimée sont issues de la tradition des toitures en adobe développée dans des régions à climat sec où le bon bois de charpente faisait défaut (Mésopotamie, Egypte, Iran). En réalisant des voûtes et des coupoles en terre, les constructeurs exploitaient "l'intelligence constructive" du matériau, à savoir son aptitude à travailler en compression. Ce type de toiture offre en outre un intérêt esthétique certain tant pour la forme architecturale que pour les ambiances intérieures qui retiennent l'intérêt des architectes et de leur clientèle.



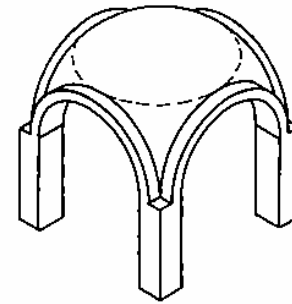
coupole classique



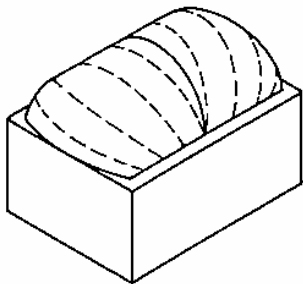
voûte en trompe d'angle

Le problème des poussées

Les toitures en blocs de terre sont généralement lourdes et induisent des poussées latérales très fortes sur les murs qu'il faut rétablir dans leur verticalité. L'utilisation de chaînages, de charges en post-compression (acrotères), de murs épais ou de contreforts, éventuellement de tirants pour les voûtes à grande portée, permet de maîtriser ces poussées exercées sur les murs et de les orienter vers les fondations.



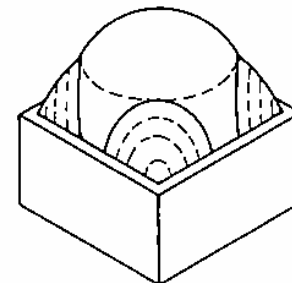
coupole sur pendentifs



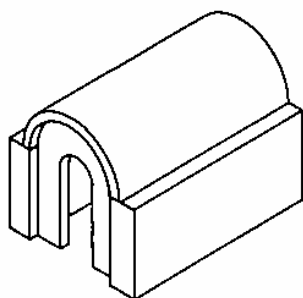
voûte "navette" iranienne

Autres problèmes

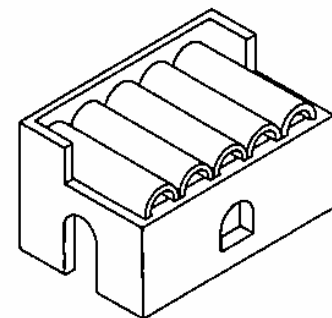
La question du calcul de structure de ces toitures en voûtes et coupoles doit être préalablement traitée. Elle peut l'être graphiquement (par le tracé du funiculaire des poussées ou par l'épure de Méry). Un autre problème est très important : celui de l'étanchéité. Les voûtes et coupoles sont souvent très sensibles aux dilatations thermiques (climat chaud, écarts des températures diurnes et nocturnes) qui peuvent causer des micro fissurations pouvant être à l'origine d'une infiltration. Elles doivent donc être protégées avec soin par des enduits étanches régulièrement entretenus (couche de peinture bitumineuse puis mortier de ciment fortement dosé grillagé et enfin peinture étanche ou badigeon à la chaux). Ces toitures sont finalement davantage utilisées pour l'effet esthétique et pour le confort thermique qu'elles procurent et sont de plus en plus souvent protégées par une sur-toiture de conception traditionnelle.



coupole sur trompes



voûte sur coffrage



toiture plate à entrevous

Fig. 136 : Différentes structures et formes de toiture en blocs de terre moulée ou comprimée, héritières de la tradition des voûtes et coupoles.

TOITURES INCLINEES A UNE PENTE

COUPE SUR JARDIN D'ENFANTS

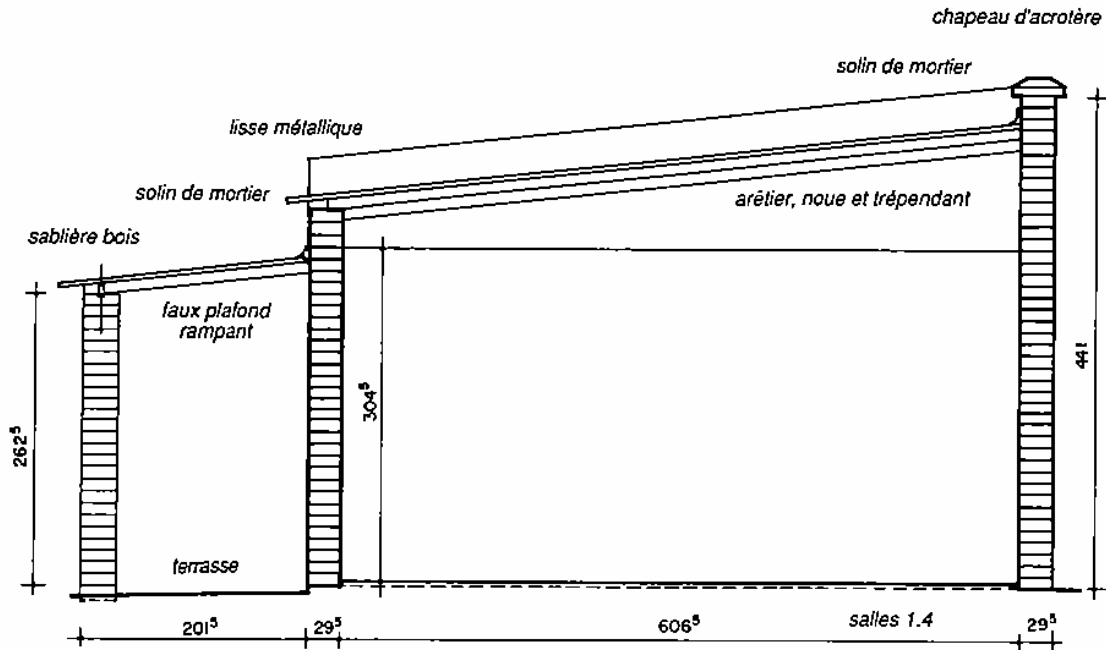


Fig. 137 : Projet d'un village d'enfants S.O.S. à Sanankoroba, Mali. Archit. C. Robin et O. Scherrer, Acrotierre.

Les toitures inclinées à une seule pente présentent l'intérêt de simplifier les solutions de charpente (pannes et chevrons) et donc de réduire le coût de la toiture. Leur simplicité de conception permet de faciliter leur mise en œuvre et de résoudre assez facilement le problème essentiel de la protection des murs en blocs de terre comprimée. Deux solutions sont envisageables. Soit une toiture à une seule pente avec un débord périphérique sur tout le périmètre des murs, avec l'obligation d'assurer un bon ancrage de

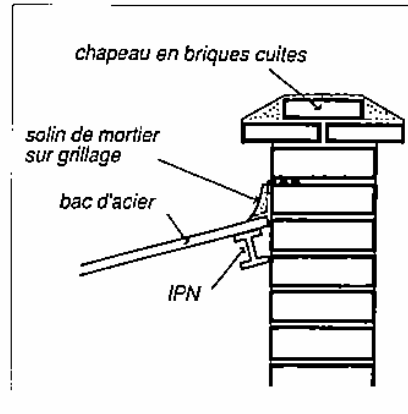


Fig. 138 : Détail liaison toiture et acrotère.

la couverture au sommet des murs (utilisation de la sablière ou d'un chaînage), soit une solution avec un seul débord en rive basse et engravement de la couverture dans le reste du périmètre des murs qui constitue un acrotère. Il faut alors réaliser un solin entre le mur et la couverture et veiller à protéger le sommet de l'acrotère (briques cuites ou béton). La saignée d'engravement doit être propre et peu profonde pour ne pas affaiblir la résistance de l'acrotère.



Fig. 139 : Village S.O.S. de Sanankoroba, Mali, vue générale.



Fig. 140 : Village S.O.S. de Sanankoroba, Mali, vue sur une façade.

TOITURES INCLINEES A DEUX PENTES

COUPE SUR UN RAMPANT DE TOITURE

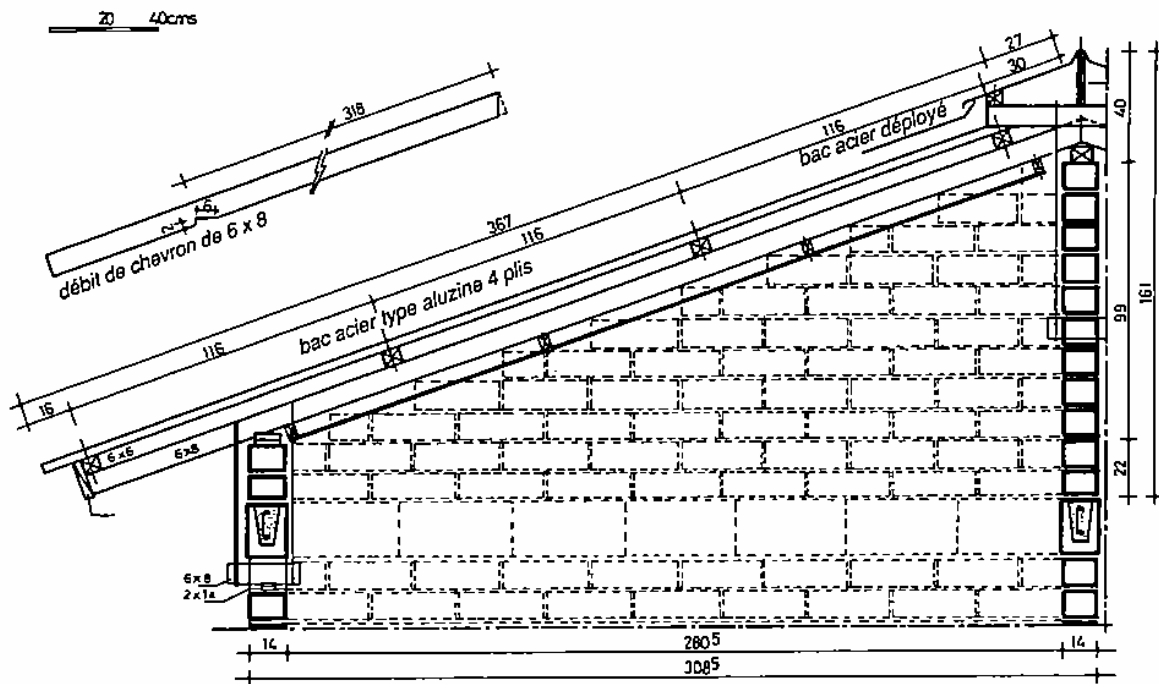


Fig. 141 : Habitat rural à Afotobo, Côte d'Ivoire. Conception CRA Terre, S. Maini. Une toiture à double pente en bacs acier est portée par une charpente à chevrons. Ceux-ci sont fixés à la maçonnerie de murs gouttereaux, en rive basse, sous un chaînage constitué de blocs spéciaux de sable-ciment utilisés en coffrage perdu, par un tirant en acier inox bouclé sur le chevron de toiture et sur une section de chevron traversant la maçonnerie, sous le chaînage. En partie haute, une ventilation de faitage est elle-même fixée au mur de refend selon le même principe.

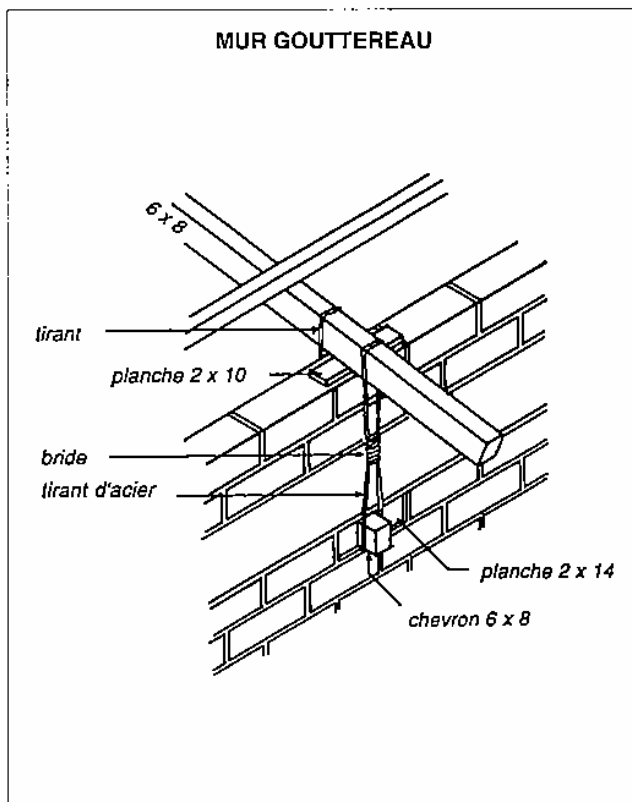


Fig. 142 : Détail sur la fixation du chevron de charpente en rive basse par un système de tirant en acier inox et bride de tension en fil d'acier inox.

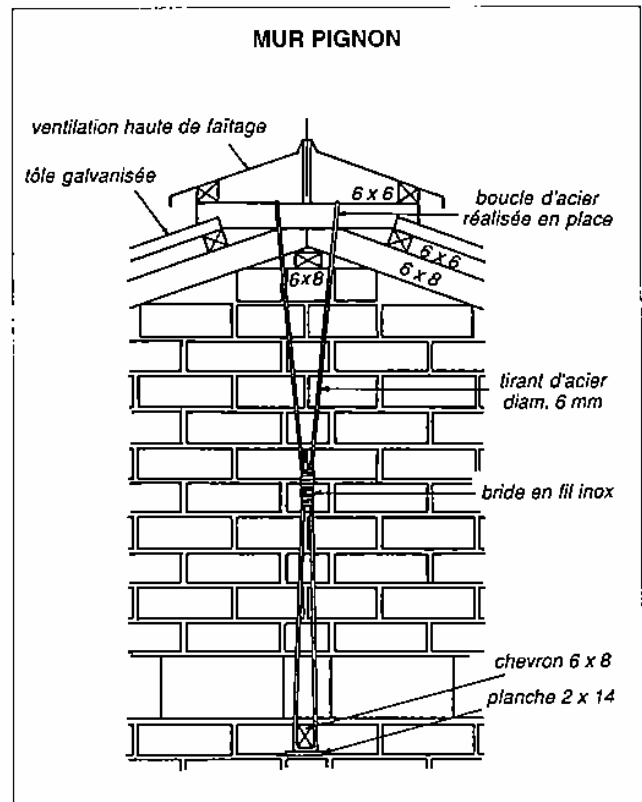


Fig. 143 : Détail sur la fixation de la ventilation de faitage en mur pignon. Le tirant métallique est bouclé sur une section de chevron traversant la maçonnerie, sous le chaînage en blocs de sable-ciment.

TOITURES INCLINÉES A DEUX PENTES

DETAIL SUR CONSOLE DE DEPASSEE DE TOITURE

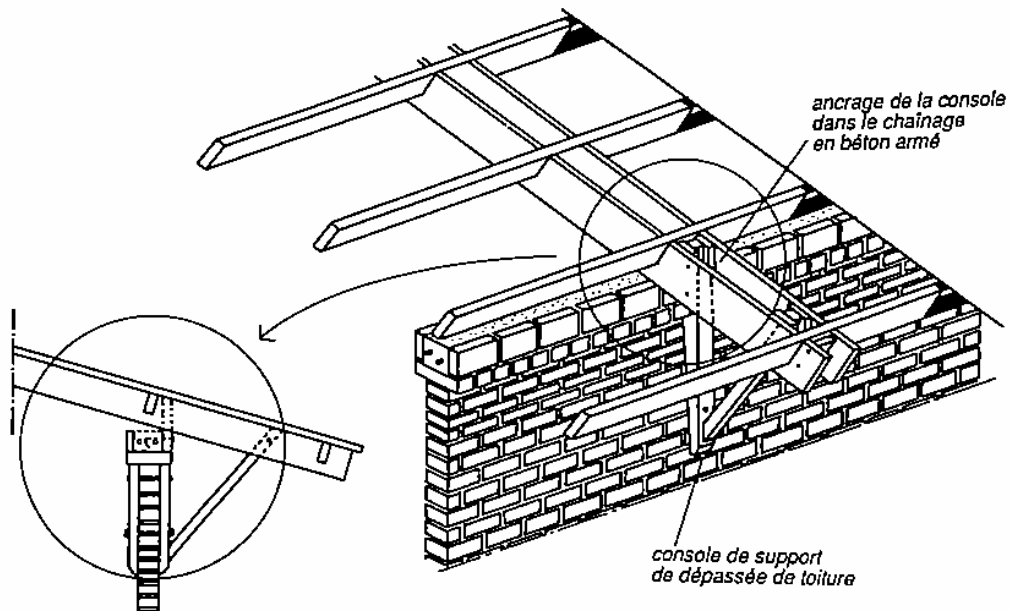


Fig. 144 : Projet d'habitat au Cameroun. Conception CRA Terre, archit. P. Rollet et V. Rigassi. L'ancrage de la toiture en rive basse adopte le principe d'une console de dépassée de toiture avec jambe de force moisant le mur. Côté extérieur, la jambe de force est elle-même solidarisée au chaînage avec un fer en attente.

SYSTEME D'ANCRAGE DES PANNES SUR LES MURS PIGNONS

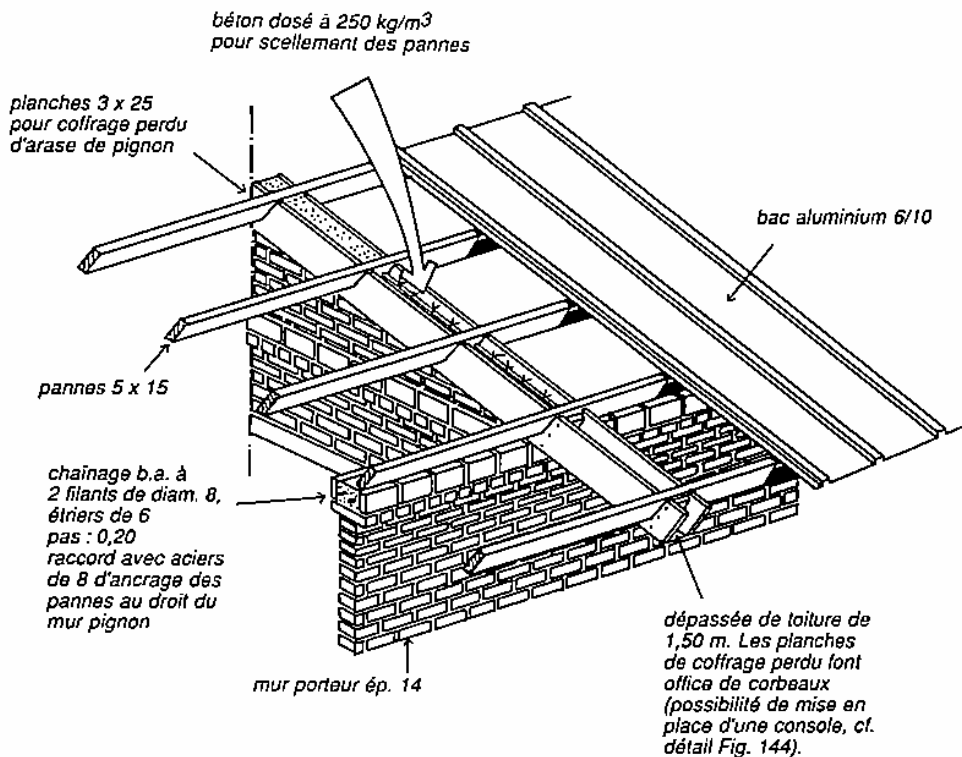


Fig. 145 : Projet d'habitat au Cameroun. Ancrage des pannes sur le mur pignon par un béton de scellement coulé en couronnement rampant du mur dans un coffrage perdu en planches.

TOITURES PLATES

Drainage des toits plats

Il faut en fait considérer que les toitures plates sont des toitures en pente. La question du drainage et de l'évacuation des eaux de ruissellement de pluie est en effet essentielle.

Ainsi, les toitures plates doivent avoir, en tout point de leur surface, une pente minimale de 1 à 2 % afin d'évacuer l'eau vers leur périphérie. Cette pente peut même être légèrement accusée dans les pays où le régime des pluies est marqué, pour peu que l'on soit sûr de la bonne résistance à l'érosion du revêtement de surface de la toiture. L'évacuation des eaux doit être orientée et canalisée de façon à ne pas trop disperser les départs de chutes.



Fig. 148 : Départ intérieur de gargouille.

L'étanchéité des toits plats

Un bon drainage ne se substitue pas à l'étanchéité qui doit être parfaitement soignée, particulièrement sur les toitures plates réalisées en terre. Cette étanchéité doit être abritée d'une exposition trop directe aux risques de dilatation thermique (exposition directe à la chaleur ou aux écarts de température extérieure). Il est donc préférable de l'appliquer sur le gros œuvre de toiture et de la recouvrir d'un matériau ou revêtement de protection et

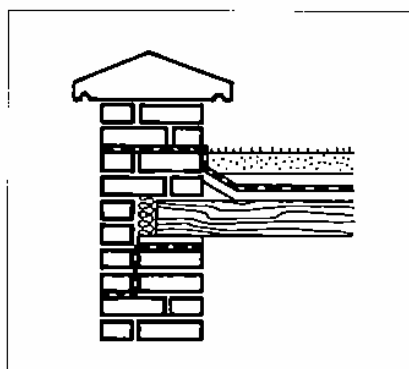


Fig. 146 : Détail d'étanchéité toiture/acrotère et toiture/mur. Noter le système souple de pose des poutres dans le mur avec isolation (pont thermique) et étanchéité sur le plan de pose.

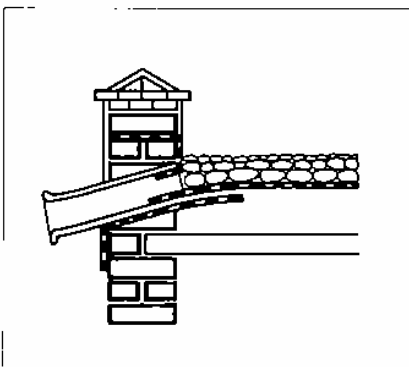


Fig. 147 : Etanchéité parfaitement soignée au départ et en sortie de gargouille.

de finition (enduits, graviers roulés, terre stabilisée, etc.) qui en assurera la protection à la fois mécanique et thermique.

Acrotères et gargouilles

L'étanchéité doit parfaitement remonter contre les acrotères, également et sans aucun défaut. Il est conseillé de prévoir un caniveau à la base de ces acrotères. Il drainera l'eau vers les gargouilles ou descentes d'eau pluviale. Celles-ci sont conçues en matériaux solides et durables et doivent évacuer l'eau bien au-delà des façades, ne pas être disposées sous le vent dominant (rabattement de l'eau) ni au-dessus d'une ouverture. L'étanchéité à la liaison de la toiture, de l'acrotère et de l'évacuation, à l'intérieur comme à l'extérieur doit être parfaite.

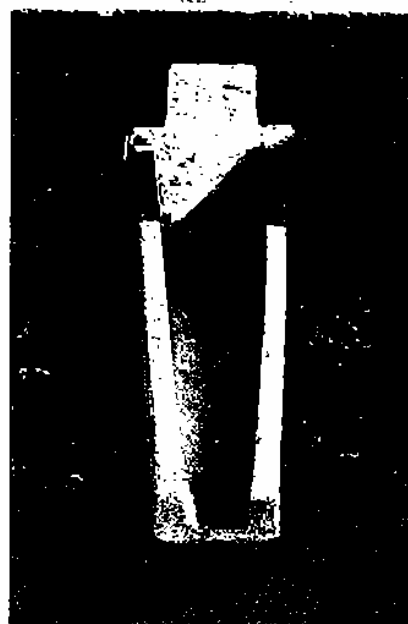


Fig. 149 : Sortie de gargouille.

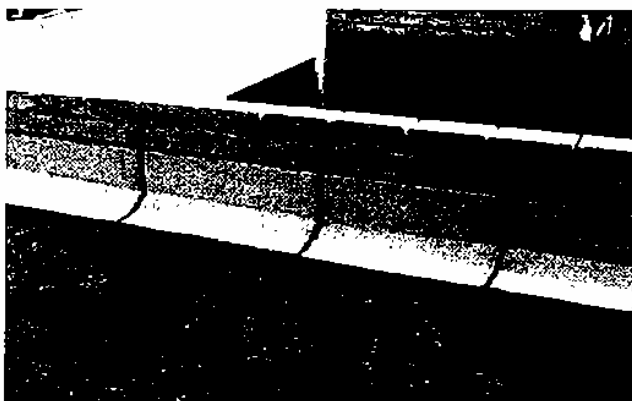


Fig. 150 : Remontée d'étanchéité à la base périphérique de l'acrotère.



Fig. 151 : Remontée d'étanchéité soignée aux angles du bâtiment.

FINITIONS

Lorsque la protection des murs d'un ouvrage en blocs de terre comprimée est souhaitable, voire nécessaire, on peut avoir recours à des solutions techniques variées et adaptées à de très nombreux contextes locaux. Mais ces solutions sont hélas bien souvent mal appliquées et contribuent paradoxalement à engendrer ou amplifier les problèmes qu'elles sont sensées résoudre. Le choix d'une solution de protection de surface doit avant tout être adapté à l'économie locale du contexte du projet car ce sont encore souvent des solutions d'un coût rédhibitoire. Il convient donc en premier lieu de s'assurer de la véritable nécessité d'une protection de surface des murs. Rappelons que le gros avantage du bloc de terre comprimée par rapport au bloc de sable-ciment est qu'il offre une plus grande capacité d'opposition à l'infiltration directe ou par capillarité de l'eau de pluie ou de ruissellement. Dans un projet d'habitat économique, l'enduit peut représenter jusqu'à 25 % du coût global de la construction. Un mur en blocs de terre comprimée bien appareillé et bâti avec un mortier de qualité, liant les éléments dans toutes les directions et résistant à l'érosion, n'est pas perméable. Il permet de se passer d'enduit et réduit finalement le coût de construction ainsi que la consommation de ciment. On exposera ici les domaines et les conditions d'application d'une protection de surface. Si, pour une raison ou une autre, cette protection s'impose, il faut alors qu'elle soit appliquée dans les règles de mise en œuvre que l'on précise ci-après. Il faut surtout que cette protection demeure souple et perméable à la vapeur sous peine de causer un pelage ou un décollement.

CONDITIONS D'APPLICATION

Préparation du support

Dépoussiérer

Le mur sur lequel on va appliquer un enduit doit être débarrassé de toutes matières non adhérentes, friables ou poussières. Il doit être soigneusement brossé (brosse métallique).

Humidifier

Le mur ne doit pas absorber l'eau contenue dans l'enduit sous peine de compromettre sa prise et son durcissement et de réduire son adhérence. Il faut donc humidifier le mur pour éviter une succion capillaire sans trop le mouiller pour ne pas créer un film d'eau superficiel qui limiterait l'adhérence de l'enduit.

Moments d'application

Il ne faut jamais enduire un mur de terre avant que :

- Le retrait de séchage de la maçonnerie ne soit stabilisé et la migration d'eau et de vapeur de ce séchage complètement achevée. Cela peut prendre quelques semaines.

- Le tassement du mur ne se soit opéré. Il faut donc attendre un achèvement complet du gros œuvre y compris toutes charges de planchers et toitures.

Conditions d'exécution

- Ne pas enduire par temps très froid ou très chaud. Éviter la pluie battante, le soleil direct, le vent violent ou la sécheresse. Un temps légèrement humide est idéal.

- Exécuter des panneaux d'enduit de 10 à 20 m² en une seule fois et enduire une façade en une journée.

- Soigner les arêtes (angles) et les tableaux de baies. Sur un support mixte (terre et bois), incorporer un grillage clouté. Ne pas descendre l'enduit jusqu'au terrain naturel (succion capillaire).

- Éviter un séchage trop rapide en pulvérisant de l'eau en surface, le matin et/ou le soir, les premiers jours.

| DOMAINES D'APPLICATION | EXTERIEUR | INTERIEUR |
|------------------------------------|-------------|-------------|
| Sans protection | oui | oui |
| Enduit à base de chaux aérienne | oui | oui |
| Enduit ciment ou chaux hydraulique | à proscrire | oui |
| Enduit plâtre | à éviter | oui |
| Badigeon à la chaux | oui | oui |
| Coulis à base de ciment | oui | oui |
| Peinture | à éviter | oui |
| Imprégnations hydrofuges | à proscrire | à proscrire |
| Imprégnations hydrophobes | à éviter | à éviter |
| Vernis fortement dilué | à éviter | oui |
| Colle à bois fortement diluée | à éviter | oui |

Fig. 152 : Différents domaines d'application pour des enduits, badigeons, peintures et imprégnations sur des murs intérieurs ou extérieurs.

ENDUITS

Les enduits s'effectuent généralement en trois couches, mais deux couches peuvent suffire.

La première couche, dénommée "gobetis", est constituée d'un mortier assez fluide que l'on jette énergiquement sur le support, à la truelle. Son épaisseur varie de 3 à 5 mm et il présente un aspect de surface rugueux de façon à pouvoir accrocher la couche suivante.

La deuxième couche, dénommée "crépi" ou encore "corps d'enduit", est appliquée quelques jours après le gobetis (minimum deux jours), en une ou deux passées. Elle réalise une épaisseur de 8 à 20 mm. Le crépi est soigneusement dressé à la règle et ne doit présenter aucune fissure.

La troisième couche, dénommée "enduit de finition", achève la réalisation de l'enduit et colmate les éventuelles fissures de retrait du crépi. Elle est appliquée après séchage complet du crépi. Son épaisseur n'est que de quelques mm et la finition peut se faire à la taloche sans trop serrer.

Enduits au ciment ou chaux hydraulique

On peut réaliser un enduit composé de chaux hydraulique et de ciment si les dosages sont faibles. On s'en tiendra à une composition de l'ordre de 1 volume de liant pour 5 à 10 volumes de sable. En effet, les enduits trop rigides sont à proscrire pour l'extérieur car ils présentent souvent un défaut d'adhérence sur les murs de terre.

Enduits au plâtre

Ils sont assez compatibles avec les murs en terre mais doivent être plutôt utilisés en intérieur. L'adhérence du plâtre doit être préparée avec un gobetis de chaux ou un badigeon de ciment dilué. L'utilisation du plâtre en extérieur n'est possible qu'en climat sec. Il faut alors ajouter de la chaux

aérienne qui durcit l'enduit et améliore sa résistance à l'eau (une première couche avec 1 partie de plâtre et 0,10 à 0,15 partie de chaux, 0,75 à 1 partie de sable, une deuxième couche avec la même composition de liant mais sans sable).

Badigeons à la chaux

Réalisés en chaux aérienne diluée dans de l'eau (1 vol. de chaux éteinte pour 1 à 3 vol. d'eau), ils sont appliqués comme une peinture. Ils exigent un entretien régulier (annuel). Ils sont appliqués en au moins deux couches, claires au début et de plus en plus consistantes. Des additifs peuvent leur être ajoutés (les dosages sont ici donnés pour 25 kg de chaux éteinte) tels que de l'huile de lin (1 l), de l'alun (0,6 kg), du stéarate de calcium (2,5 kg). Les badigeons à la chaux aérienne constituent une protection de surface

efficace, esthétique et économique à condition d'être renouvelés régulièrement.

Coulis de ciment

Composés de 2 à 3 volumes de terre sableuse ou de sable argileux mélangés à 1 volume de ciment, très dilués dans l'eau, ils sont appliqués à la brosse, en un minimum de 2 couches à 24 heures d'intervalle. A utiliser dans les 2 heures suivant leur préparation. On peut leur ajouter des colorants (oxydes minéraux) ou des hydrofuges (stéarate de calcium à raison de 2 %).

Peintures

Elles sont en général assez efficaces mais doivent pouvoir respirer et être élastiques (latex ou acryliques). Les peintures rigides sont à proscrire.

| ENDUIT A BASE DE CHAUX AERIENNE | VOLUME CHAUX | VOLUME CIMENT | VOLUME SABLE |
|---------------------------------|--------------|---------------|--------------|
| Première couche | 1 | - | 1,5 |
| Deuxième couche | 1 | - | 2,5 |
| Troisième couche | 1 | - | 3,5 |
| ou | | | |
| Première couche | 2 | 1 | 4 |
| Deuxième couche | 2 | 1 | 6 |
| Troisième couche | 2 | 1 | 9 |

Fig. 153 : Composition d'enduits à base de chaux aérienne ou de chaux aérienne et de ciment ajoutés de sable.

FINITIONS

L'utilisation décorative du bloc de terre comprimée

C'est dans la grande tradition constructive et architecturale de la maçonnerie de petits éléments que doit être située l'utilisation décorative du bloc de terre comprimée. La taille du bloc de terre, sa texture et ses teintes variées, selon la nature des terres qui ont été utilisées pour sa production, sont des atouts pour l'imagination du concepteur et du bâtisseur qui associent la souplesse d'emploi à l'attrait esthétique.

Le bloc de terre comprimée, outre son rôle structural, peut être agréablement utilisé dans la modénature, le décor et la finition des bâtiments. Le simple jeu des éléments dans un appareillage qui associe la pose en panneresse et en boutisse présente déjà, en soi, un attrait. Dans un grand mur apparent, cet appareillage mis en œuvre par des maçons de grand savoir-faire confère au mur sa beauté par le simple jeu régulier de l'horizontalité des rangs qui accrochent le jeu discret des ombres projetées des joints ou d'un débord de toiture.

La matière du bloc de terre comprimée peut être elle-même travaillée par des impressions au moulage (reliefs ou bossages, striages). Cette texture imprimée s'embellit de la qualité du grain de la matière. Mais c'est aussi dans les ouvrages de chaînes d'angles, de modénatures en corniches, de tableaux de baies ouvragés, dans la réalisation de claustras aux formes originales, comme dans la grande tradition de la brique cuite, que le bloc de terre s'impose comme un matériau de décoration par excellence. La paroi ajourée d'un claustra venant créer une frontière artificielle entre un mur porteur et une galerie périphérique, laissant passer la lumière qui joue avec l'ombre projetée ou portée dans une danse rythmée par la course solaire de l'aube au crépuscule, est d'une inégalable beauté.

Fig. 154 et 156 : Centre de promotion de l'artisanat rural à Dori, Burkina Faso. La maçonnerie est réalisée en gros blocs de terre vibro-compactée dans un moule imprimant des bossages en parement extérieur.

Fig. 155 : Mur d'enceinte en épi d'un lotissement de logements sociaux. Cité Sontaba, secteur 16, Ouagadougou, Burkina Faso. Réalisation Locomat.

Fig. 157 et 159 : Société internationale de linguistique à Ouagadougou, Burkina Faso. Galerie de distribution des salles de travail.

Fig. 158 : Les claustras en blocs de terre comprimée sont l'héritage d'une très ancienne tradition du claustra en blocs d'adobe puis en briques cuites. On la trouve présente dès les époques urbaines mésopotamiennes, puis dans la civilisation de l'Indus, en Chine, et dans l'ensemble de la culture constructive méditerranéenne gréco-romaine.

Fig. 160 et 161 : Pavillon d'exposition pour le festival de Janadiyah, en Arabie Saoudite, à proximité de Riyad. Réalisation Commission royale de Jubail et Yanbu et CRATerre-EAG.

Fig. 162 : Plafond d'une salle de séjour dans une villa édifiée à Lumio, près de Calvi, en Corse. Réalisation Christian Morelli avec l'aide du CRATerre-EAG.

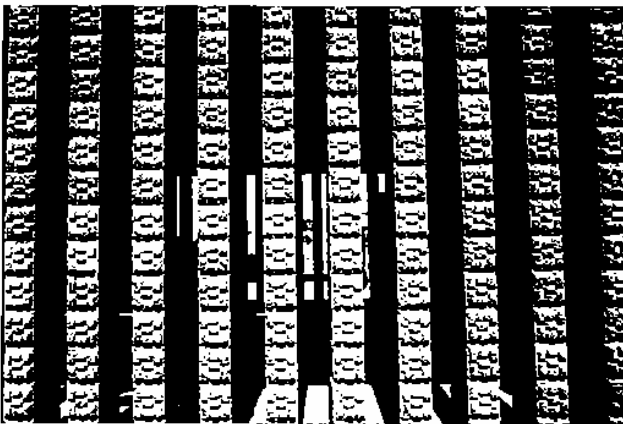


Fig. 154 : Alliance de la texture du matériau et de la forme du bâti.

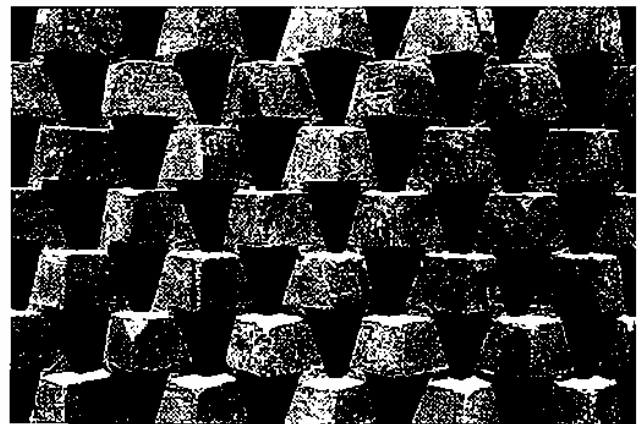


Fig. 155 : Blocs disposés en épi, claustra de lumière et d'obscurité.

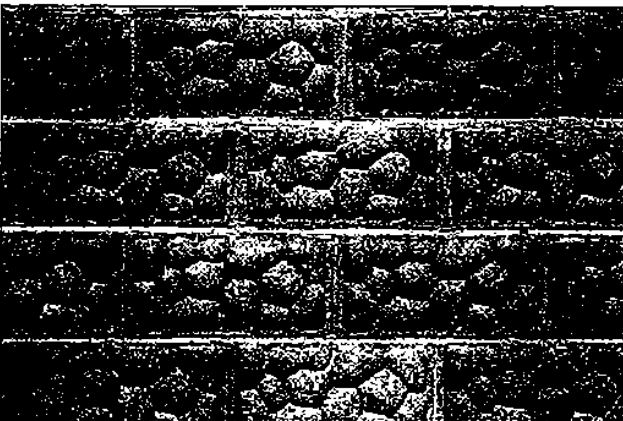


Fig. 156 : Parement de blocs à impression de bossages.



Fig. 157 : Passage dans la lumière tamisée par des claustras.

MODENATURE, DECORATION

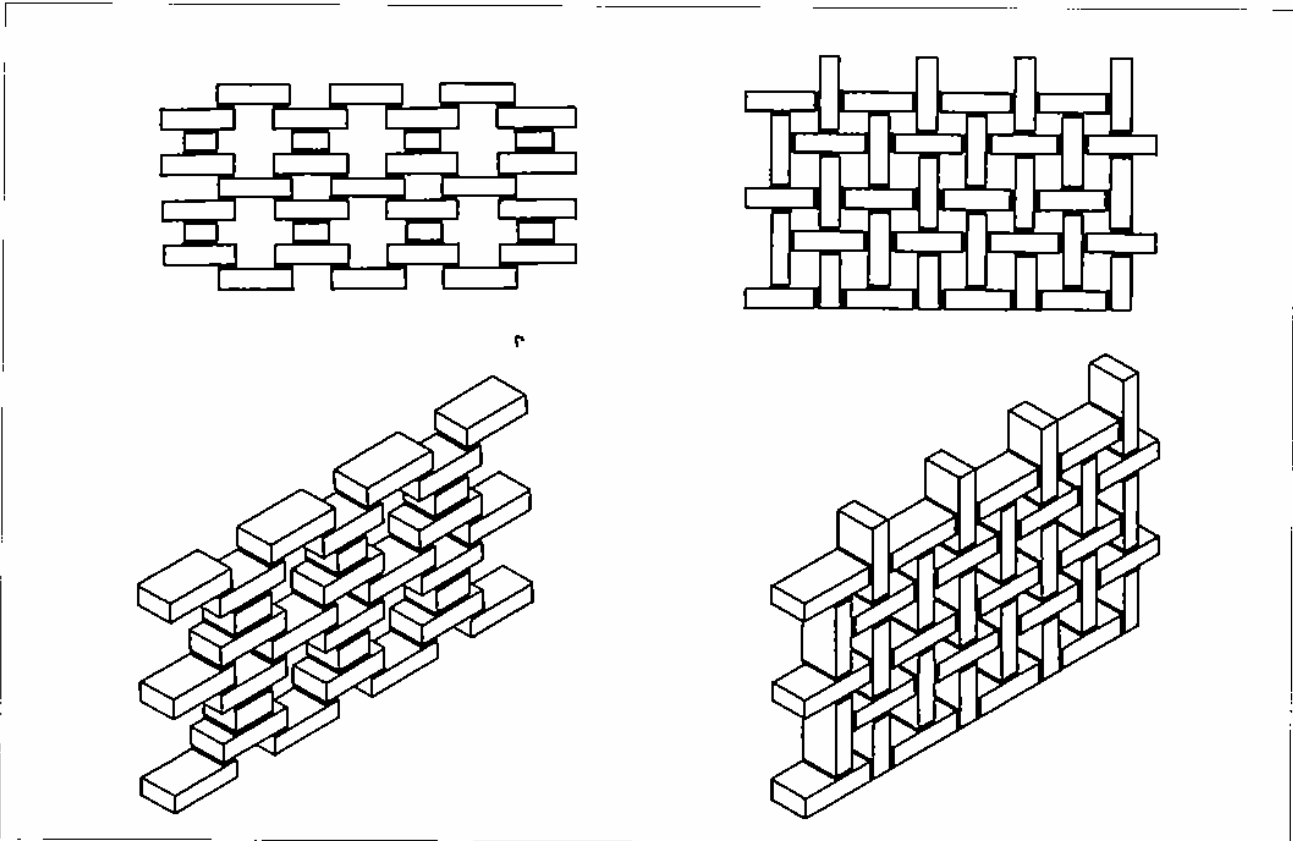


Fig. 158 : Simples claustras avec motif en croix (blocs pleins et demi-blocs) ou maillage de blocs en panneresse et de blocs verticaux.

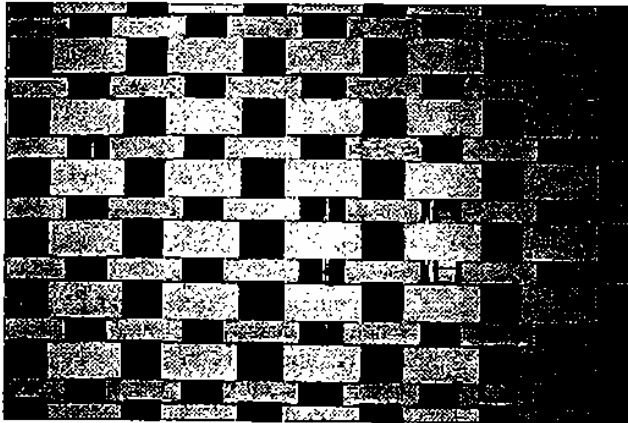


Fig. 159 : Claustra de blocs en panneresse et en carreau.

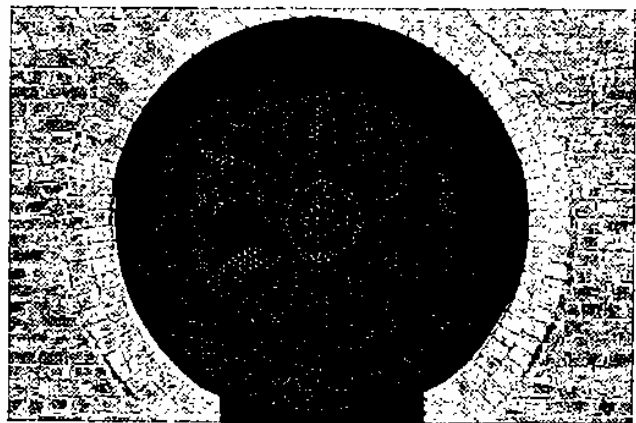


Fig. 160 : Porte décorée d'arabesques dans un tableau circulaire.

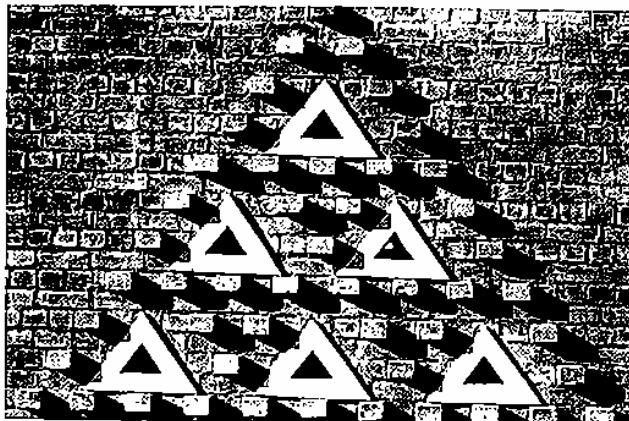


Fig. 161 : Petites ouvertures triangulaires à tableaux plâtrés.

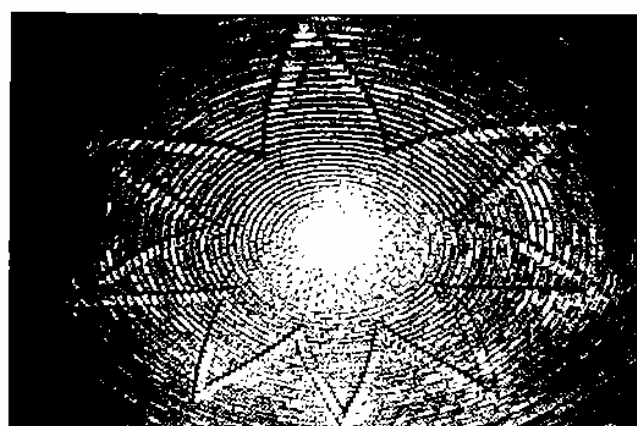


Fig. 162 : Vaste coupole avec une rosace à huit branches.

INSTALLATION DES RESEAUX TECHNIQUES

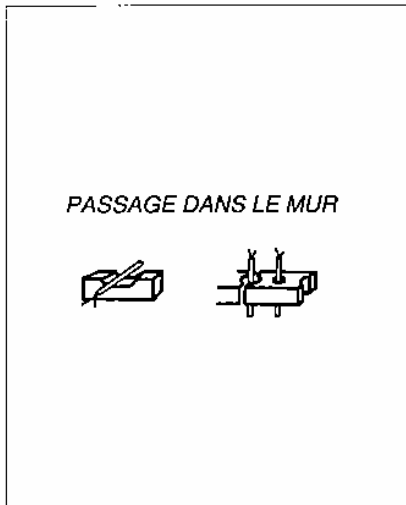


Fig. 163 : Solutions de passage des réseaux.

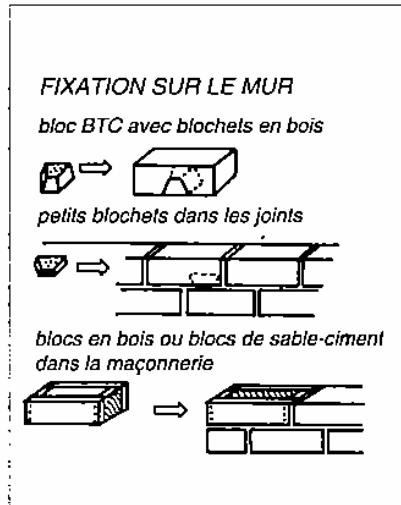


Fig. 164 : Fixation des réseaux dans le mur.

CONCEPTION DES RÉSEAUX

La conception des réseaux techniques d'électricité et de plomberie doit être spécifiquement adaptée aux ouvrages construits en terre.

Trois règles principales doivent être suivies :

- centraliser le plus possible les réseaux ;
- éviter toute incorporation des canalisations d'adduction et d'évacuation des fluides dans les murs ;
- éviter de pratiquer des saignées dans le mur pour placer les câblages d'électricité.

Le respect de ces trois règles implique nécessairement que les installations techniques soient conçues à l'avance et non sur le chantier, au dernier moment.



Fig. 165 : Intégrées verticalement aux cadres de menuiseries munies d'un cadre imposte, les gaines électriques peuvent ensuite remonter à l'étage supérieur ou en toiture par les chaînages. Projet d'habitat à Yaoundé, Cameroun.



Fig. 166 : Les gaines de câblage électrique peuvent être intégrées dans l'épaisseur des murs. Dans ce cas, les maçons utilisent des blocs évidés et posent les gaines ainsi que les boîtiers tout en construisant les murs. Projet d'école à Kinshasa, Zaïre.

ELECTRICITÉ

Les réseaux électriques sont soit apparents soit intégrés dans la maçonnerie.

En apparent

Ce sont soit des câblages, soit des gaines, soit des plinthes électriques.

Le principal problème est celui des fixations. Il existe plusieurs solutions.

- On peut profiler au maximum d'autres matériaux que la terre, comme du bois ou du béton apparent : en fixant le long des cadres de menuiseries, en longeant le plafond, le chaînage ou autres systèmes constructifs.

- On peut aussi utiliser des blocs en bois de même taille qu'un bloc de terre, intégrés dans l'appareillage. On peut intégrer des pièces de bois en queue d'aronde (petits blochets) dans l'épaisseur des joints de mortier au passage prévu des câblages. Il suffit ensuite de fixer des colliers ou des cavaliers (fig. 168 et 169).

- On peut aussi mouler des blocs spéciaux en sable-ciment de la même taille que les blocs de terre puis fixer ensuite les câblages avec des chevilles.

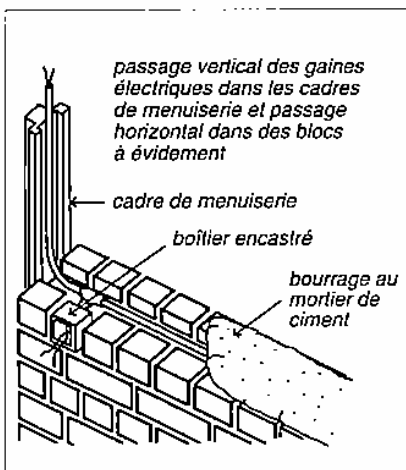


Fig. 167 : Blocs spéciaux à évidement.

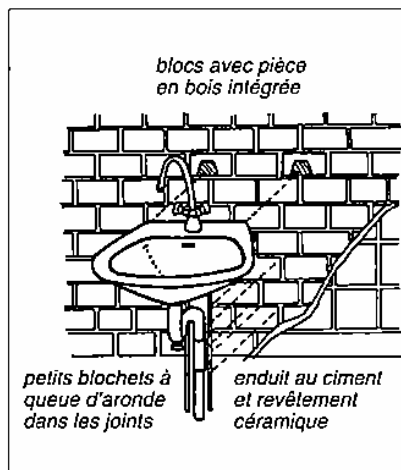


Fig. 168 : Précautions pour les salles d'eau.

INSTALLATION DES RESEAUX TECHNIQUES

Intégrés aux murs

Les câbles sont protégés par des gaines intégrées dans l'épaisseur des murs pendant la construction et les boîtiers sont intégrés dans le parement des murs. Le passage horizontal des gaines peut se faire dans des blocs spéciaux à évidement ou derrière des plinthes à gorges. On peut également prévoir des réservations dans les chaînages et poser ensuite un couvre-joint en façade. Le passage vertical doit au maximum profiter des cadres de menuiseries. L'intégration des boîtiers de prises, d'interrupteurs, de dérivations, peut se faire en taillant les blocs puis en les scellant au mortier ou en utilisant des blocs spéciaux moulés en sable-ciment comprenant les boîtiers et les amorces de tubes pour les connections de câblages (figs. 166 et 167).

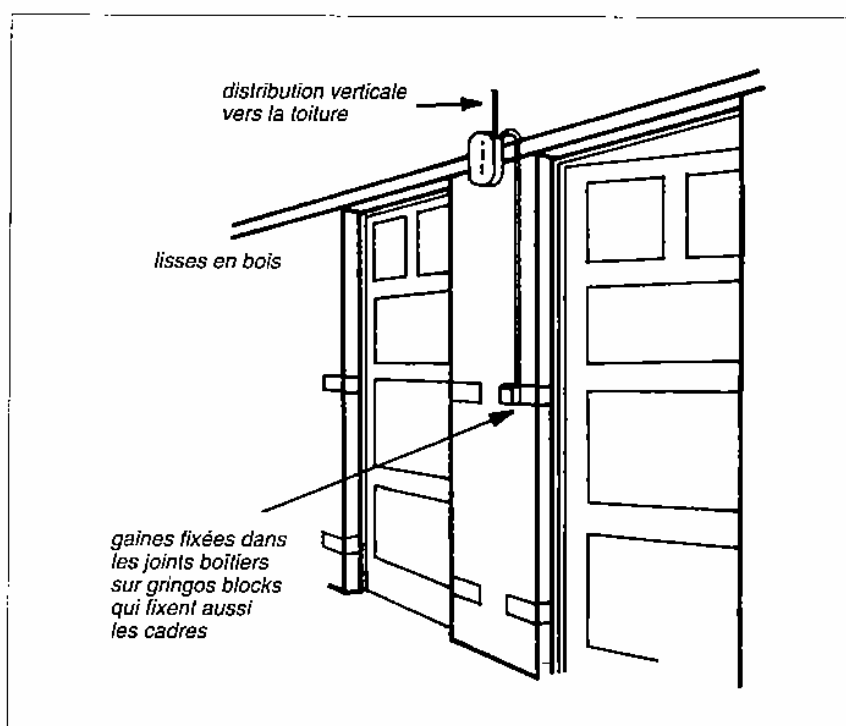


Fig. 169 : Fixation au voisinage des menuiseries.

PLOMBERIE

Adduction d'eau

Les réseaux sont au maximum intégrés dans l'épaisseur des sols et les traversées de murs prévoient la pose d'un fourreau de protection. Toutes les autres tuyauteries, horizontales ou verticales, doivent rester apparentes et l'on adopte le même principe de fixation en parement des murs que celui utilisé pour l'électricité.

Evacuation d'eau

Le principe est le même que pour le réseau d'adduction mais il faut prévoir des chambres de visite pour les réseaux de grande longueur, pour les parties courbes et les connections de tuyauteries.

Les salles d'eau

Il est indispensable d'enduire ou de carreler les murs au voisinage des équipements des salles d'eau (lavabo, douche, baignoire). On prévoira aussi un siphon de sol pour faciliter le nettoyage des sols et pour évacuer l'eau en cas de fuite. Il convient aussi de bien ventiler pour éviter les condensations.

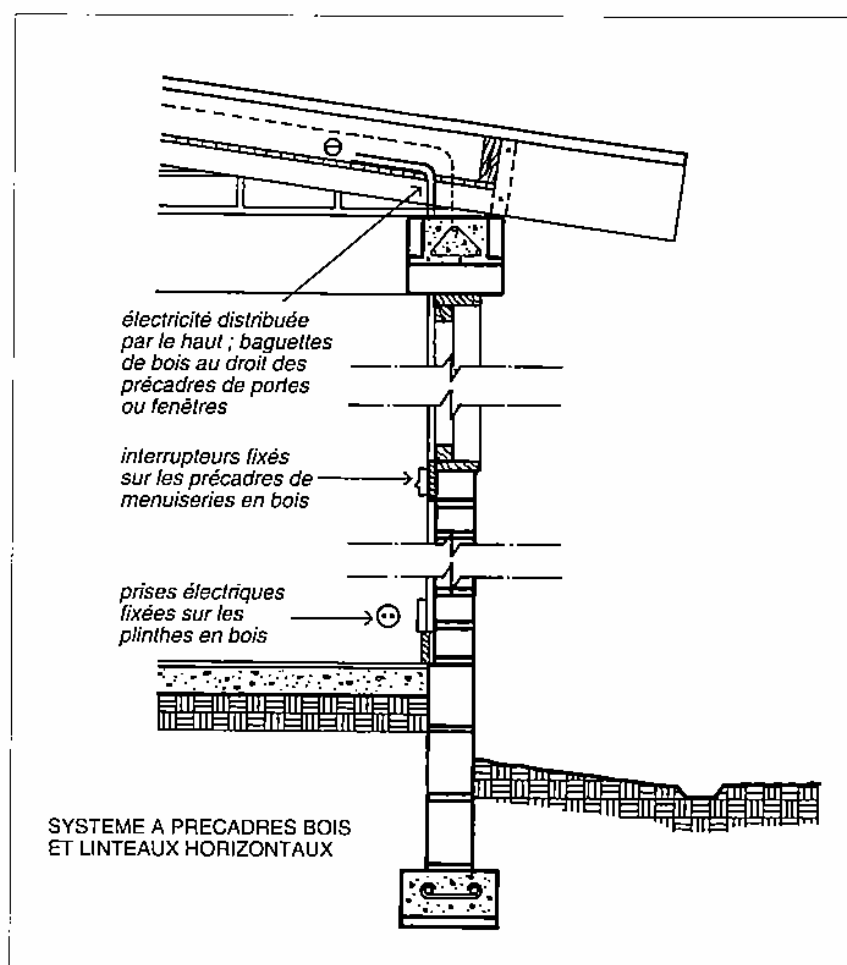


Fig. 170 : Coupes verticales montrant l'intégration du réseau électrique au passage des menuiseries et des plinthes.

RESISTANCE CARACTERISTIQUE DU BTC

Calculs simplifiés de structure

Pour permettre des calculs simplifiés de structure, il faut connaître la résistance caractéristique (f_k) à la compression des blocs de terre. Le terme de "résistance caractéristique" désigne une valeur de résistance qui est indépendante du format des blocs de terre. En effet, un bloc élancé se casse plus facilement qu'un bloc mince. La résistance caractéristique tient compte de la moyenne des résultats de résistance mais également de la dispersion de ces résultats autour de la valeur moyenne. Pour connaître cette résistance, il faut casser au minimum une série de 5 blocs, soit en flexion, soit en compression. On peut déterminer cette résistance sur des blocs secs d'au moins 3 semaines (résistance en compression sèche) ou sur des blocs du même âge qui ont été préalablement immergés (uniquement pour des blocs stabilisés) pendant 24 heures (résistance en compression humide). La résistance en compression humide permet de déterminer le niveau de performance du bloc et de vérifier l'efficacité de la stabilisation. On estime que, si la résistance à la compression humide n'est pas au moins égale à la moitié de la résistance à la compression sèche, la stabilisation est inefficace et l'on gaspille du stabilisant qui peut parfois, on doit le rappeler, constituer jusqu'à 50 % du coût du bloc. Pour connaître les contraintes admissibles (σ_{adm}) dans la maçonnerie, on appliquera des coefficients de sécurité qui tiennent compte de la qualité de production et de la construction ainsi que des facteurs de correction qui tiennent compte de la configuration de la maçonnerie en tant que structure.

Résistance en flexion

Un bloc test est posé (sur une de ses grandes faces) sur deux tubes de 25 mm diamètre espacés de 20 cm et perpendiculaires à la grande longueur du bloc. Dans l'axe du dessus du bloc, parallèle au petit côté, on pose un autre tube identique, surmonté d'un plateau en équilibre. On charge avec soin ce plateau au rythme de 250 kg/min avec d'autres blocs jusqu'à la rupture du bloc testé. On obtient une valeur de rupture en flexion. Multipliée par cinq, cette valeur indique la résistance en compression minimale.

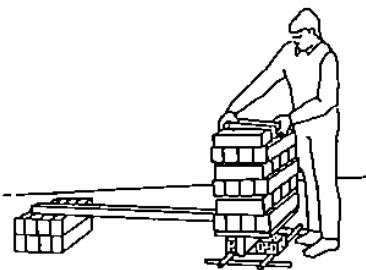
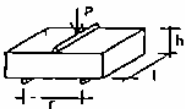


Fig. 171 : Casse-blocs pour essai de la résistance en flexion.

n = nombre de blocs testés



P = charge à la rupture
 L = écartement des tubes

Résistance minimale à la compression d'un bloc

$$(\sigma_i) \text{ et moyenne } (= \sigma_m)$$

$$\sigma_i = 5 \times \left(\frac{1,5 \times E \times P}{L \times h^2} \right) \text{ et } \sigma_m = \frac{\sum \sigma_i}{n}$$

Résistance caractéristique ($= f_k$)

$$f_k = \sigma_m (1 - 1,64 \delta)$$

$$\delta = \frac{S}{\sigma_m} \text{ (écart type)}$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum (\sigma_m - \sigma_i)^2}{n - 1}}$$

Résistance en compression

On peut écraser des blocs à l'aide d'une presse de chantier ou de laboratoire. Le bloc est posé entre les plateaux de la presse, dans le sens de pose de la maçonnerie. On impose soit un déplacement constant des plateaux de 0,001 mm/s ou une charge croissante de 0,05 MPa/s. jusqu'à la rupture complète du bloc. Pour éviter les problèmes de frottement entre le bloc et les plateaux de la presse, on intercale des plaques de néoprène graissées sur la face en contact avec les plateaux.

A la suite de cet écrasement, on peut calculer la résistance à la compression du bloc (σ_i). Il faut ensuite calculer la résistance moyenne des blocs (σ_m). Afin de permettre une comparaison entre blocs de différents formats, on divise la résistance moyenne par un facteur de conversion (f) pour le format propre du bloc. Ensuite, on multiplie la résistance obtenue par un facteur de dispersion des résultats autour de la moyenne ($1 - 1,64 \delta$). Au plan statistique, on peut ainsi être certain que 95 % des résultats sont supérieurs à la valeur exprimée.

FACTEUR DE CONVERSION POUR FORMAT DU BLOC (f)

| Format en cm L x l x h | (f) |
|------------------------|------|
| 29,5 x 14 x 9 cm | 1,65 |
| 29,5 x 9 x 14 cm | 1,15 |
| 29,5 x 14 x 14 cm | 1,18 |
| 29,5 x 19 x 19 cm | 1,00 |
| 19 x 14 x 9 cm | 1,47 |
| 19 x 14 x 14 cm | 1,12 |
| 19 x 19 x 9 cm | 1,56 |

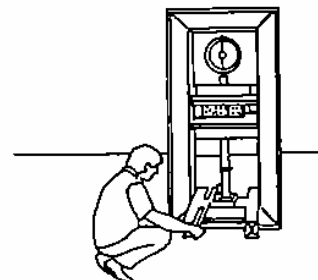
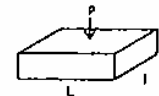


Fig. 172 : Ecrasement à l'aide d'une presse. Machine pour essai de résistance à la compression comprenant un cadre métallique, un cric hydraulique, une plaque de compression et un anneau dynamométrique.

n = nombre de blocs testés



P = rupture de charge

Résistance à la compression d'un bloc ($= \sigma_i$) et moyenne ($= \sigma_m$)

$$\sigma_i = \frac{P}{L \times l} \text{ et } \sigma_m = \frac{\sum \sigma_i}{n}$$

Résistance caractéristique ($= f_k$)

$$f_k = \frac{\sigma_m}{f} (1 - 1,64 \delta)$$

où

f = facteur de conversion pour format

$$\delta = \frac{S}{\sigma_m} \text{ (écart type)}$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum (\sigma_m - \sigma_i)^2}{n - 1}}$$

COEFFICIENT DE SECURITE ET ELANCEMENT

COEFFICIENT DE SECURITE

La résistance caractéristique à la compression ne suffit pas à elle seule car d'autres contraintes ou sollicitations s'ajoutent à cette seule performance des blocs. Pour tenir compte de ces contraintes et sollicitations, on va diviser la résistance caractéristique (f_k) par un coefficient de sécurité. Celui-ci n'est pas un chiffre unique et invariable ; il peut varier entre 10 et 15.

Le coefficient de sécurité prend en compte la dispersion dans la qualité d'exécution de la maçonnerie, la logique du concept architectural et de la structure, la nature du matériau et du mortier, le type d'exécution du chantier. Plus on maîtrise ces différents facteurs, moins le coefficient de sécurité est élevé. Pour s'orienter dans les choix de conception de l'ouvrage, on pourra se référer aux paramètres suivants.

Concept de structure

Une distribution régulière des charges et des ouvertures répartit bien les charges, évite des concentrations ponctuelles et permet à la maçonnerie de travailler à des taux plus faibles.

Détails constructifs

Un bon soubassement et une bonne toiture protègent le bâtiment contre les intempéries et les dégradations, le rendant plus résistant.

Conditions climatiques

Selon les conditions climatiques, le bâtiment sera plus ou moins exposé aux intempéries et l'on devra être plus ou moins exigeant sur la qualité des blocs.

Genre de bâtiments

On distingue deux principaux genres.

Des bâtiments sans étage : contraintes de charges minimales, peu d'effets aérodynamiques, peu de surface exposée aux intempéries.

Des bâtiments à étages : contraintes de charges importantes, effets aérodynamiques dus à une forte exposition au vent, importante surface exposée aux intempéries.

Destination du bâtiment

Utilisation individuelle privée du type maison : la qualité d'exécution prend en compte le facteur entretien qui varie selon qu'il s'agit d'habitat locatif (investissement limité) ou d'habitat en propriété (investissement assuré).

Utilisation publique : équipements collectifs. La qualité d'exécution doit être particulièrement soignée car ces ouvrages ont une vocation d'usage social, une valeur d'exemple et leur entretien n'est pas toujours bien assuré.

Protection du bâtiment

Un ouvrage en terre doit pouvoir résister à l'action de l'eau. La qualité du matériau est importante mais la conception de l'ouvrage l'est davantage. On peut prévoir, par ordre de préférence :

- une conception spéciale du bâtiment avec soubassement élevé, larges débords de toiture ;
 - une protection de surface : enduits, badigeons ;
 - un traitement spécial du matériau par stabilisation, par imprégnation.
- L'ensemble de ces solutions n'est, bien sûr, pas incompatible.

ELANCEMENT (λ)

Un mur mince et élevé est exposé à un risque de flambement, même si les blocs sont résistants. On impose donc au mur un élanement maximal de 20.

$$\lambda = \frac{h_{ef}}{t_{ef}} < 20$$

λ = élanement
 h_{ef} = hauteur effective
 t_{ef} = épaisseur effective

La hauteur effective d'un mur (h_{ef}) dépend du type d'encastrement entre le mur, les fondations et les planchers. Le tableau ci-joint (fig. 173) montre qu'un mur de clôture, considéré comme un mur libre, est deux fois plus élané qu'un mur de même hauteur sur lequel repose une dalle. Pour l'épaisseur effective (t_{ef}), on constate qu'un mur de 14 cm d'épaisseur avec des contreforts de 29,5 cm tous les 1,5 m est à peu près 1,5 fois moins élané qu'un mur identique de 14 cm d'épaisseur sans contreforts.

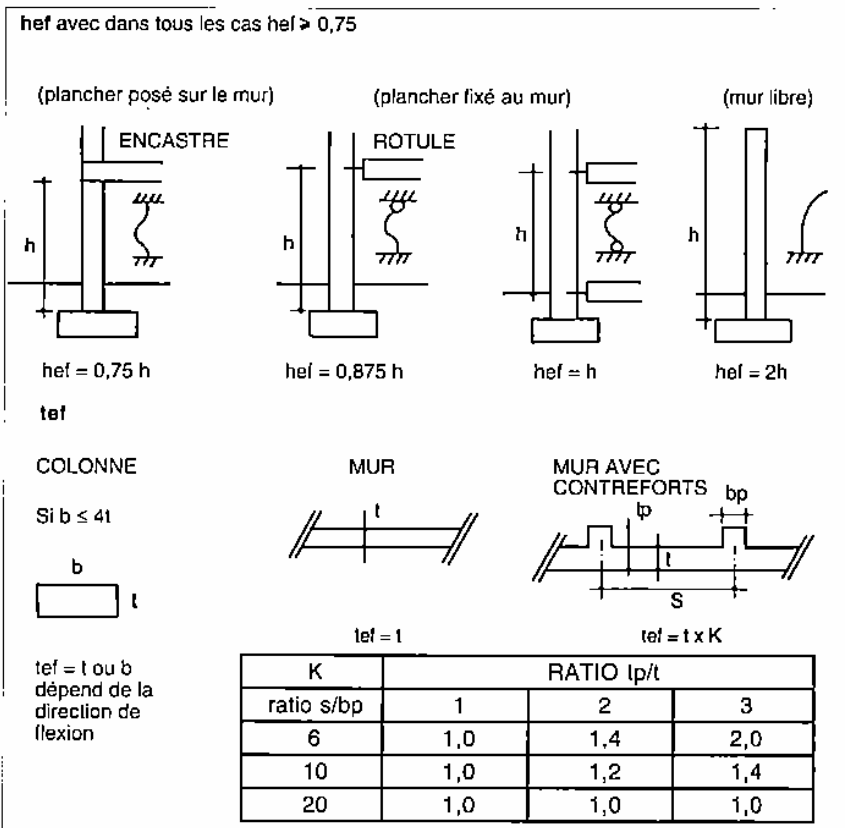


Fig. 173 : Comparaison de valeurs de hauteurs et d'épaisseurs effectives pour des murs de conception différente ayant pourtant une hauteur et une épaisseur communes.

CONTRAINTES ADMISSIBLES

Murs à section faible ($\Omega < 0,3 \text{ m}^2$)

Pour des murs à section inférieure à $0,3 \text{ m}^2$, il faut prendre la résistance caractéristique, multiplier par le facteur de correction pour l'élanement (c), diviser par le coefficient de sécurité et multiplier par un facteur réducteur pour la faible section. Ce cas s'applique pour un mur trumeau entre deux ouvertures.

Le facteur de réduction est égal à $(0,75 + \frac{\Omega}{1,2})$ avec Ω = superficie de la section en m^2 .

Murs à faible élanement ($\lambda < 6$)

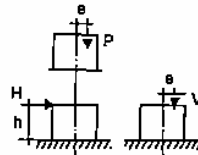
Dans ce cas, la contrainte admissible s'obtient en divisant la résistance caractéristique à la compression des blocs (f_k) par le coefficient de sécurité qui peut varier entre 10 et 15. Ce sont des conditions assez sévères car il s'agit d'un calcul simplifié et parce qu'on néglige bien souvent plusieurs facteurs : la qualité du mortier, la qualité de l'appareillage, etc. Une plus grande maîtrise des facteurs et un calcul détaillé des descentes de charges permettrait de diminuer ce coefficient de sécurité. Il faut donc situer ces contraintes admissibles au niveau d'un calcul rapide et cela dès le stade de l'avant-projet. Dans beaucoup de cas cette connaissance anticipée des contraintes pourra suffire sauf en situations extrêmes (régions soumises à des risques sismiques ou au passage de cyclones).

Murs à élanement élevé ($6 < \lambda < 20$)

Pour des murs à élanement élevé, on calcule la contrainte admissible de la même façon que ci-dessus et on multiplie par un facteur de correction (c) supplémentaire qui tient compte de l'élanement du mur et du type d'application des charges. Un mur chargé de façon excentrique flambera plus rapidement qu'un mur chargé de façon axiale. Cette excentricité peut avoir deux origines :

- application de charges désaxées,
ex. : plancher accroché au mur en porte-à-faux

- application de charges horizontales,
ex. : le vent, que l'on va convertir en charge verticale désaxée



L'excentricité est exprimée par le facteur $m = \frac{6e}{t_{ef}}$ qui tient compte de la position des charges verticales vis-à-vis du tiers central du mur.

Les exemples (fig. 174 à 176) illustrent comment les contraintes admissibles varient avec l'épaisseur du mur et la section du mur : un mur appareillé en boutisse (30 cm d'épaisseur) peut supporter 4,5 fois plus de charges qu'un mur trumeau appareillé en panneresse (épaisseur de 14 cm).

| λ | FACTEURS DE CORRECTION (c) | | |
|-----------|----------------------------|---|--|
| | Charge axiale | excentricité $m = \frac{6e}{t_{ef}} \leq 1$ | excentricité $m = \frac{6e}{t_{ef}} = 2$ |
| 6 | 1 | 1 | 0,98 |
| 8 | 0,92 | 0,92 | 0,87 |
| 10 | 0,84 | 0,82 | 0,76 |
| 12 | 0,76 | 0,72 | 0,65 |
| 14 | 0,67 | 0,62 | 0,54 |
| 16 | 0,58 | 0,52 | 0,42 |
| 18 | 0,50 | 0,42 | 0,30 |

Exemple : MUR DE 30

- coef. de sécurité = 10
- résistance caractéristique (f_k) = 2 MPa
- $t_{ef} = t = 30 \text{ cm}$
- $h_{ef} = 0,75 h = 180 \text{ cm}$
- élanement (λ)

$\lambda = \frac{180}{30} = 6$

$t = 30 = t_{ef}$
 $h = 240$
 $h_{ef} = 0,75 h$

- Contrainte admissible
- $\sigma_{adm} = \frac{f_k}{10} = 0,2 \text{ MPa}$

Hormis son poids propre, ce mur peut supporter à sa base une charge linéaire (F) de 4 500 kg/ml.

Fig. 174 : Exemple de calcul des contraintes admissibles sur un mur à faible élanement.

Exemple : MUR DE 14

- coef. de sécurité = 10
- résistance caractéristique (f_k) = 2 MPa
- $t_{ef} = t = 14 \text{ cm}$
- $h_{ef} = 0,75 h = 180 \text{ cm}$
- élanement (λ)

$\lambda = \frac{180}{14} = 13$

$t = 14 = t_{ef}$
 $h = 240$
 $h_{ef} = 0,75 h$

- on suppose la charge appliquée au liers médian $m = 1$
- facteur de correction 0,67 ($\lambda = 13$ et $m = 1$)
- Contrainte admissible

$\sigma_{adm} = \frac{f_k}{10} \times 0,67 = 0,13 \text{ MPa}$

Hormis son poids propre, ce mur peut supporter à sa base une charge linéaire (F) de 1 200 kg/ml.

Nous constatons donc que la réduction de l'épaisseur du mur par 2 réduit les charges admissibles presque par 4.

Fig. 175 : Exemple de calcul de charges admissibles pour un mur à élanement élevé.

Exemple : MUR DE 14 avec OUVERTURE

- section du trumeau $\Omega = 0,14 \times 1 = 0,14 \text{ m}^2$
- correction à cause de la section faible

$\Omega = 0,75 + \frac{\Omega}{1,2} = 0,87$

$t = 14 = t_{ef}$
 $h = 240$
 $h_{ef} = 0,75 h$

- correction à cause de l'élanement (voir ci-dessus) ($\lambda = 13$ et $m = 1$) soit 0,67
- résistance caractéristique = 2 MPa
- coefficient de sécurité = 10
- contrainte admissible

$\sigma_{adm} = \frac{2 \times 0,87 \times 0,67}{10} = 0,12 \text{ MPa}$

CHARGE ADMISSIBLE = 1 000 kg/ml

Fig. 176 : Exemple de calcul de charges admissibles pour un mur à section faible.

EXEMPLE DE CALCUL SIMPLIFIE

Pour des bâtiments de plain-pied, la descente des charges est d'environ 0,10 MPa et de 0,15 MPa s'il y a un étage. Prenons l'exemple de conditions assez défavorables et voyons quel type de blocs on pourrait utiliser pour un bâtiment à un étage. Ce cas défavorable est celui d'un mur trumeau entre deux ouvertures, avec une hauteur entre planchers de 2,40 m.

Le tableau ci-contre (fig. 177) montre quelle est la résistance caractéristique nécessaire des blocs selon diverses configurations de la maçonnerie et pour divers coefficients de sécurité, en partant d'une excentricité des charges ($m = 1$). Dans le cas le plus défavorable, il faut une résistance caractéristique (f_k) de 4 MPa, ce qui correspond à des blocs d'une résistance à la compression par écrasement de 7,5 MPa que l'on doit considérer comme très sévère. Par contre, on voit qu'une simple modification de la configuration de la maçonnerie contribue à abaisser sensiblement la résistance nécessaire et que très vite, cela devient raisonnable, même avec des coefficients de sécurité très élevés.

A titre indicatif, nous avons joint un tableau de valeurs typiques que l'on peut attendre d'un bloc en terre comprimée. Ces données concernent des blocs stabilisés. Si les blocs ne sont pas stabilisés, la résistance à la compression humide baisse jusqu'à devenir quasiment nulle. De même, la résistance à la traction, flexion et cisaillement baisse légèrement. Nous rappelons que ces règles de calcul simplifiées ne s'appliquent qu'à un stade d'avant-projet et qu'elles ne peuvent s'appliquer pour des situations extrêmes (régions sismiques ou à risque cyclonique). Dans ces cas il faut adopter des solutions de maçonneries renforcées ou armées qui nécessitent des calculs spécifiques.

Résistance caractéristique nécessaire pour un bâtiment à un étage


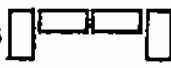
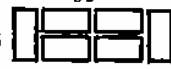
| fk (MPa) | Coefficients de sécurité | | |
|--|--------------------------|---------|---------|
| | 10 | 12 | 15 |
| Type de mur | | | |
| 90 14  | 2,6 MPa | 3,1 MPa | 4 MPa |
| 90 29,5  | 2 MPa | 2,3 MPa | 2,9 MPa |
| 90 29,5  | 1,5 MPa | 1,8 MPa | 2,3 MPa |

Fig. 177 : Relation entre la résistance caractéristique et la configuration de la maçonnerie.

Valeurs typiques pour des blocs de terre comprimée stabilisée au format de 29,5 x 14 x 9 cm

| | |
|--|--|
| Résistance à la compression sèche (obtenue par écrasement dans une presse) | $\sigma_m = 4 \text{ à } 5 \text{ MPa}$ |
| Résistance à la compression humide | $\sigma_m = 2 \text{ à } 2,5 \text{ MPa}$ |
| Résistance caractéristique sèche | $f_k = 2,2 \text{ à } 2,7 \text{ MPa}$ |
| Résistance à la traction | 0,5 à 1 MPa |
| Flexion parallèle aux joints horizontaux | 0,5 MPa à 1 MPa |
| Cisaillement: | 0,5 MPa |
| Coefficient de Poisson : | $\mu = 0,5$ |
| Module d'élasticité | $E = 50 \text{ à } 70 \text{ 000 kg/cm}^2$ |
| Compression ponctuelle : | 6 à 7 MPa |

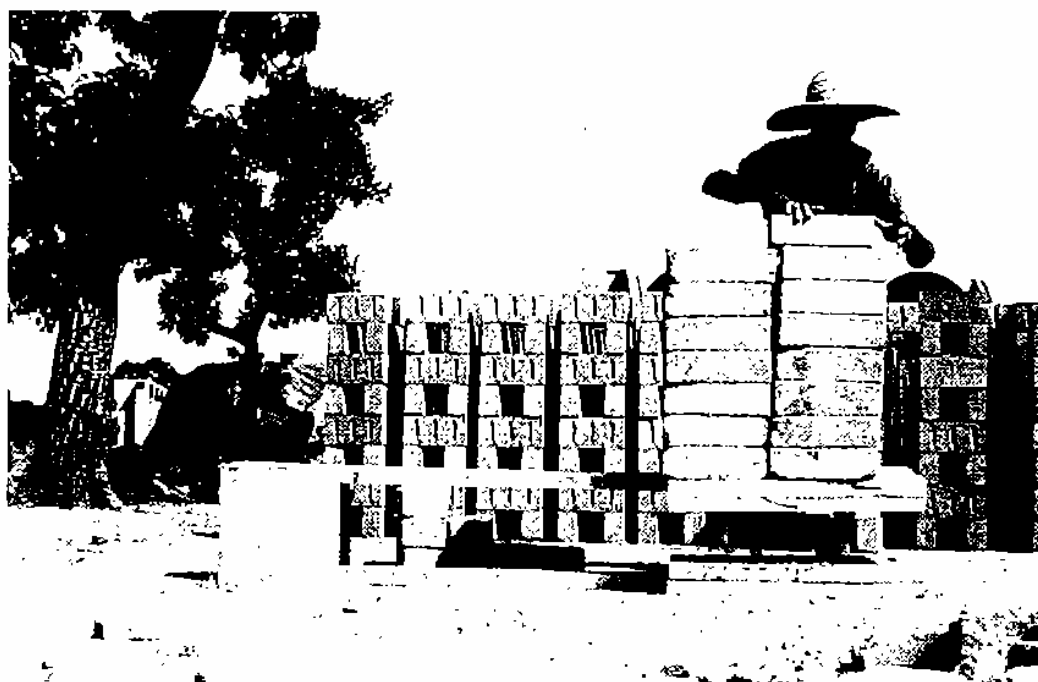


Fig. 178 : Utilisation d'un casse-blocs de chantier pour calcul approché de la résistance à la traction en flexion (cf. p. 64).

ECONOMIE DE LA CONSTRUCTION

Etude comparative de coût

Une étude comparative de coût doit obligatoirement prendre en compte un ensemble de facteurs, à plusieurs niveaux.

Il est clair que la comparaison ne peut s'effectuer à partir du seul prix unitaire du bloc de terre comprimée.

Les exemples que nous considérons ici montrent que dans 1 m² de mur, ce seul coût du bloc ne peut suffire.

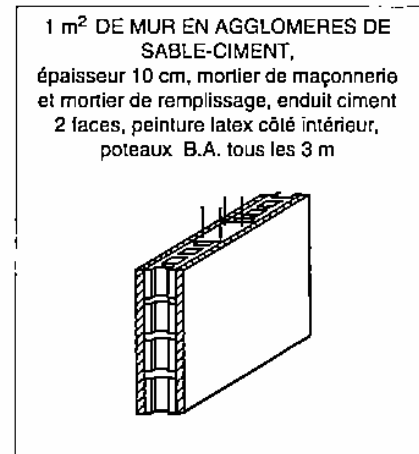
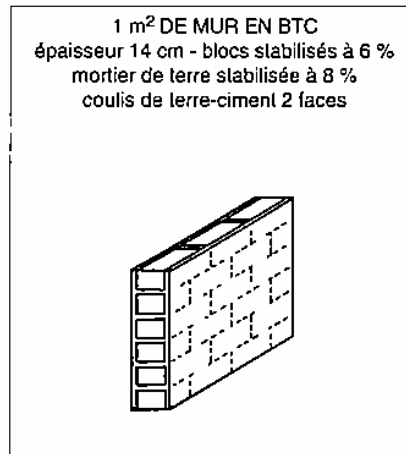
En effet, la faisabilité de la filière bloc de terre comprimée et ses avantages au plan économique dépendent :

- du coût des matières premières (exploitation des carrières, transport) ;
- du coût des blocs (production) ;
- du coût de la main-d'œuvre (briquettiers, maçons, etc.) ;
- du type d'organisation de la production et de la construction (autoconstruction, tâcheron ou entreprise) ;
- des types de systèmes constructifs mis en œuvre dans les ouvrages ;
- de la qualité des finitions.

Les exemples que nous prenons comparant 1 m² de mur terminé, l'un en blocs de terre comprimée stabilisée et l'autre en agglomérés de sable-ciment avec ossature en béton armé, et ceci dans des contextes différents.

L'analyse des résultats indique clairement qu'il est difficile et totalement arbitraire d'avancer des conclusions susceptibles d'avoir une portée universelle. Selon tous les facteurs pris en compte, il se peut qu'une solution, retenue comme intéressante dans un contexte, ne le soit pas dans un autre.

Cette analyse, tout en étant intéressante, ne peut être considérée comme complète si elle ne tient pas compte de l'objectif final qui est de construire un bâtiment complet. Il faut donc établir une comparaison de coût entre les filières sur la base du coût final et total des ouvrages.



| COUT PAR TYPE D'ORGANISATION | | |
|------------------------------|------------------|------------------|
| U.S. \$ / m ² | GUINEE BISSAU | PHILIP- PINES |
| autoconstruction | 3,90 | 2,95 |
| tâcheron | 4,87 | 5,99 |
| entreprise | 5,73 | 8,26 |
| REPARTITION POUR TÂCHERON | | |
| TOTAL \$ / m ² | 4,87 | 5,99 |
| investissement | 23 % | 12 % |
| salaires | 20 % | 51 % |
| mat. premières | 57 % | 37 % |

| COUT PAR TYPE D'ORGANISATION | | |
|------------------------------|------------------|------------------|
| U.S. \$ / m ² | GUINEE BISSAU | PHILIP- PINES |
| autoconstruction | 5,42 | 5,43 |
| tâcheron | 6,88 | 10,01 |
| entreprise | 10,12 | 18,62 |
| REPARTITION POUR TÂCHERON | | |
| TOTAL \$ / m ² | 6,88 | 10,01 |
| investissement | 7 % | 3 % |
| salaires | 21 % | 46 % |
| mat. premières | 72 % | 51 % |

| COUT MATIERES PREMIERES | | |
|-------------------------|------------------|------------------|
| US \$ / m ² | GUINEE BISSAU | PHILIP- PINES |
| eau | 0,02 | 0,01 |
| ciment | 2,74 | 1,86 |
| terre | 0,03 | 0,34 |

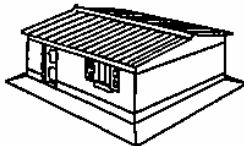
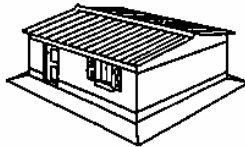
| COUT MATIERES PREMIERES | | |
|-------------------------|------------------|------------------|
| US \$ / m ² | GUINEE BISSAU | PHILIP- PINES |
| eau | 0,03 | 0,01 |
| ciment | 3,14 | 2,13 |
| gravier | 0,12 | 0,59 |
| sable | 0,21 | 1,10 |
| acier | 0,67 | 0,57 |
| peinture | 0,49 | 0,29 |
| bois de coffrage | 0,30 | 0,42 |

| COUT PAR ELEMENT | | |
|------------------|------------------|------------------|
| % | GUINEE BISSAU | PHILIP- PINES |
| blocs BTC | 62 % | 53 % |
| mortier | 11 % | 8 % |
| badigeon | 5 % | 11 % |
| maçonnerie | 22 % | 28 % |

| COUT PAR ELEMENT | | |
|------------------|------------------|------------------|
| % | GUINEE BISSAU | PHILIP- PINES |
| agglos | 21 % | 23 % |
| mortier | 3 % | 2 % |
| remplissage | 16 % | 12 % |
| poteaux B.A. | 22 % | 17 % |
| enduit | 20 % | 29 % |
| peinture | 8 % | 6 % |
| maçonnerie | 10 % | 11 % |

Fig 179 : Comparaison du coût d'1m² de mur en BTC et en blocs de sable-ciment selon divers facteurs.

ETUDE COMPARATIVE

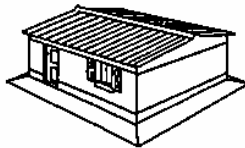

| | | | | | | | | | | |
|---|-----------|--------------------------|-------------|-----------------|-------------|------------------------|-----------|------------|------|-----|
| MAISON EN ADOBE DE 36 m ² MURS EPAIS DE 20 cm TOITURE DOUBLE PENTE EN TOLES, CHAINAGE EN BOIS | | COÛT TACHERON AU SENEGAL | ADOBE | | | | | | | |
|  | | | Fondations | 60 % | 11 % | | | | | |
| | | | Maçonnerie | | 37 % | | | | | |
| Toiture | 12 % | | | | | | | | | |
|  | | Enduit | 20 % | 14 % | | | | | | |
| | | Finition | | 6 % | | | | | | |
| <table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td>Coût total</td> <td style="text-align: right;">4 087 US \$</td> </tr> <tr> <td>Coût maçonnerie</td> <td style="text-align: right;">1 514 US \$</td> </tr> <tr> <td>Coût au m²</td> <td style="text-align: right;">113 US \$</td> </tr> </table> | | Coût total | 4 087 US \$ | Coût maçonnerie | 1 514 US \$ | Coût au m ² | 113 US \$ | Menuiserie | 20 % | 8 % |
| | | Coût total | 4 087 US \$ | | | | | | | |
| | | Coût maçonnerie | 1 514 US \$ | | | | | | | |
| Coût au m ² | 113 US \$ | | | | | | | | | |
| Electricité | 2 % | | | | | | | | | |
| Plomberie | 10 % | | | | | | | | | |

Comparaison sur le coût total

(Contexte d'un projet au Sénégal.)

Une économie importante sur le coût de la maçonnerie des murs ne se traduit pas forcément en économie aussi importante sur le coût total du bâtiment.

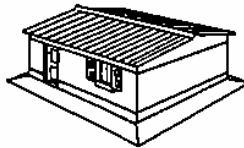
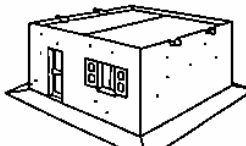
L'exemple que nous considérons ici illustre que pour un même type de plan de maison simple sur lequel seul varie le système constructif des murs, la maison aux murs de blocs de terre comprimée coûte 30 % de plus que la maison aux murs d'adobe, alors que le coût de la maçonnerie, considérée, à part est 73 % plus cher.

| | | | | | | | | | | |
|---|-----------|--------------------------|--------------------------|-----------------|-------------|------------------------|-----------|------------|------|-----|
| MAISON EN BTC DE 36 m ² MURS EPAIS DE 14 cm TOITURES DOUBLE PENTE EN TOLES, CHAINAGE EN BETON ARME | | COÛT TACHERON AU SENEGAL | BLOCS DE TERRE COMPRIMEE | | | | | | | |
|  | | | Fondations | 70 % | 10 % | | | | | |
| | | | Maçonnerie | | 50 % | | | | | |
| Toiture | 10 % | | | | | | | | | |
|  | | Enduit | 12 % | 7 % | | | | | | |
| | | Finition | | 5 % | | | | | | |
| <table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td>Coût total</td> <td style="text-align: right;">5 252 US \$</td> </tr> <tr> <td>Coût maçonnerie</td> <td style="text-align: right;">2 620 US \$</td> </tr> <tr> <td>Coût au m²</td> <td style="text-align: right;">146 US \$</td> </tr> </table> | | Coût total | 5 252 US \$ | Coût maçonnerie | 2 620 US \$ | Coût au m ² | 146 US \$ | Menuiserie | 18 % | 7 % |
| | | Coût total | 5 252 US \$ | | | | | | | |
| | | Coût maçonnerie | 2 620 US \$ | | | | | | | |
| Coût au m ² | 146 US \$ | | | | | | | | | |
| Electricité | 3 % | | | | | | | | | |
| Plomberie | 8 % | | | | | | | | | |

De même, la maison en blocs de terre comprimée coûte 32 % de moins que celle construite en agglomérés de sable-ciment alors que la maçonnerie des murs ne représente qu'une économie de 32 %.

La différence résulte du fait que les murs en blocs de sable-ciment nécessitent des enduits de finition dont le prix a un gros impact sur le coût total du bâtiment.

L'économie potentielle du bloc de terre comprimée disparaît totalement si l'on change de toiture, ce que représente le tableau du bas.

| | | | | | | | | | | |
|---|-----------|--------------------------|------------------------|-----------------|-------------|------------------------|-----------|------------|------|-----|
| MAISON EN AGGLOS DE 36 m ² MURS EPAIS DE 15 cm TOITURE DOUBLE PENTE EN TOLES, POTEAUX ET POUTRES EN BETON ARME | | COÛT TACHERON AU SENEGAL | AGGLOS DE SABLE-CIMENT | | | | | | | |
|  | | | Fondations | 68 % | 12 % | | | | | |
| | | | Maçonnerie | | 49 % | | | | | |
| Toiture | 7 % | | | | | | | | | |
|  | | Enduit | 19 % | 16 % | | | | | | |
| | | Finition | | 3 % | | | | | | |
| <table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td>Coût total</td> <td style="text-align: right;">7 749 US \$</td> </tr> <tr> <td>Coût maçonnerie</td> <td style="text-align: right;">3 824 US \$</td> </tr> <tr> <td>Coût au m²</td> <td style="text-align: right;">215 US \$</td> </tr> </table> | | Coût total | 7 749 US \$ | Coût maçonnerie | 3 824 US \$ | Coût au m ² | 215 US \$ | Menuiserie | 13 % | 5 % |
| | | Coût total | 7 749 US \$ | | | | | | | |
| | | Coût maçonnerie | 3 824 US \$ | | | | | | | |
| Coût au m ² | 215 US \$ | | | | | | | | | |
| Electricité | 2 % | | | | | | | | | |
| Plomberie | 6 % | | | | | | | | | |

Il faut donc comparer ce qui est comparable. Si l'on fait des choix plus coûteux au niveau d'autres éléments du bâtiment (ici la toiture), on peut perdre l'avantage d'avoir utilisé le bloc de terre comprimée.

D'un autre côté, à qualité et prix équivalents, on a une maison en blocs de terre à laquelle on peut rajouter des prestations (V.R.D., aménagements extérieurs, garage, etc.) ou une maison en agglomérés de sable-ciment.

D'autres arguments jouent en faveur du bloc de terre comprimée :

- la création d'emplois qualifiés,
- l'économie de devises,
- l'économie de matières premières,
- un confort thermique supérieur.

Le dernier tableau illustre cette possibilité : pour le même prix que la maison en blocs de sable-ciment, on propose une maison en blocs de terre comprimée plus confortable.

Finalement, il faut aussi mentionner que le concept structural et architectural du bâtiment est déterminant sur le coût total.

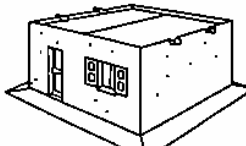

| | | | | | | | | | | |
|---|-----------|--------------------------|--------------------------|-----------------|-------------|------------------------|-----------|------------|------|-----|
| MAISON EN BTC de 36 m ² MURS EPAIS DE 14 cm TOITURE EN DALLES DE BETON ARME ET CHAINAGE EN BETON ARME | | COÛT TACHERON AU SENEGAL | BLOCS DE TERRE COMPRIMEE | | | | | | | |
|  | | | Fondations | 79 % | 7 % | | | | | |
| | | | Maçonnerie | | 43 % | | | | | |
| Toiture | 29 % | | | | | | | | | |
|  | | Enduit | 10 % | 7 % | | | | | | |
| | | Finition | | 3 % | | | | | | |
| <table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td>Coût total</td> <td style="text-align: right;">7 324 US \$</td> </tr> <tr> <td>Coût maçonnerie</td> <td style="text-align: right;">3 052 US \$</td> </tr> <tr> <td>Coût au m²</td> <td style="text-align: right;">203 US \$</td> </tr> </table> | | Coût total | 7 324 US \$ | Coût maçonnerie | 3 052 US \$ | Coût au m ² | 203 US \$ | Menuiserie | 13 % | 5 % |
| | | Coût total | 7 324 US \$ | | | | | | | |
| | | Coût maçonnerie | 3 052 US \$ | | | | | | | |
| Coût au m ² | 203 US \$ | | | | | | | | | |
| Electricité | 2 % | | | | | | | | | |
| Plomberie | 6 % | | | | | | | | | |

Fig. 180 : Comparaison de coûts totaux de bâtiments similaires pour un projet au Sénégal.



Fig. 181 : Villa privée au Maroc.

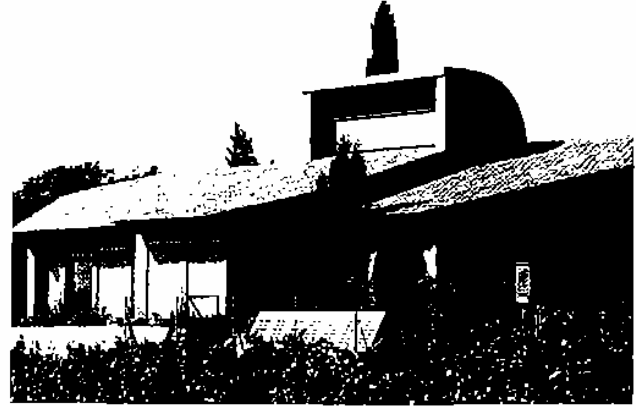


Fig. 182 : Maison bioclimatique dans le sud de la France.



Fig. 183 : Habitat locatif à étage, île de Mayotte. Réalisation SIM.



Fig. 184 : Centre de promotion de l'artisanat rural, Dori, Burkina Faso.

REALISATIONS ARCHITECTURALES OU PROJETS



Fig. 185 : Hôtel de luxe à Marrakech, Maroc.

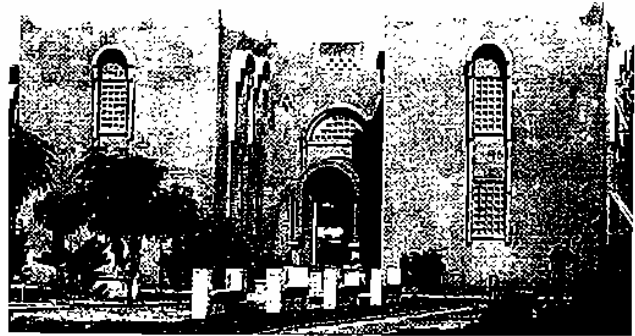


Fig. 186 : Logements pour étudiants à Ouagadougou, Burkina Faso.

Une architecture contemporaine

La deuxième partie de cet ouvrage consacré à la construction en blocs de terre comprimée veut montrer l'évidence d'une véritable modernité et diversité de l'emploi du matériau et la qualité des réalisations architecturales entreprises au cours des années 80.

Ces dix dernières années ont été propices à un développement significatif des architectures de terre dans beaucoup de pays. Le bloc de terre comprimée est désormais reconnu comme un matériau de construction riche de potentialités techniques, architecturales et aussi économiques. Il occupe une place de choix pour les concepteurs et les constructeurs dans l'ensemble de la gamme des matériaux disponibles sur le marché international du bâtiment. Les installations de filières de construction en blocs de terre comprimée sont de plus en plus fréquentes.

La réalisation de projets pilotes et expérimentaux associée à la formation des hommes a permis, dans des situations privilégiées, d'imprimer un développement exemplaire de l'emploi de ce matériau et la genèse d'un véritable patrimoine architectural fondé sur l'épanouissement d'un savoir-faire. Ce développement a produit des retombées sociales et économiques importantes grâce aux nombreux emplois qui ont été créés par les filières de production et de construction installées.



Fig. 187 : Villa à Ahmedabad, Inde.



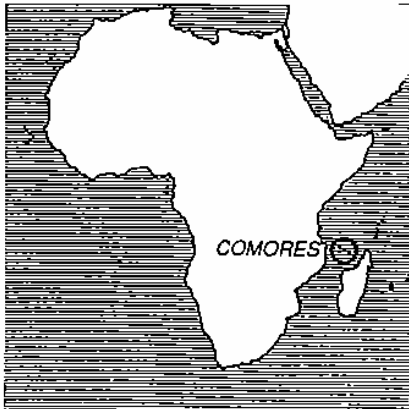
Fig. 188 : ADAUA, centre matériaux locaux, Burkina Faso.

L'évidence d'un nouveau savoir-faire

Le bloc de terre comprimée, dont l'emploi n'est rendu possible que par l'installation d'une filière de production, impose la nécessité d'un savoir-faire à toutes les étapes de sa production et de son utilisation architecturale, de l'identification des terres en carrières jusqu'à l'achèvement des ouvrages. Sur cette chaîne de production, se succèdent le carrier, le briquetier, l'architecte, le maçon briqueteur et l'entrepreneur, chacun d'entre eux connaissant les potentialités et les contraintes du matériau, chacun d'entre eux développant pour en tirer le meilleur parti ou y pallier, un savoir-faire spécifique. La construction en blocs de terre est un véritable terrain de formation qui associe étroitement l'intelligence constructive du matériau, du concepteur et du bâtisseur.

Les monographies de projets que nous présentons permettent de brosser un panorama des réalisations architecturales contemporaines. Elles traduisent la diversité du registre des applications architecturales dans le domaine de l'habitat comme dans le domaine des réalisations publiques, mais aussi la grande richesse des solutions constructives. Puisse cette exemplarité nourrir la confiance des futurs constructeurs et amplifier le désir d'employer ce matériau pour la réalisation d'habitats, d'écoles, de collèges ou de centres de santé mieux adaptés aux besoins et aux moyens des sociétés.

ARCHITECTURE D'HABITAT



Le bloc de terre au service de l'habitat social du grand nombre

Située dans l'archipel des Comores, dans le détroit du Mozambique, entre Madagascar et l'Afrique orientale, la petite île de Mayotte est un territoire d'outre-mer qui demeure rattaché à la France par choix de la population locale. Lorsque l'Administration française décide de répondre à l'attente de la population, en matière d'amélioration de l'habitat et d'équipement public, elle prend le parti délibéré, affirmé comme volonté politique, d'impulser un développement fondé sur l'utilisation des ressources locales. Afin d'éviter le risque d'une économie extravertie fondée sur l'importation des matériaux de construction, les décideurs et les élus locaux optent pour l'utilisation des gisements minéraux de l'île. Un vaste plan d'identification de ces ressources allait permettre l'installation d'une filière "bloc de terre comprimée" qui allait être le levier historique du développement de l'île grâce à l'activité économique générée par le secteur du bâtiment.

MAYOTTE

HABITAT TRES SOCIAL MAHORAIS : "AIDE EN NATURE"



Fig. 189 : Cases d'habitat social "Aide en nature" en blocs de terre comprimée, implantées sur un terrain en pente.

LOGEMENTS SOCIAUX A MAYOTTE

L'action exemplaire de la Société immobilière de Mayotte (SIM)

Dès 1978, pour répondre aux objectifs définis par la politique d'habitat social qui vise au renouvellement du parc de logements à raison de 750 logements par an pendant 10 ans, l'équipement sanitaire et éducatif de toutes les communes et le désenclavement des villages de l'île, la Direction de l'équipement met en place des structures de réflexion et de production. En ce qui concerne la mise en œuvre de la politique d'habitat social, elle est assurée à l'origine par une "Cellule habitat social" qui est intégrée à la Direction de l'équipement de l'île. Mais bientôt est créée une société d'économie mixte d'Etat, la Société immobilière de Mayotte (SIM), chargée de construire et de gérer les logements destinés aux fonctionnaires expatriés travaillant sur l'île et de prendre en charge la gestion des programmes d'habitat social destinés à la population mahoraise. Devant l'ampleur de la tâche à accomplir, l'activité de la SIM se tournera très vite et principalement vers ce volet habitat social, à raison de 95 % de son activité. Au début des années 90 et au terme de douze années d'activité continue dans ce domaine, la SIM a réalisé près de 6 000 logements sociaux en accession à la propriété (dont le modèle "Aide en nature" ici présenté) et près de 500 habitats locaux. Ce programme, unique au monde par son ampleur et par le caractère impressionnant des résultats obtenus, est aujourd'hui considéré comme une référence par les experts des questions d'habitat.

FICHE TECHNIQUE DESCRIPTIVE DU PROJET

Habitat très social, modèle "Aide en nature". Type réalisé au début des années 80.

Surface habitable : 33,6 m²

Surface hors œuvre : 40 m²

Nombre de pièces : 2 (chambres), chacune de 11,7 m²

Varangue : 1, de 10,2 m²

Réalisation : Société immobilière de Mayotte (SIM)

Construction : artisans locaux

Fondations : en loupes avec béton maigre de propreté puis béton cyclopéen réalisé avec des pierres basaltiques locales et du mortier de graves locales (dénommées "pouzzolanes") et de ciment. Profondeur des fondations : environ 40 cm.

Soubassement : en maçonnerie cyclopéenne de moellons de basalte hourdés au mortier de graves et de ciment. Hauteur minimum au-dessus du terrain naturel : 30 cm.

Matériau des murs : blocs de terre comprimée stabilisée au ciment (en moyenne à 8 %), hourdé au mortier de terre stabilisée.

Dimensions nominales des blocs de terre comprimée :
L x l x h = 29,5 x 14 x 9 cm.

Epaisseur des murs : 14 cm. Type d'appareillage : en panneresse.

Stabilité des murs : contreforts saillants au droit des tableaux de portes et fenêtres, appareillés avec le mur. Epaisseur des contreforts : 29,5 cm (longueur d'un bloc de terre).

Chaînage : sur l'ensemble des murs périphériques et des murs de refend, en béton armé d'une seule nappe de fers, coulé dans un coffrage perdu en blocs de terre comprimée stabilisée. Hauteur du chaînage : 15,5 cm.

Charpente-couverture : en pannes de bois scié portant de murs pignons à murs de refend. Pannes sablières ancrées au chaînage grâce à des fers en attente posés pendant le coulage du chaînage. Couverture : en bacs d'acier galvanisés avec lire-fond traversant les pannes.

Linteaux des baies : remplacés par des arcs surbaissés en blocs de terre comprimée.

Finitions. Sol : chape de mortier de graves et de ciment sur remblai compacté. Enduits : badigeon extérieur de terre-ciment très dilué ou peinture. Option peinture intérieure.



Fig. 190 : Modèle "Aide en nature". Peinture blanche extérieure.



Fig. 191 : "Aide en nature améliorée" (3 pièces et longue varangue).

ARCHITECTURE D'HABITAT

PLAN DU MODELE DE BASE DE "L'AIDE EN NATURE"

PREMIÈRE ASSISE DE BLOCS

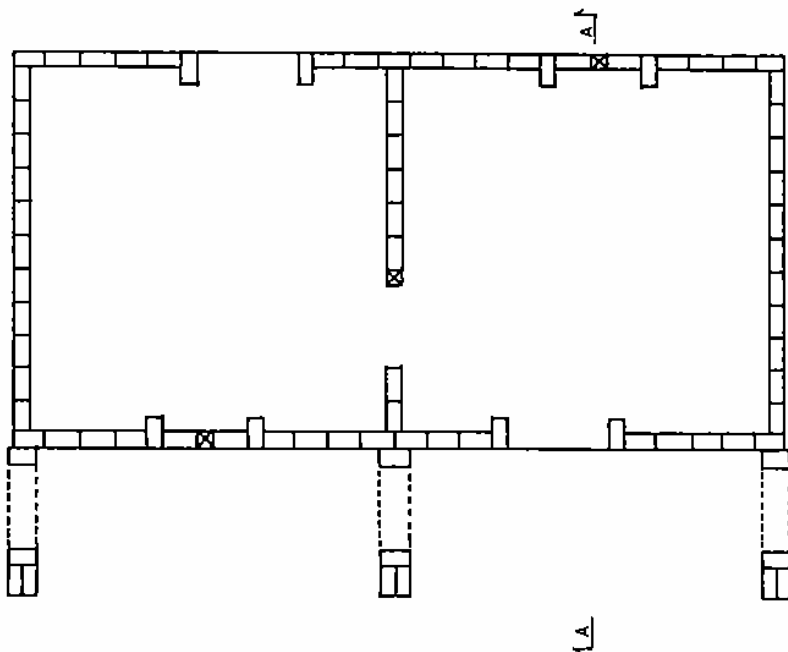


Fig. 192 : Calepinage de la 1ère assise de blocs de terre comprimée.

DEUXIÈME ASSISE DE BLOCS

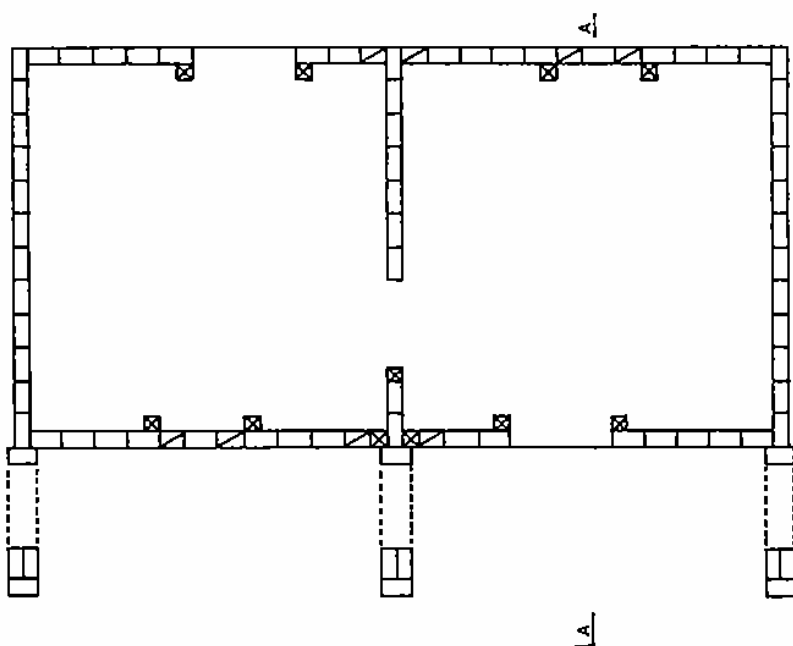


Fig. 193 : Calepinage de la 2e assise de blocs de terre comprimée.

"Aide en nature"

Le modèle d'habitat très social du type "Aide en nature" a reçu cette dénomination qui provient du mode d'attribution de l'aide à l'habitat caractérisant ce type de programme.

La subvention allouée aux futurs propriétaires de cet habitat est en effet accordée sous forme de matériaux et de conseils techniques pour la construction. Cette aide est concrétisée par la livraison de tôles de couverture (le toit), de blocs de terre comprimée stabilisée (les murs), de ciment (le mortier), de bois (la charpente), de clous et de fixations métalliques pour les tôles.

La participation du propriétaire, rarement mobilisable en argent, se traduit par un apport personnel en matériaux (les pierres des fondations et du soubassement) ou en équivalent travail.

Un ancrage dans la tradition d'habitat local

Préalablement au lancement du programme d'habitat social mahorais, une vaste enquête ethno-habitat a été réalisée auprès des populations locales par un ethnologue et des architectes, à la demande de la Direction de l'équipement.

Cette enquête permettait de repérer des invariants dans la conception de l'habitat villageois que les décideurs s'accordaient à préserver pour faciliter l'acceptabilité sociale des modèles proposés.

Ainsi, le modèle "Aide en nature" est un habitat minimal dont la conception est ancrée dans la tradition de la case mahoraise. Celle-ci est en effet constituée principalement de deux pièces, l'une la pièce de l'homme, l'autre la pièce de la femme. Cette case donne de part et d'autre sur l'espace public et sur un espace familial clos (le "shanza") par une petite terrasse couverte : la varangue. Le modèle "Aide en nature" reprend ces traits dominants.

LOGEMENTS SOCIAUX A MAYOTTE

Simplicité du système constructif

Un système de fondations et de soubassement en maçonnerie cyclopéenne est destiné à mettre hors d'eau le bâtiment. La maçonnerie, dressée en blocs de terre comprimée stabilisée, d'une épaisseur minimale de 14 cm, consolidée par des contreforts et par un chaînage, est directement dressée sur un sol en ciment coulé sur un terre-plein compacté.

On remarque sur les fig. 192 et 193, le calepinage précis des deux premières assises de blocs de terre qui serviront de référence aux artisans maçons pour réaliser une maçonnerie parfaitement appareillée. La maçonnerie de la varangue est constituée de piliers indépendants qui reçoivent des arcs en leur sommet mais ce système constructif de la varangue est relié à la maçonnerie des murs par le chaînage.

FAÇADES



Fig. 194 : Façade principale sur varangue.

Economie de ciment

Le ciment qui est importé sur l'île doit être utilisé au minimum afin de ne pas grever le coût total de la construction. Il est principalement utilisé comme mortier pour la réalisation des fondations en béton cyclopéen (dosage à 250 kg/m³) du soubassement en maçonnerie cyclopéenne, comme stabilisant du mortier de maçonnerie, comme mortier de chape de sol et enfin pour le béton du chaînage. Les linteaux en béton sont remplacés par des arcs en blocs de terre comprimée qui, par ailleurs, améliorent l'esthétique de cette case d'habitat social de conception très simple.

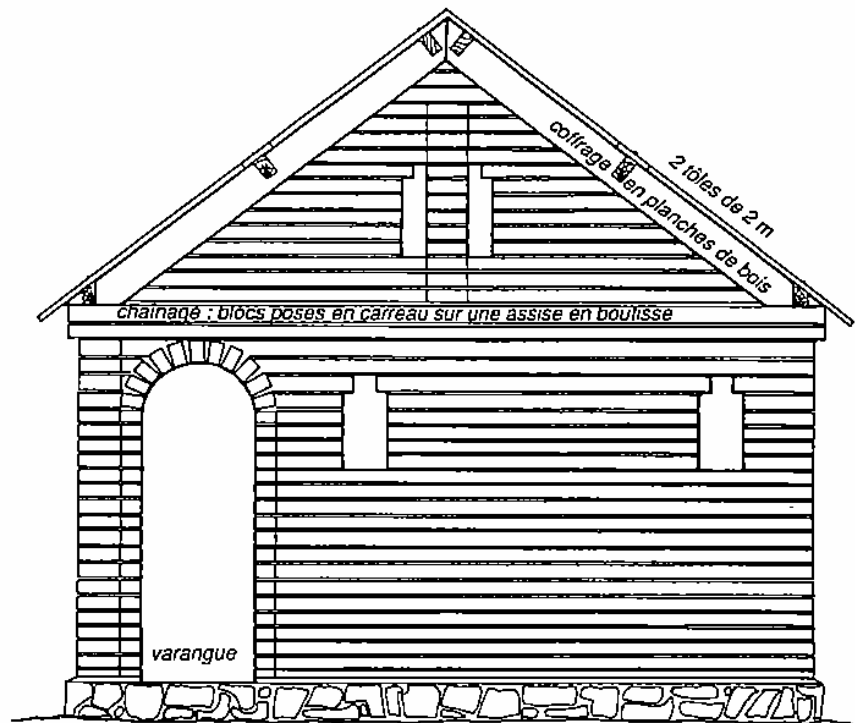


Fig. 195 : Façade du pignon. Noter le renfort vertical par un poteau appareillé.

ARCHITECTURE D'HABITAT

COUPE TRANSVERSALE

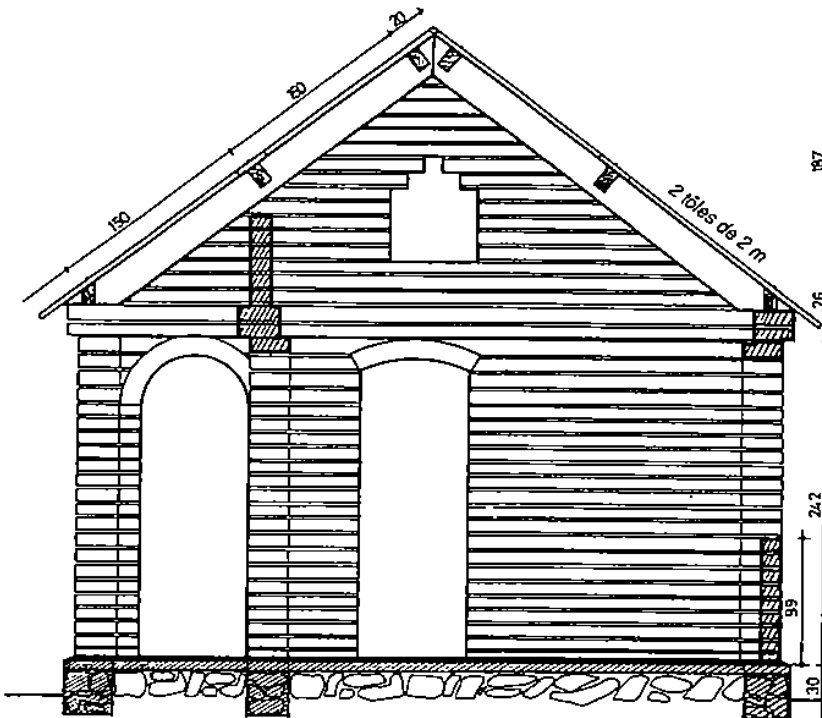


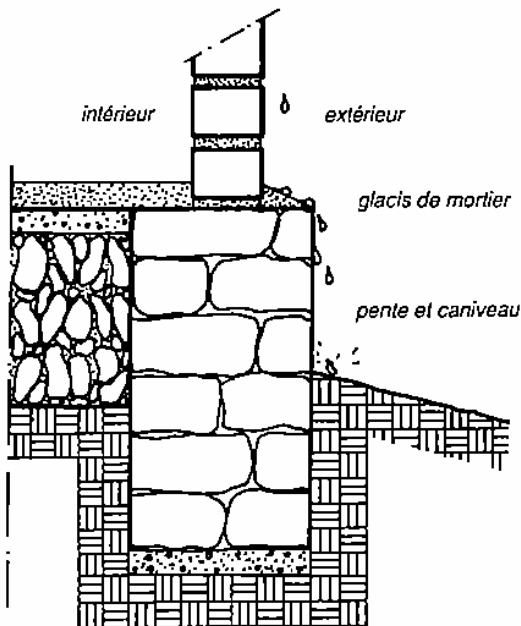
Fig. 196 : Coupe. Noter le registre des arcs plein cintre (varangue), surbaissés (portes et fenêtres) et en encorbellement (ventilation haute en pignon).

Des "bonnes bottes et un bon chapeau"

L'île de Mayotte est située en région climatique tropicale, chaude, humide et maritime. Le climat annuel fait alterner une saison sèche de juin à novembre et une saison des pluies, de décembre à mai. La fin de cette saison est parfois marquée par le passage d'une dépression tropicale et plus rarement par celui d'un cyclone (le cyclone "Kamisy" a frappé l'île en avril 1984).

Pour ces raisons et par le fait que le bloc de terre est le principal matériau de construction de l'habitat, la conception architecturale adopte le principe des "bonnes bottes et du bon chapeau". Les fondations et le soubassement constituent un seul bloc de maçonnerie élevé au-dessus du terrain naturel et prolongé par une rigole de drainage. L'évacuation du ruissellement des pluies le long des murs est assurée par un glacis de mortier en forme de pente (fig. 197).

FONDACTIONS ET SOUBASSEMENT



CHAINAGE ET DEBORD DE TOITURE

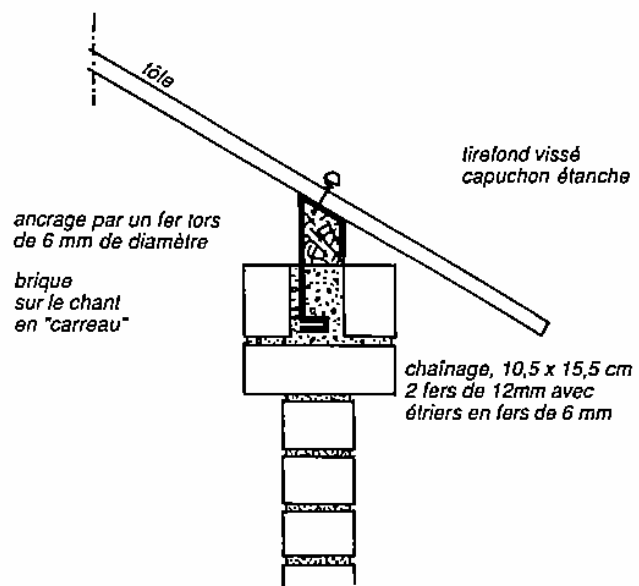


Fig. 197 : Principe d'évacuation de l'eau à la base du mur et principe d'ancrage de la toiture en rive basse.

LOGEMENTS SOCIAUX A MAYOTTE

En couronnement des murs, un chaînage B.A. dans un coffrage perdu en blocs de terre sert aussi à ancrer la panne sablière qui recevra la rive basse des bacs d'acier de la couverture, en dépassée du mur. Cet ancrage garantit aussi une meilleure tenue des bacs vis-à-vis du risque cyclonique (fig. 197, droite).

Utilisation optimale des matériaux locaux

Le principe d'utilisation optimale des matériaux locaux est directement illustré par la maçonnerie de blocs de terre comprimée dont la production exploite les gisements de terres latéritiques et de graves locales. Dans cette production, le ciment n'entre que pour 8 % dans la stabilisation.

Ce principe est aussi très directement illustré par la réalisation du système constructif du soubassement et du terre-plein compacté qui vient remplir le volume laissé vide par la construction du soubassement. Celui-ci est rempli par une couche de déchets de criblage des terres des briqueteries ou provenant directement des gisements de graves d'utilisation routière. Cette couche qui constitue un hérisson est ensuite recouverte d'une couche de graves fines compactée, dressée jusqu'à l'arase du soubassement. Une chape de mortier de ciment et de graves viendra régler le sol sur lequel seront directement érigés les murs en blocs de terre (fig. 198).

Maçonnerie des murs

La première assise (fig. 199) est réglée par la pose des blocs d'angle et par la pose des blocs de tableaux de baies qui localisent les contreforts des murs au droit des tableaux de baies. Ces blocs d'angle et de contrefort serviront à positionner la règle d'angle et à tendre uniformément le cordeau qui permettra de régler la hauteur des assises successives de blocs. On remarque le démarrage indépendant des piliers destinés à supporter le débord de toiture de la varangue.

SOUBASSEMENT

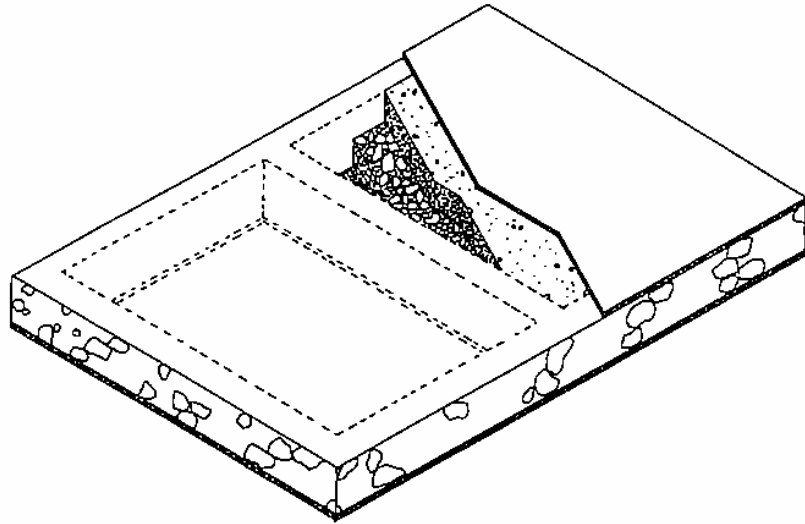


Fig. 198 : Remplissage du soubassement par des déchets de criblage de terres graves.

MAÇONNERIE DES MURS

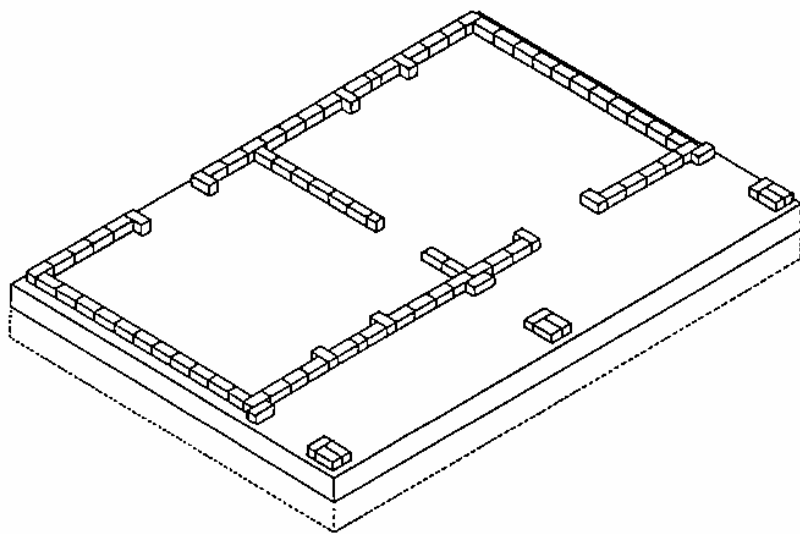


Fig. 199 : Maçonnerie de la première assise de blocs de terre comprimée.

ARCHITECTURE D'HABITAT

MAÇONNERIE DES MURS

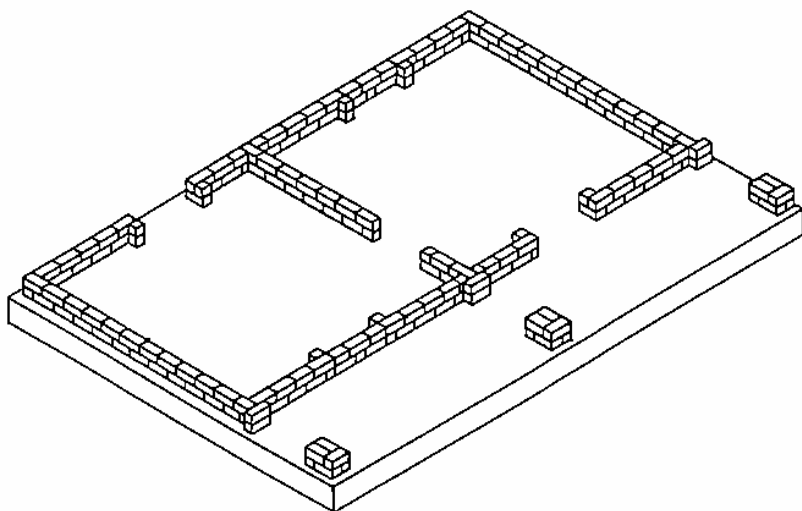


Fig. 200 : Maçonnerie de la deuxième assise de blocs de terre comprimée.

Deuxième assise

La deuxième assise de blocs de terre comprimée stabilisée reprend le principe de la première assise, avec une pose des blocs en panteresse, à joints décalés.

On remarque (fig. 200) le soin apporté au système de contreforts au droit de chacune des baies, avec l'utilisation alternée d'un bloc plein (première assise) et d'un bloc demi qui permet un appareillage croisé dans le plan orthogonal.

On remarque également le système de liaison des murs gouttereaux (façades) et des murs de refend avec le même principe de chevauchement dans une direction en "T" que permet l'utilisation alternée de blocs pleins (première assise) et d'un bloc entier et deux blocs et demi (deuxième assise).

Pour les poteaux de la varangue, ceux dressés contre le mur de façade sont réalisés par un simple empilement, le risque temporaire de déversement étant contrôlé par l'utilisation de mortier avec un joint vertical entièrement bourré entre le poteau et le mur de façade. Ils seront ensuite reliés aux murs par le chaînage.

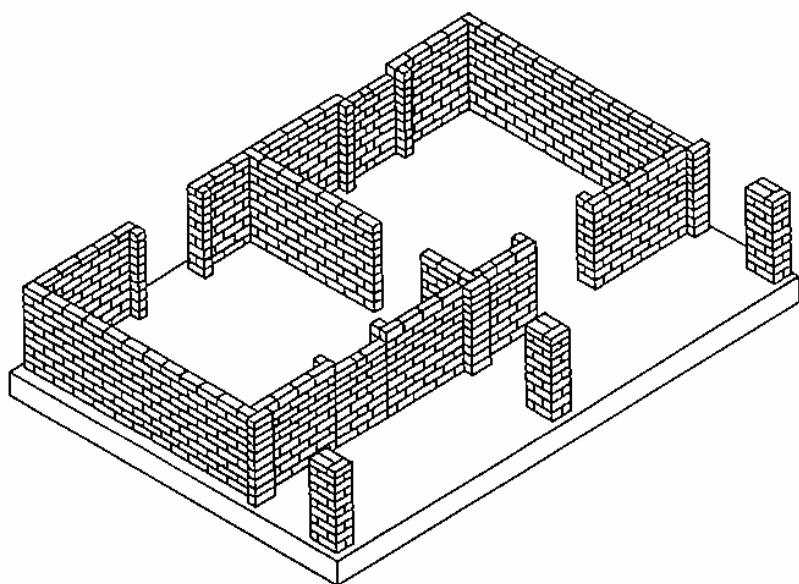


Fig. 201 : Elévation de la maçonnerie jusqu'à hauteur des allèges de fenêtres.

Maçonnerie jusqu'aux allèges

Le système constructif des murs de la case type "Aide en nature" adopte le principe de la construction d'allèges de fenêtres indépendantes. Les tableaux en maçonnerie de blocs de terre des fenêtres sont donc dressés comme ceux des portes, jusqu'à la cote de hauteur des sommiers d'arcs. Les allèges, également en blocs de terre, pourront être dressées simultanément ou après, selon le principe d'une maçonnerie totalement indépendante qui permet de ménager un joint sec entre le panneau d'allège et les contreforts des tableaux. Ce principe simplifie l'appareillage et permet de contrôler totalement le risque classique de fissuration résultant de la transmission des charges depuis les linteaux ou arcs au droit des jambages des tableaux (fig. 201).

LOGEMENTS SOCIAUX A MAYOTTE

Arcs

Afin d'exploiter au mieux le principe du travail en compression des maçonneries en blocs de terre comprimée, tout en visant une économie d'emploi du béton armé, le franchissement des baies s'effectue au moyen d'arcs coffrés.

La hauteur de varangue, traditionnellement basse, permettait d'envisager l'utilisation d'arcs plein cintre dont les sommiers, sur les poteaux de façade, pouvaient être positionnés à une cote de hauteur un peu plus basse imposée par la pente de la toiture (fig. 202).

Pour le bloc d'habitation, la hauteur de passage sous les arcs des portes imposait un minimum de 2 mètres. Les arcs des portes et des fenêtres, de forme surbaissée, se situent à la même cote de hauteur. Seules varient les portées, avec 79 cm pour les fenêtres et 94,5 pour les portes. Ces portées résultent du calepinage des arcs qui traduit le souci de réaliser une maçonnerie de qualité avec la flèche de l'arc, de l'intrados au sommet à l'extrados à la clef, comprise dans la hauteur de deux rangs de blocs de terre.

Le positionnement des baies, suffisamment écartées entre elles et suffisamment loin des angles du bâtiment, associé aux contreforts des tableaux et à deux rangs de maçonnerie au-dessus des arcs (post-compression), permet un bon équilibre et une bonne reprise des poussées.

Chaînage

La faible épaisseur des murs (14 cm) donne un risque d'élançement qui est contrôlé par les contreforts aux baies et par un chaînage en béton armé. Celui-ci vient en couronnement de tous les murs, y compris la maçonnerie des arcs de la varangue. Il est coulé dans un coffrage perdu réalisé en blocs de terre, parfaitement appareillé. Le principe adopté est celui d'une rangée de blocs en boutisse, en équilibre sur le mur, qui reçoivent des briques sur le chant, en carreau, faisant coffrage (fig. 203).

ARCS

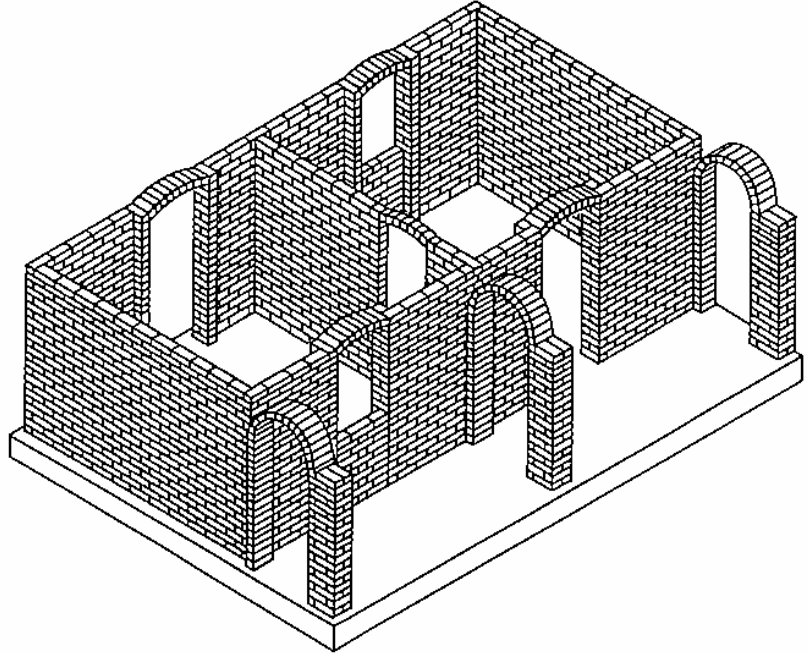


Fig. 202 : Maçonnerie élevée jusqu'à hauteur des arcs de portes et fenêtres.

CHAINAGE

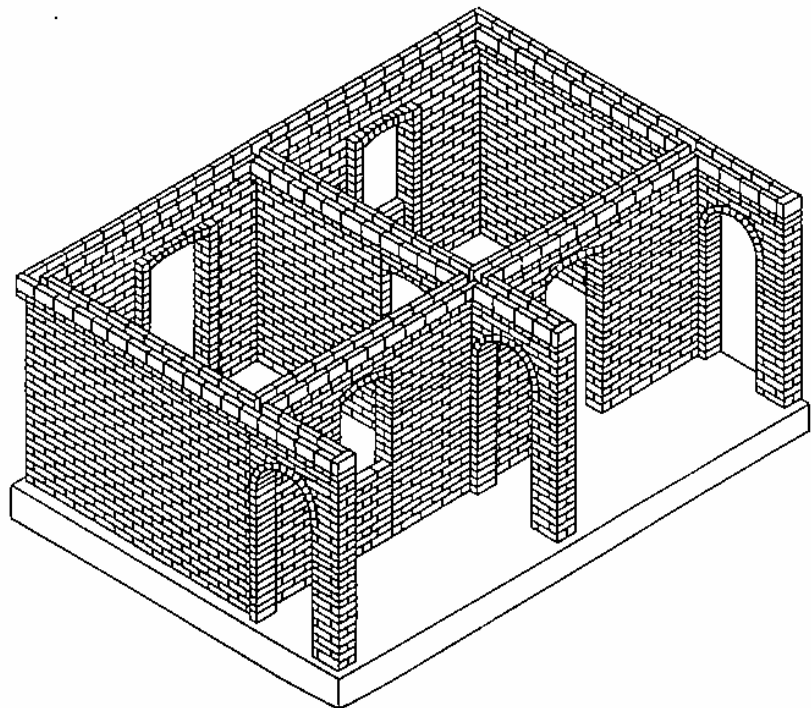


Fig. 203 : Maçonnerie du coffrage perdu de chaînage, en blocs en boutisse (fond du coffrage) et en blocs sur le chant (joints du coffrage).

ARCHITECTURE D'HABITAT

CHARPENTE

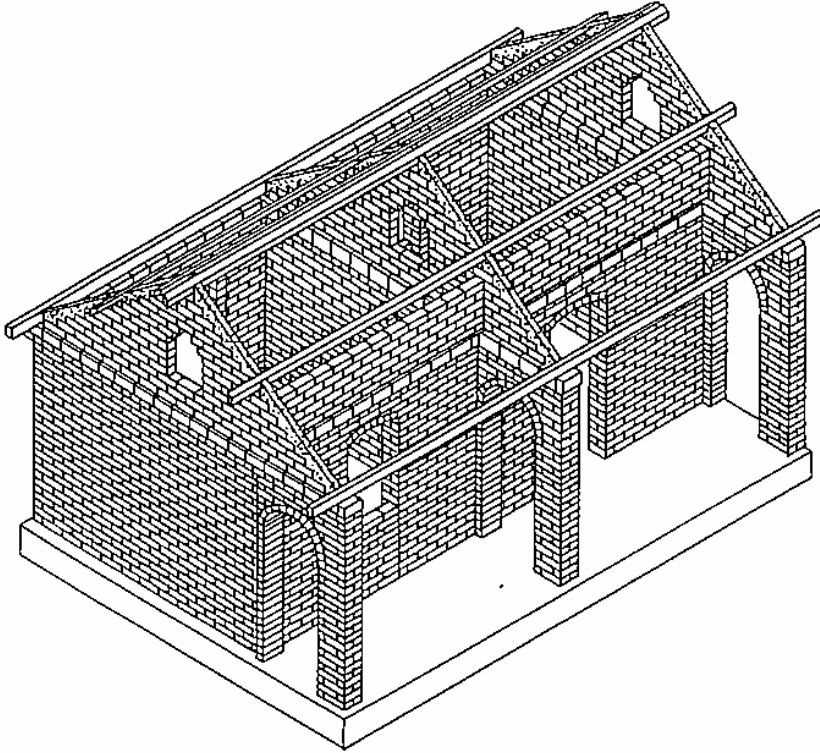


Fig. 204 : Pose des pannes de mur pignon à mur pignon.

Charpente

Les essences de bois locaux, à Mayotte, ne donnent pas des bois de construction de qualité. Le recours au bois d'importation a toujours été nécessaire (depuis l'Afrique et la Malaisie). Afin de réduire cette dépendance à l'importation du bois, les solutions constructives adoptées pour les charpentes de l'habitat très social ont été simplifiées, notamment pour éviter l'emploi de fermes.

C'est donc selon le principe de pannes portant directement de mur pignon à mur pignon (y compris sur le refend transversal) qu'est conçue la charpente de l'Aide en nature (fig. 204). L'ancrage des pannes dans le rampant de ces murs se fait grâce à un béton coffré selon la direction de pente des pignons et avec des fers de 6 mm de diamètre posés en attente qui sont ensuite recourbés sur les pannes dont la partie supérieure est délaardée.

On observe également les petites ouvertures en encorbellement dans l'axe des pignons qui sont destinées à assurer une ventilation haute sous toiture.

COUVERTURE

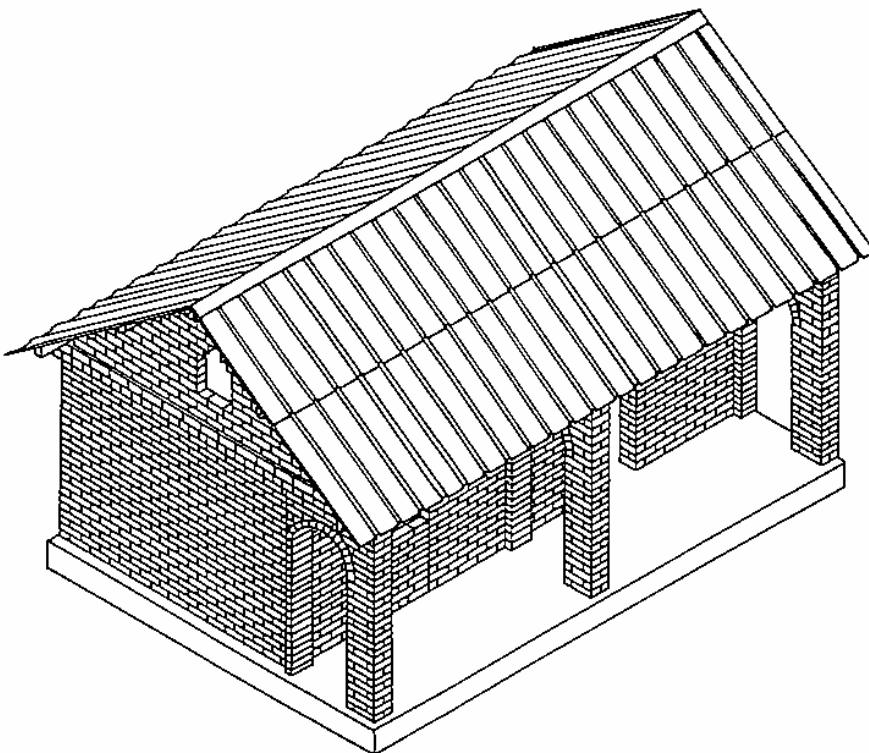


Fig. 205 : Couverture en bacs d'acier galvanisé avec débord périphérique.

Couverture

La couverture est simplement réalisée par la pose de bacs en acier galvanisé, fixés par des tire-fond sur les pannes avec un capuchon étanche. La fixation de ces bacs en rive basse est renforcée au niveau de la panne sablière posée au sommet des poteaux de la varangue, sur le bout du chaînage, grâce à des fers de 6 mm de diamètre posés pendant le coulage du béton de chaînage et qui sont ensuite recourbés sur la sablière.

LOGEMENTS SOCIAUX A MAYOTTE

Amélioration progressive

La Société immobilière de Mayotte a très vite géré un nombre de plus en plus important de dossiers de demandes d'accession à la propriété d'Aides en nature. Les réalisations effectives ont aussitôt suivi pour atteindre très vite une vitesse de croisière de l'ordre de 500 à 600 maisons par an (aujourd'hui, près de 1000/an). Simultanément, le développement de l'économie du bâtiment, générée par cette activité de plus en plus importante, amenait des retombées économiques et sociales sur la population qui connaissait un accroissement sensible de ses revenus et donc de sa capacité d'épargne. A cette amélioration progressive des conditions économiques correspondait l'émergence d'un souhait d'amélioration de l'habitat.

Aide en nature améliorée

Pour les familles dotées d'une plus grande capacité d'épargne, la SIM a très vite proposé un modèle dénommé "Aide en nature améliorée".

Dans un premier temps, ce modèle proposait l'intégration de l'équipement sanitaire au bloc d'habitation, celui-ci étant jusqu'alors resté traditionnellement implanté au fond de l'enclos du "shanza" (cour). Cette amélioration se traduisait par l'occupation d'une partie de la varangue équipée d'un sanitaire et d'une douche avec un système d'évacuation des eaux usées vers une fosse septique et un puisard.

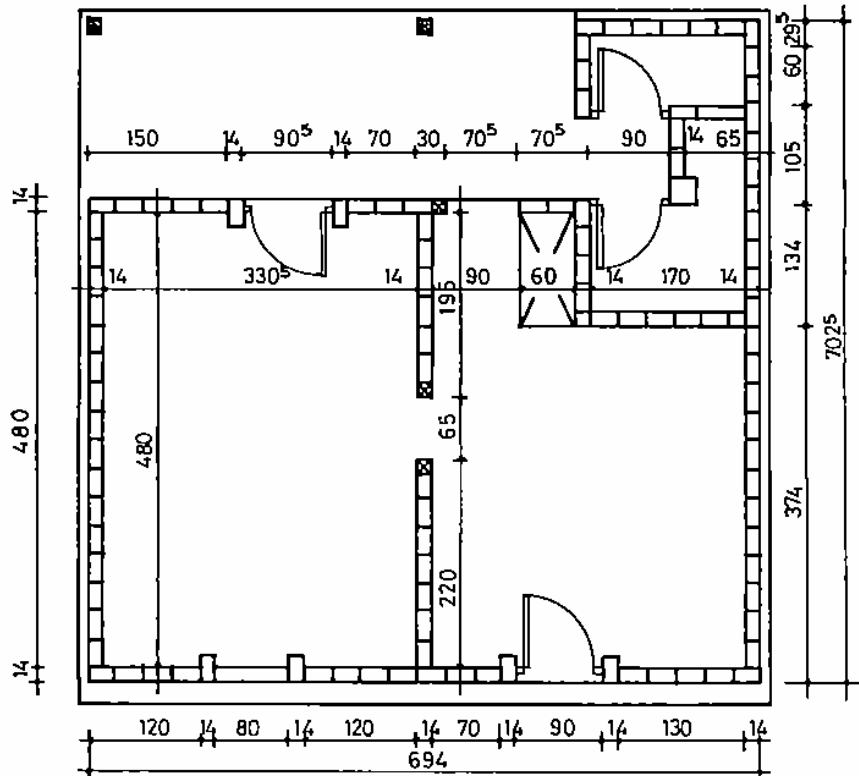
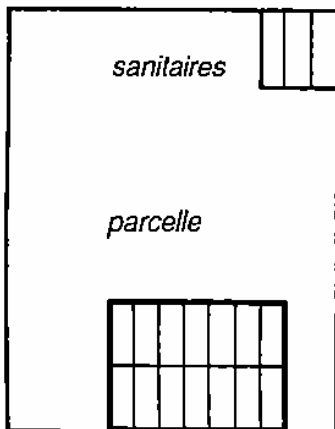
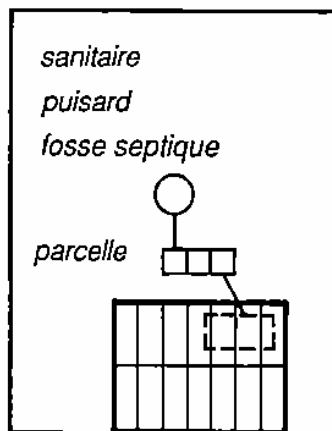


Fig. 206 : Plan de l'Aide en nature améliorée de base avec intégration d'un bloc sanitaire.

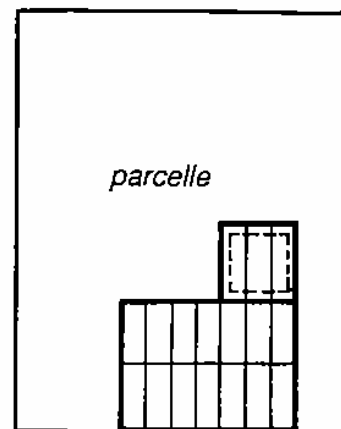
Ultérieurement, le modèle d'Aide en nature améliorée a été étendu à une troisième pièce et à la possibilité de construire deux varangues, l'une côté "rue" et l'autre côté "shanza".



SOLUTION TRADITIONNELLE POUR L'AIDE EN NATURE MINIMUM



INTEGRATION APRES QUELQUE TEMPS D'UN SANITAIRE SIMPLIFIE DANS UNE "AIDE EN NATURE"

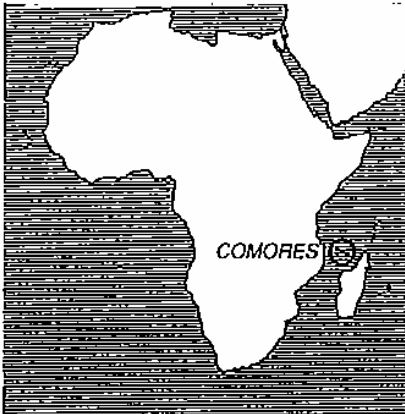


"AIDE EN NATURE AMELIOREE" AVEC PIECE SUPPLEMENTAIRE ET SANITAIRES INCORPORES

Fig. 207 : Conception du bloc sanitaire avec son système d'évacuation.

Fig. 208 : Intégration progressive des sanitaires dans le bâtiment principal.

ARCHITECTURE D'HABITAT



MAYOTTE

L'habitat locatif comme fer de lance de l'acceptabilité

Lorsque la filière bloc de terre comprimée était installée sur l'île de Mayotte, en 1981 et 1982, son développement, bien que poussé par une volonté politique des décideurs et des élus locaux, n'était pas pour autant garanti. Un important verrou devait être levé : celui de l'acceptabilité. En effet, dans les premiers temps, la population mahoraise ne voyait dans le bloc de terre comprimée qu'une perpétuation de sa tradition de construction en terre. Cette vision ne correspondait pas à l'idée qu'elle se faisait de son aspiration à un habitat moderne que traduit l'emploi du bloc de sable-ciment et de la tôle ondulée. Et pourtant, l'emploi du bloc de terre était nécessaire, autant pour des raisons économiques que pour des raisons d'équilibre écologique, l'île étant dépourvue de sable. Il fallait donc, pour lever ce verrou, faire la démonstration de la qualité technique du matériau et de la qualité de son utilisation architecturale. Il fallait anéantir l'idée que le bloc de terre était un matériau de "sous gamme", uniquement réservé aux plus démunis. La voie imaginée et aussitôt mise en œuvre fut celle de construire les logements locatifs destinés aux fonctionnaires expatriés avec ce matériau. L'opération de Passamainli, entreprise en 1982, engageait ce processus et permettait cette assimilation nécessaire du bloc de terre à un matériau de construction en "dur".

HABITAT LOCATIF A PASSAMAINTI



Fig. 209 : Vue extérieure d'un des huit logements locatifs réalisés en 1982 sur la commune de Passamainli.

LOGEMENTS LOCATIFS A MAYOTTE

Ce projet était lancé dans le cadre d'une mission de réalisation d'un programme d'habitat-pilote confiée par la Société immobilière de Mayotte (SIM) au CRATerre de l'école d'architecture de Grenoble. Le projet incluait la mise en route d'une briqueterie-pilote, était conçu et réalisé avec le concours d'étudiants de l'école d'architecture et mobilisait des artisans mahorais. La conception des huit ensembles d'habitation répondant au programme intégrait le principe de la référence à l'organisation de l'habitat traditionnel (petites maisons en longueur et cour privative clôturée appelée "shanza") et permettait la mise au point de solutions constructives (murs de 14 cm d'épaisseur avec contreforts, chaînage dans coffrage perdu en blocs de terre, ancrage de la toiture par des solutions de consoles en bois, badigeons de protection) qui posaient les fondements de techniques et d'un vocabulaire constructif et architectural utilisé par la suite dans les générations ultérieures de projets d'habitat. Un langage très vite assimilé et aussi très vite dépassé par l'épanouissement d'un véritable savoir-faire développé par les architectes installés à Mayotte et les entreprises mahoraises.

FICHE TECHNIQUE DESCRIPTIVE DU PROJET

Habitat locatif réalisé en 1982.

Surface habitable : du T2 au T4, soit de 48 m² à 74 m² habitables.

Nombre de pièces :

- T2, 48 m² : deux chambres, une cuisine avec cellier, un bain-wc. Extension varangue en "L" : 55 m².
- T3, 62 m² : trois chambres, une cuisine avec cellier, un bain-wc. Extension varangue en "L" : 65 m².
- T4, 74 m² : quatre chambres, une cuisine avec cellier, un bain-wc. Extension varangue en "U" : 70 m².
- Grand T3 et grand T4 : idem T3 et T4 de base mais extension séjour extérieur type pailote.

Réalisation : Société immobilière de Mayotte (SIM).

Conception : CRATerre - Ecole d'architecture de Grenoble.

Construction : entreprises Chazuli et Alifina, Mayotte.

Fondations : en fouilles avec béton maigre de propreté puis béton cyclopéen réalisé avec des pierres basaltiques locales et du mortier de graves locales dénommées "pouzzolanes" et de ciment. Profondeur des fondations : environ 40 cm.

Soubassement : en maçonnerie cyclopéenne de moellons de basalte hourdés au mortier de graves et de ciment. Hauteur minimum : 30 cm.

Matériau des murs : blocs de terre comprimée stabilisée au ciment (en moyenne à 8 %), hourdés au mortier de terre stabilisée. Dimension nominale : L x l x h = 29,5 x 14 x 9 cm. Epaisseur des murs : 14 cm. Type d'appareillage : en panneresse.

Stabilité des murs : contreforts saillants au droit des tableaux de portes et fenêtres, appareillés avec le mur. Epaisseur des contreforts : 29,5 cm.

Chaînage : sur l'ensemble des murs périphériques et des murs de refend, en béton armé d'une seule nappe de fers, coulé dans un coffrage perdu en blocs de terre comprimée stabilisée. Hauteur du chaînage : 15,5 cm.

Charpente-couverture : en pannes de bois scié portant de murs pignons à murs de refend. Pannes sablières ancrées au chaînage grâce à des fers en attente posés pendant le coulage du chaînage. Couverture : en bacs d'acier galvanisé avec tire-fond traversant les pannes.

Linteaux des baies : remplacés par des arcs surbaissés en blocs de terre comprimée.

Finitions. Sol : chape de mortier de graves et de ciment sur remblai compacté. Enduits : badigeon extérieur de terre-ciment très dilué. Option peinture intérieure.



Fig. 210 : Vue de l'opération en chantier.

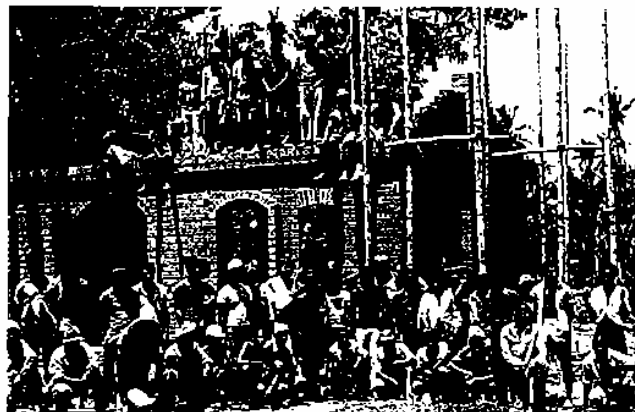


Fig. 211 : L'ensemble de l'équipe ayant participé au chantier.

ARCHITECTURE D'HABITAT

Conception architecturale des logements

Les huit logements réalisés à Passamaïti illustrent des possibilités d'agrandissements successifs à partir d'une case de base du type "Aide en nature" correspondant au logement très social mahorais. La première amélioration apportée consiste en l'adjonction d'un bloc cuisine-sanitaires disposé perpendiculairement au bloc d'habitation principale et donnant sur la cour privative intérieure. Celle implantation éloigne le plus possible les toilettes du coin de vie et entend ainsi, tout en apportant une amélioration sensible, satisfaire l'habitude mahoraise qui rejette toujours ce lieu au fond du "shanza". La deuxième étape d'évolution ajoute une troisième chambre au logement, en prolongement direct des deux autres, sur la "rue". Ce modèle T3 anticipe déjà sur ce qui deviendra plus tard "l'Aide en nature améliorée", proposée à la population mahoraise dotée d'une plus grande épargne. Les étapes suivantes consistent à refermer progressivement le plan jusqu' alors en "L" pour les T2 et T3 afin d'adopter une forme en "U" pour les grands T3 et les T4. Le caractère plus particulier de ces logements, devant répondre à un minimum de confort souhaité par la population des expatriés de France, consiste dans l'aménagement de la varangue qui devient une véritable terrasse couverte, spacieuse, faisant office de coin repas et de séjour-salon.

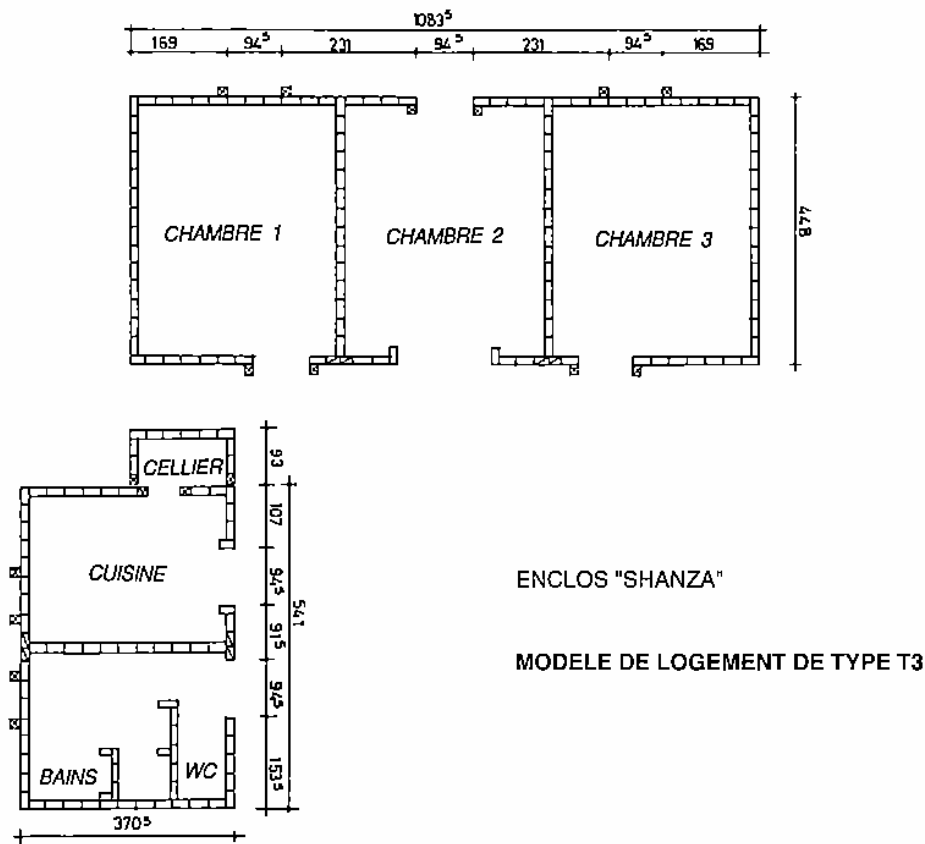


Fig. 212 : Plan avec calepinage de la première assise du modèle de base du type T3.



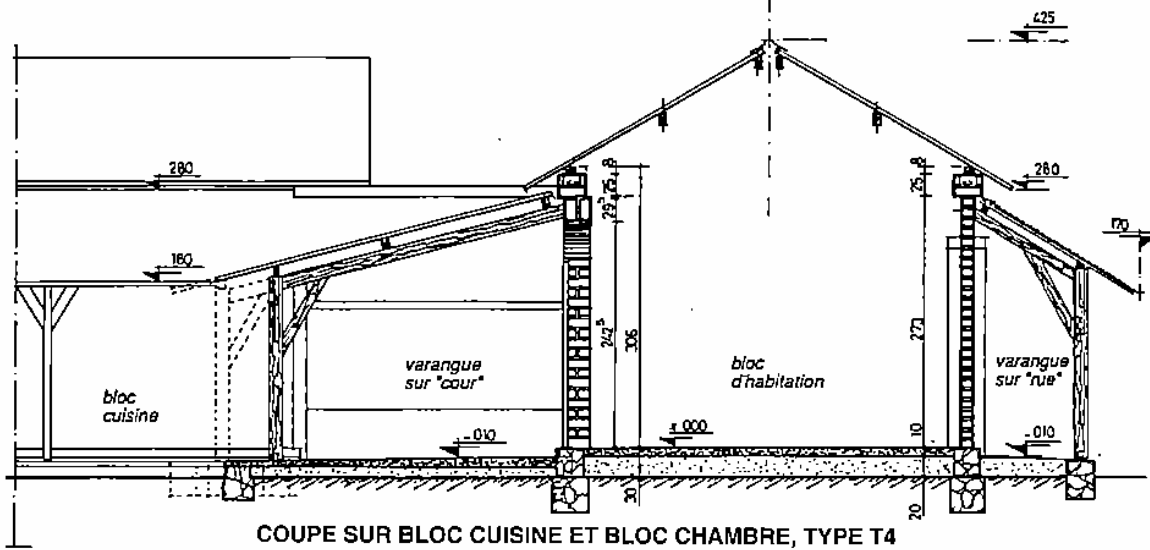
Fig. 213 : Vue détaillée extérieure d'un logement.



Fig. 214 : Vue intérieure sous la varangue, côté "shanza".

LOGEMENTS LOCATIFS A MAYOTTE

COUPE SUR BLOC PRINCIPAL D'HABITATION TYPE T3



COUPE SUR BLOC CUISINE ET BLOC CHAMBRE, TYPE T4

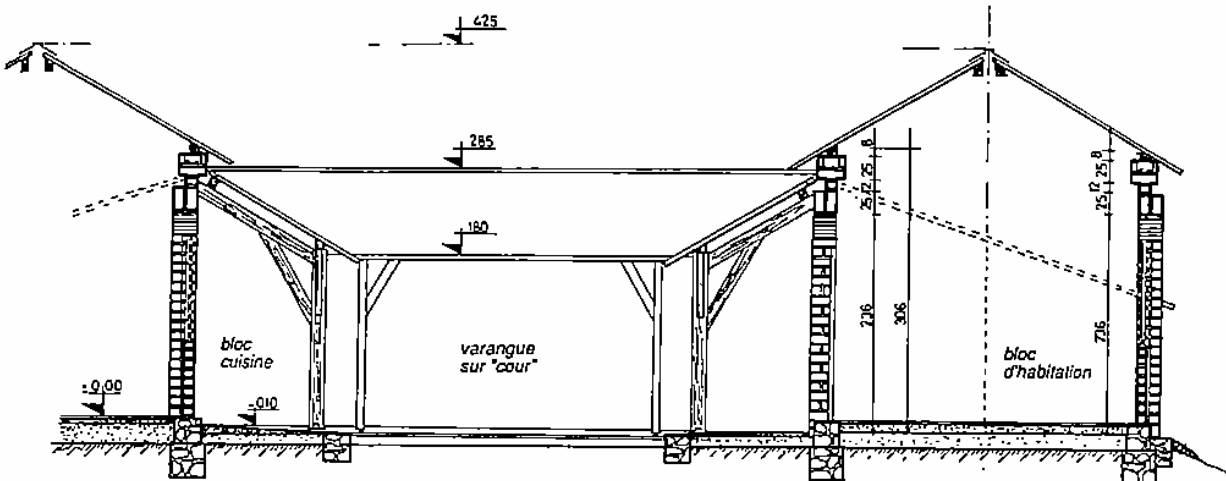


Fig. 215 : Coupes sur les logements de type T3 et T4, avec varangue sur "rue" et "shanza".



Fig. 216 : Vue générale d'un des plus grands logements de Passamaïnti, avec la sur-toiture végétale en "huanza" (feuilles de cocotier).

ARCHITECTURE D'HABITAT

Allèges indépendantes

Les tableaux des fenêtres transmettent directement et verticalement les charges de la maçonnerie reprises par le linteau ou provenant de la poussée des arcs. Il en résulte une fissuration structurale aux allèges lorsque celles-ci sont appareillées avec le mur. Ce problème est résolu avec la réalisation d'une allège totalement indépendante qui constitue un joint sec bourré par la suite lorsque l'ouvrage a opéré son tassement.

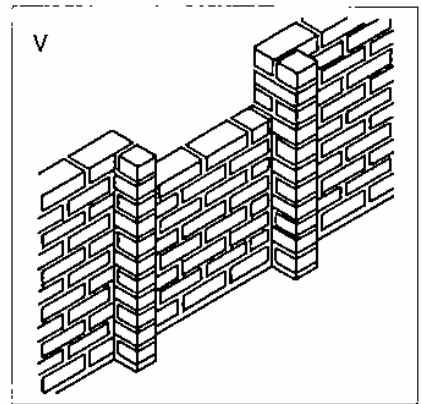
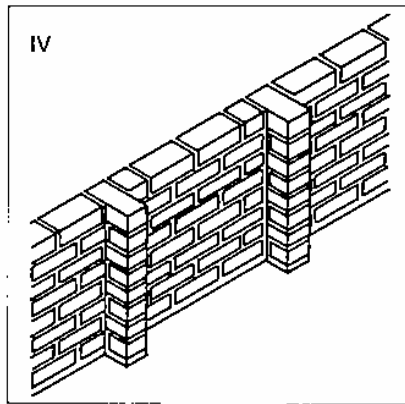
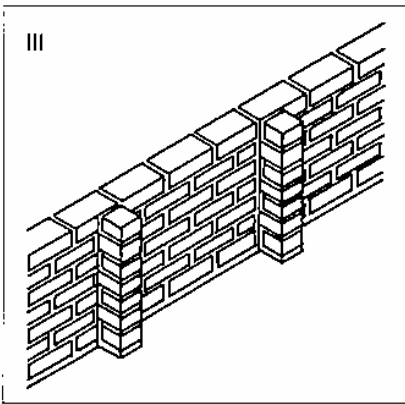
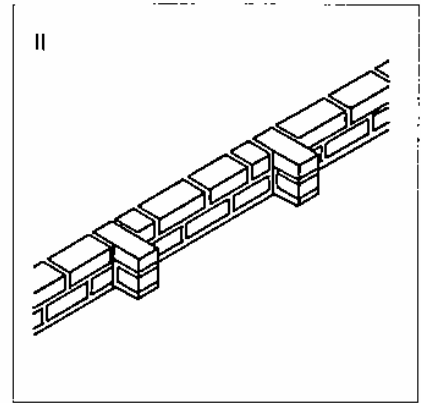
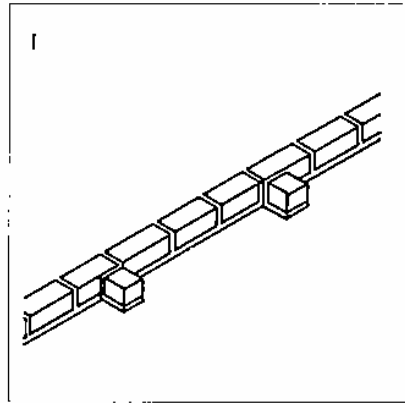
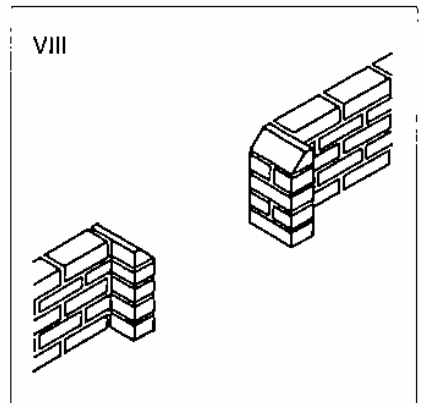
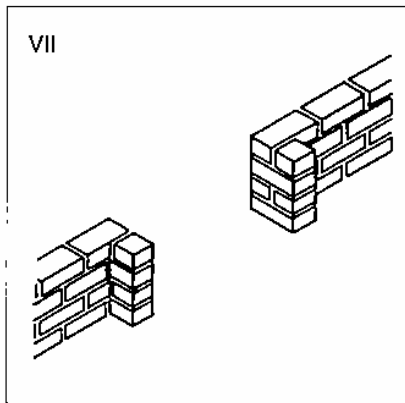
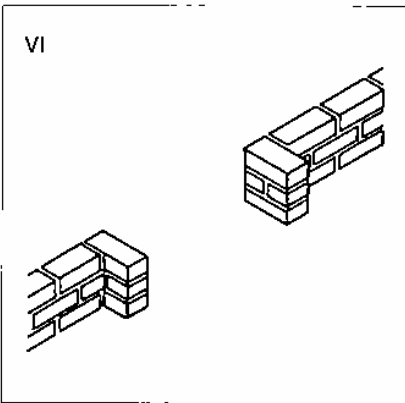


Fig. 217 : Construction de l'allège indépendante avec l'emploi alterné de blocs pleins et de blocs demis (séquences I à V).



Construction des arcs

La stabilité des murs minces de 14 cm d'épaisseur et la reprise de la poussée des arcs surbaissés des portes et des fenêtres sont assurées par la réalisation de contreforts en guise de tableaux de baies. Ces contreforts sont appareillés avec la maçonnerie du mur et forment un retour orthogonal de 29,5 cm (correspondant à la longueur d'un bloc). La construction des arcs dans l'épaisseur de ces contreforts ajoute un effet esthétique à la façade.

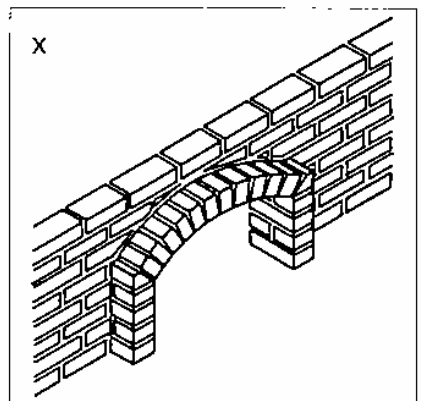
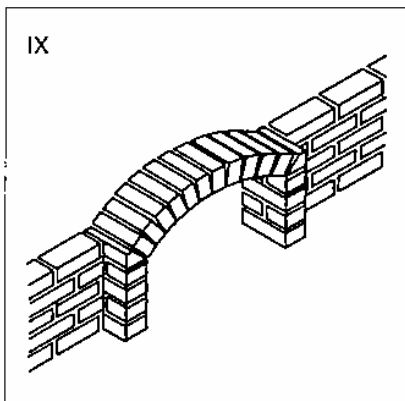


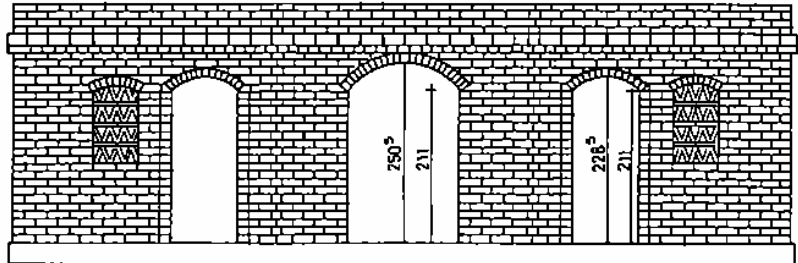
Fig. 218 : Construction des tableaux de baies en contrefort. Noter la réalisation d'un sommier délardé et l'épaisseur de l'arc en façade.

LOGEMENTS LOCATIFS A MAYOTTE

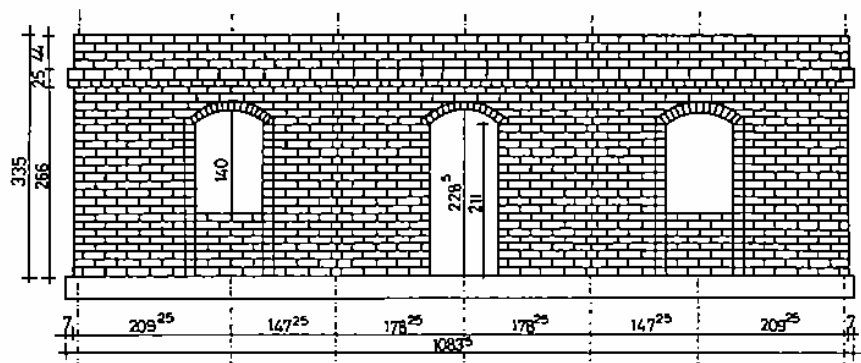
Conception des façades

Les façades des huit logements de Passamainti adoptent une conception très simple. L'esthétique est uniquement donnée par le positionnement des baies, disposées symétriquement par rapport à la porte centrale côté "rue" (qui peut éventuellement devenir une fenêtre avec un remplissage d'allège) et par rapport à la grande porte côté "shanza". A cette disposition symétrique s'ajoute l'effet saillant des contreforts formant les tableaux des baies de fenêtres. Le grand mur apparent en blocs de terre est rythmé par les assises régulières de blocs et par l'horizontalité du bandeau de chaînage également saillant en partie haute des façades.

FAÇADE COTE RUE



FAÇADE COTE ENCLOS

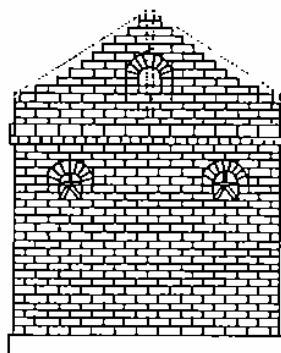


Calepinage des façades

Le dossier d'exécution des ouvrages comprend la réalisation des plans et des façades parfaitement calepinées.

Chacune des assises de blocs est dessinée, au bloc près, ce qui permet de visualiser toutes les situations d'appareillage et notamment celles concernant la réalisation des contreforts de baies, du coffrage perdu du chaînage en boutisse et blocs sur le chant, ainsi que la situation de harpage des murs de refend et des murs gouttereaux. Il est ainsi possible de préciser avec exactitude les cotes des élévations comme celles du plan, de préciser le nombre de blocs pleins, de blocs trois-quarts et de blocs demis qui seront utilisés sur le chantier. Cela permet un métré précis et surtout une réduction de la perte de matériau à la découpe des blocs.

PIGNON GAUCHE



PIGNON DROIT

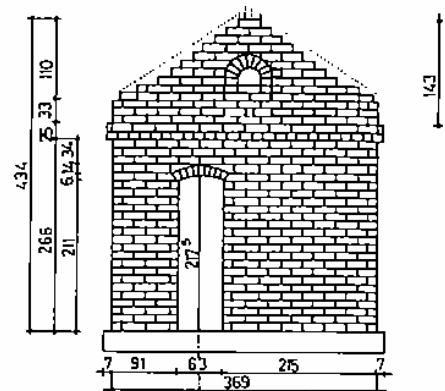


Fig. 219 : Calepinage détaillé des différentes façades du bloc d'habitation type T3.

ARCHITECTURE D'HABITAT

Typologie des arcs

Ce sont des petits arcs surbaissés de portée de 94,5 cm (portes) et de 63,5 cm (fenêtres) compris dans la hauteur de 2 ou 3 rangs de blocs. Un seul grand arc surbaissé par logement, de 156,5 cm (porte "shanza") est compris dans la hauteur de 5 rangs de blocs. Enfin des petits arcs plein cintre pour les ventilations de sanitaires et cellier. Ces types simples favorisent la rotation des coffrages sur l'ensemble des ouvrages.

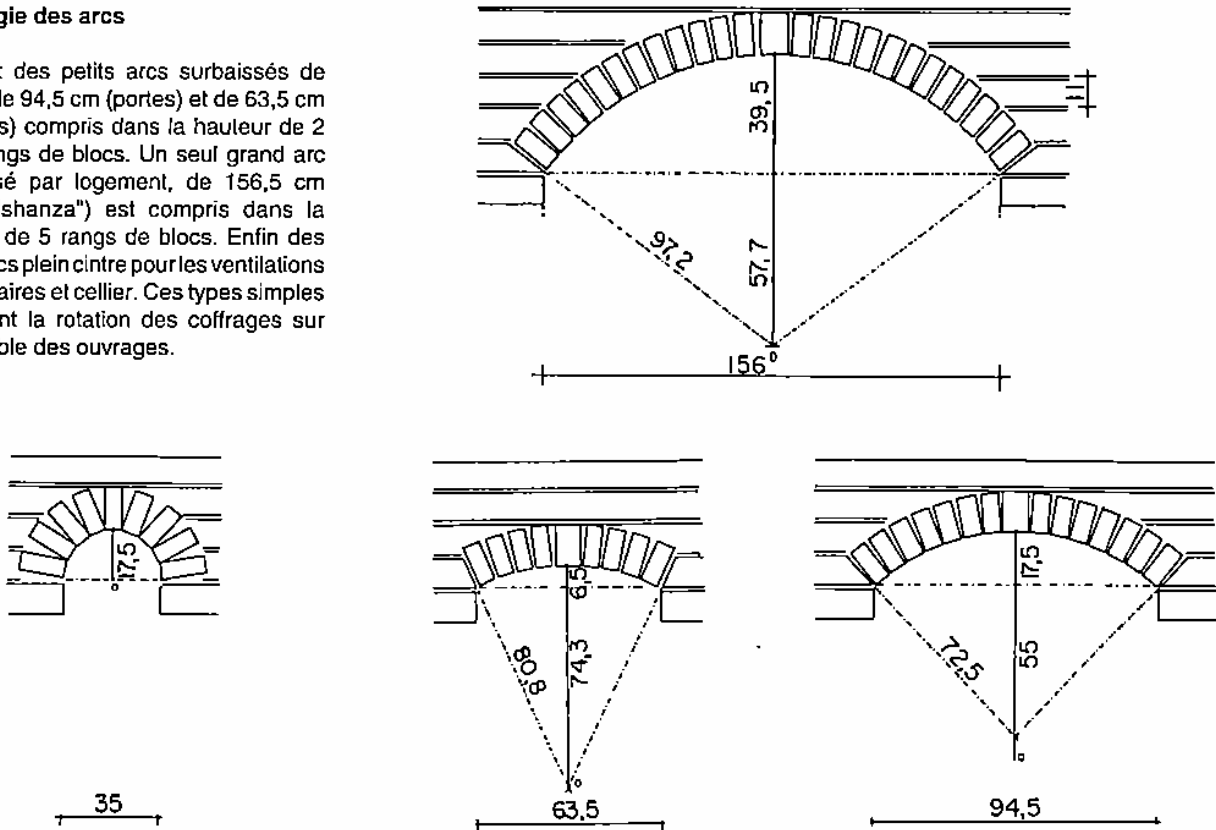
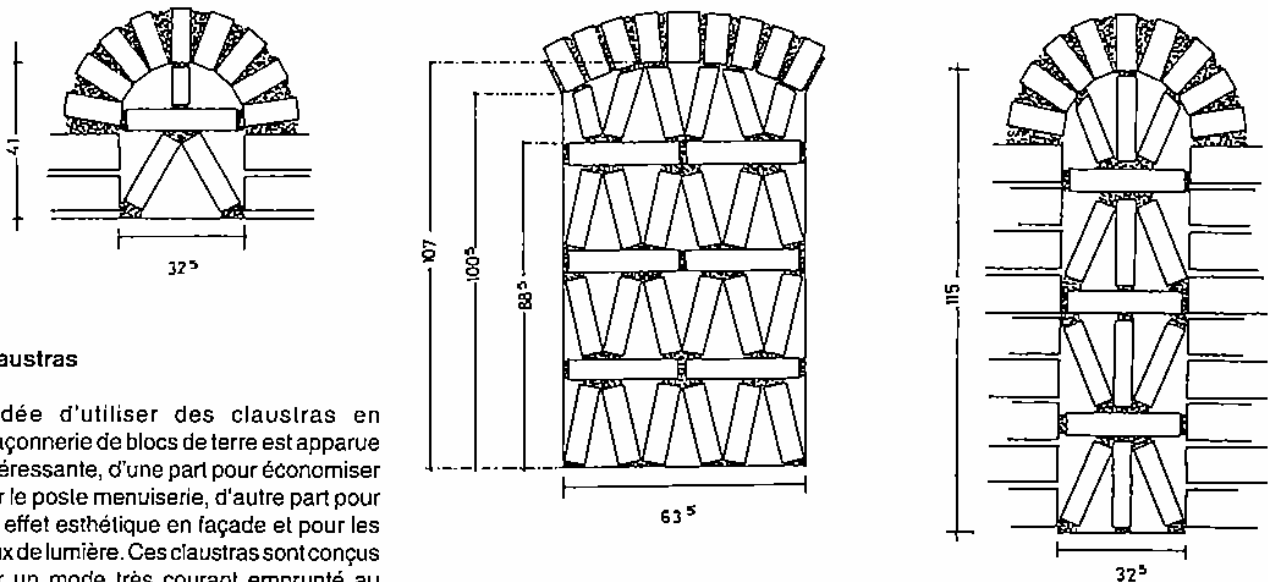


Fig. 220 : Typologie des arcs surbaissés et des petits arcs plein cintre utilisés sur le projet.



Claustras

L'idée d'utiliser des claustras en maçonnerie de blocs de terre est apparue intéressante, d'une part pour économiser sur le poste menuiserie, d'autre part pour un effet esthétique en façade et pour les jeux de lumière. Ces claustras sont conçus sur un mode très courant emprunté au vocabulaire classique du genre mais utilisent des blocs plus minces (épais de 6 cm au lieu de 9 cm) de façon à éviter un effet d'alourdissement. Ultérieurement, cette option n'a pas été retenue par les locataires qui ont préféré des menuiseries.

Fig. 221 : Typologie des principaux claustras utilisés dans le projet pour les fenêtres de chambres sur "shanza" et les ventilations de sanitaires.

LOGEMENTS LOCATIFS A MAYOTTE

Chaînage

Les maçonneries en blocs de terre comprimée d'une épaisseur de 14 cm résultant du choix d'un appareil en panneresse exigent un couronnement périphérique par un chaînage qui assure leur stabilité. Par ailleurs, cette solution permet d'envisager l'inclusion de systèmes d'ancrage de la charpente nécessaires dans cette région exposée au passage de dépressions cycloniques. Le souhait de limiter l'emploi du béton et d'obtenir un effet esthétique satisfaisant a conduit à opter pour un chaînage en une seule nappe de fers filants de 12 mm de diamètre avec étriers de 6 mm, coulé dans un coffrage perdu en blocs de terre. Celui-ci était réalisé avec une rangée de blocs disposés en boutisse, en équilibre de part et d'autre du mur (constituant le fond du coffrage) et deux rangs de blocs sur le chant (constituant les joues du coffrage, fig. 223, séquences I à VI). La construction d'un tel système exige un parfait calepinage du plan (fig. 222) afin de garantir la stabilité du système constructif.

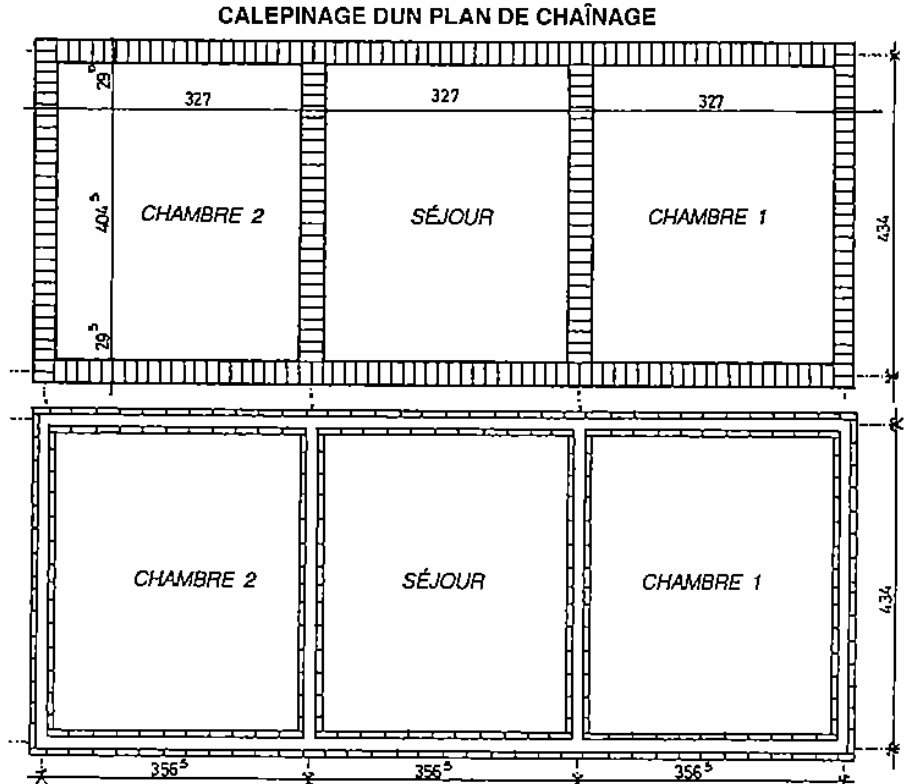


Fig. 222 : En haut, assise en boutisse (dessin II de la fig. 223). En bas l'assise du chaînage fait d'une double rangée de blocs sur le chant. Noter l'utilisation de blocs 3/4 aux angles du bâtiment et à la liaison refend-gouttereaux (dessins III à IV de la fig. 223).

MAÇONNERIE DU CHAÎNAGE

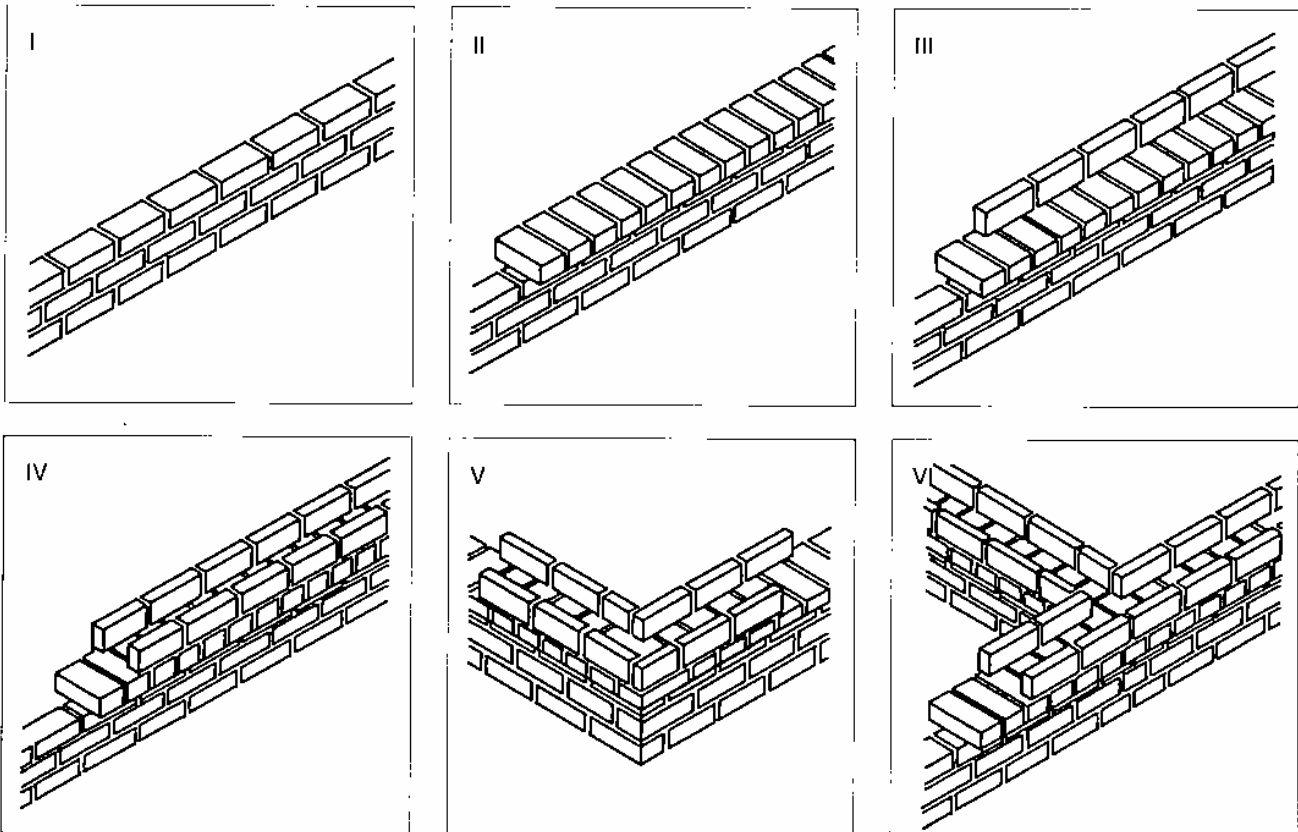


Fig. 223 : Séquence de réalisation de la maçonnerie du coffrage perdu de chaînage en blocs de terre.

ARCHITECTURE D'HABITAT

Ancrage de la toiture et bardage de ventilation haute en pignon

Le système d'ancrage de la toiture est assuré par un système constructif assez élaboré qui associe la maçonnerie de blocs de terre et les pièces de bois de la charpente. D'une part, la maçonnerie du mur pignon est renforcée de façon à garantir la stabilité contre la poussée des vents, en réalisant un raidisseur dans l'axe vertical du pignon. Il s'agit d'un poteau dont la base prend appui sur l'épaisseur du chaînage et dont le sommet recevra les deux pannes faîtières. Ce poteau est parfaitement appareillé à la maçonnerie du pignon (fig. 224). Par ailleurs, toujours au niveau du chaînage et en trois points correspondant à la verticale des deux pannes intermédiaires et des deux pannes faîtières, des consoles en bois traversent le mur pignon de part et d'autre et sont destinées à maintenir les pannes par un système de moises boulonnées (fig. 224 et 225). L'ancrage est également assuré au niveau des sablières qui sont solidarisées au chaînage par des fers de 6 mm de diamètre préalablement positionnés lors du coulage puis recourbés sur la panne délardée en sa partie supérieure. Ce système d'ancrage de la charpente en murs pignons et en murs gouttereaux (rive basse) s'est avéré très efficace lors du test du passage du cyclone "Kamisy", en avril 1984. Enfin, un système de bardage en planches de bois posées à recouvrement sur un bâti triangulaire solidarisé aux moises d'ancrage permet une ventilation haute par le sommet du pignon.

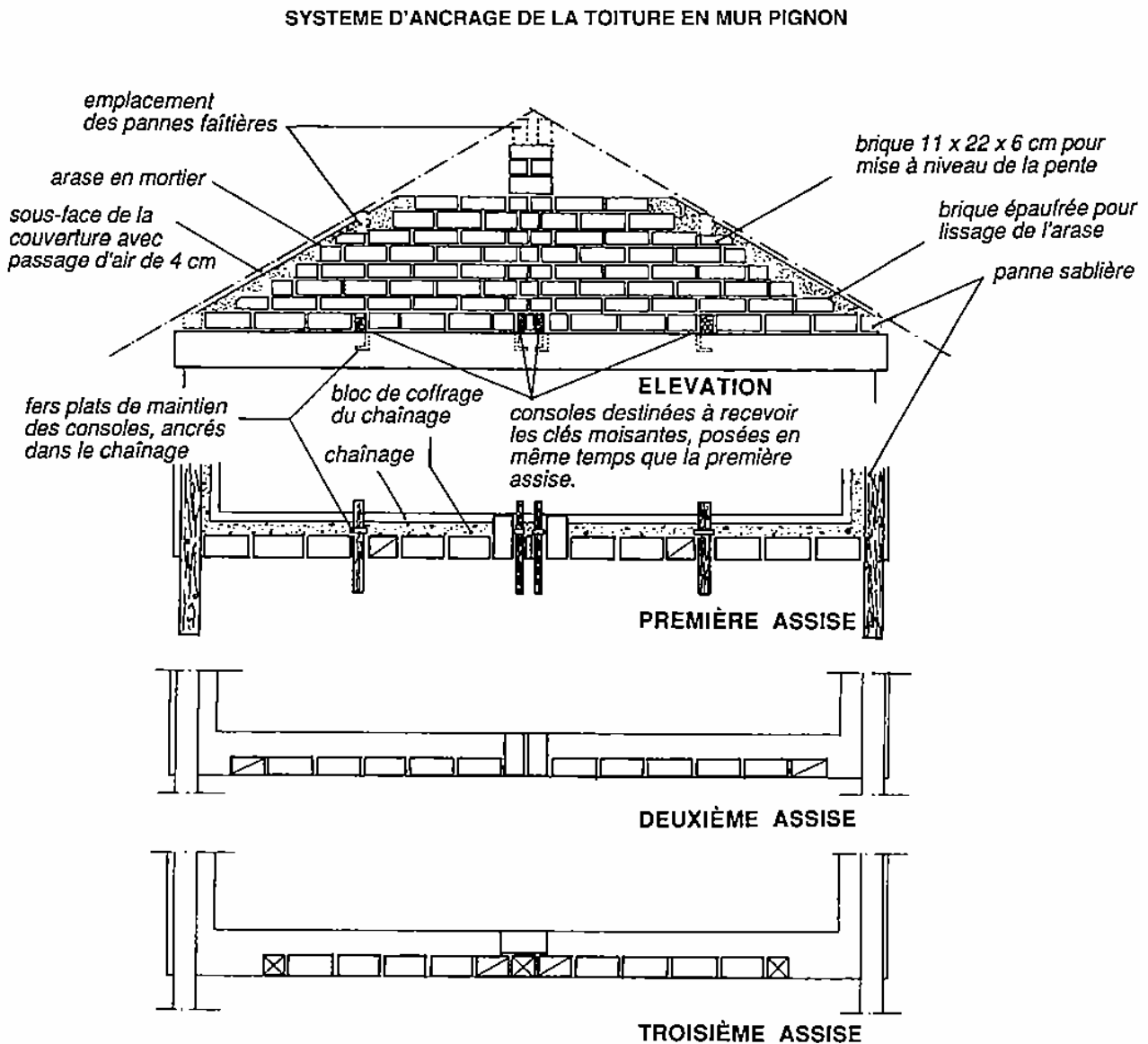
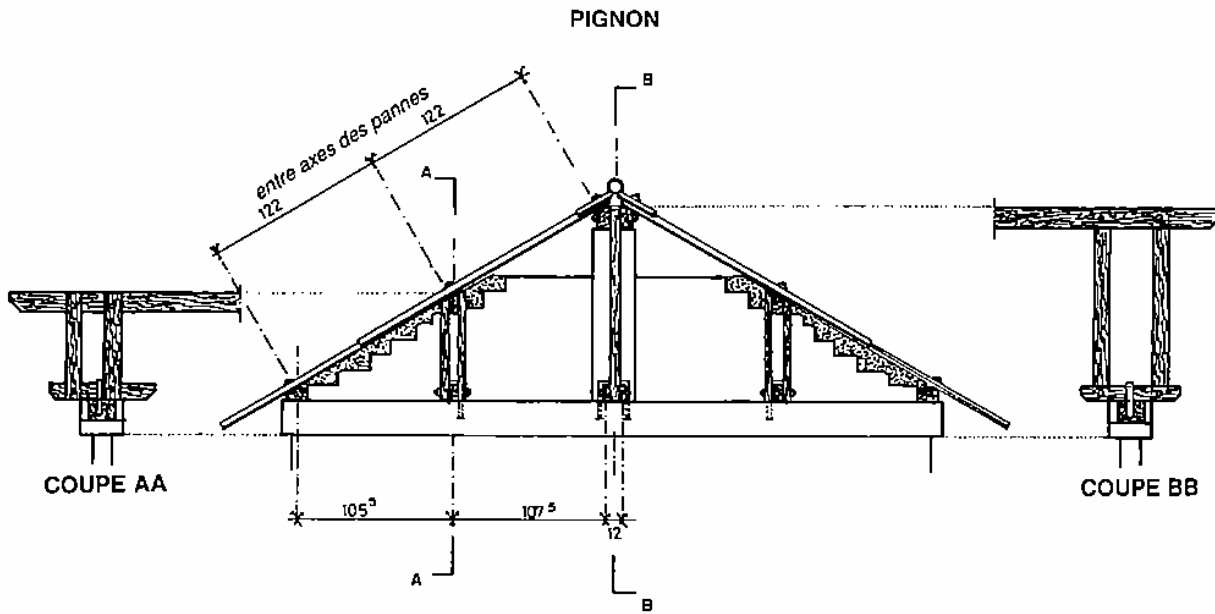
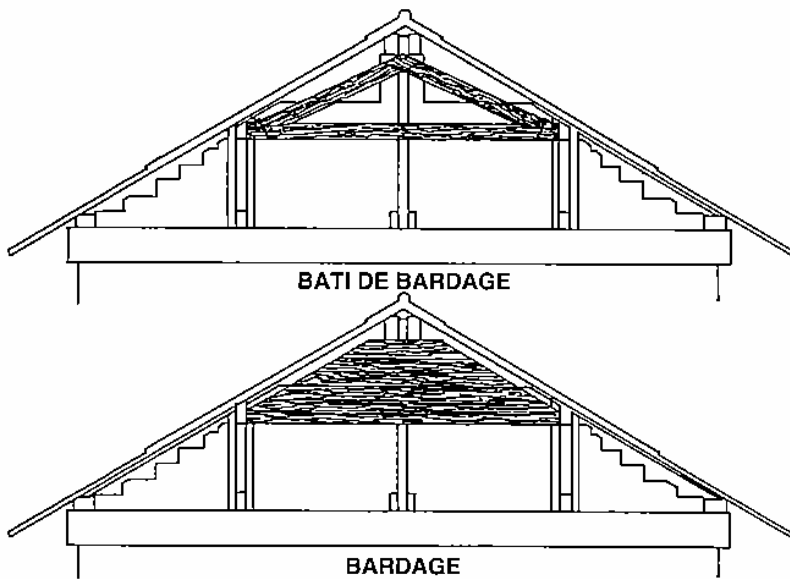


Fig. 224 : Elévation et calepinage des assises de blocs dans le sommet du pignon pour réalisation d'un système d'ancrage de la toiture par consoles moisées.

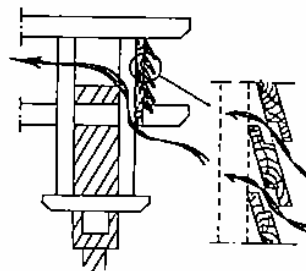
LOGEMENTS LOCATIFS A MAYOTTE



CONSOLES D'ANCRAGE



Le principe de bardage adopté est simple et doit à la fois garantir une ventilation suffisante en saison chaude ainsi qu'une protection contre la pénétration des pluies de la saison humide ou des poussières pendant la saison plus chaude.



COUPE DE DETAIL

Les consoles d'ancrage de la toiture sont également utilisées pour maintenir un bâti en bois de forme triangulaire, en partie haute du pignon, qui recevra un bardage de planches dont les arêtes sont délardées pour le passage de l'air.

Fig. 225 : Elévation et coupes sur le système de consoles d'ancrage de la toiture et sur le système de bardage de ventilation.

ARCHITECTURE D'HABITAT

MODELE T2

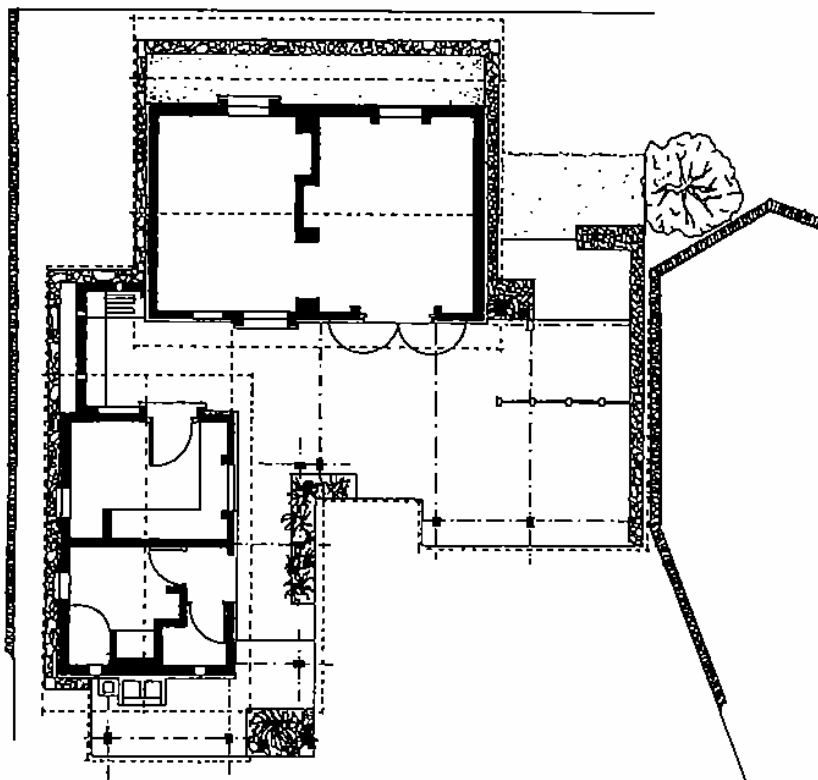


Fig. 226 : Plan d'un logement de type T2.

Modulation du plan

Le programme des huit logements réalisés à Passamainti prévoyait de s'adresser à des familles de coopérants civils d'importance différente. La modulation du plan, à partir de la solution de base du logement type T2 jusqu'au grand T3 ou T4 répondait à cet objectif (fig. 226 à 229).

Le principe adopté est celui d'un agrandissement du plan du bloc d'habitation, en longueur, respectant en cela le mode traditionnel d'évolution de la case mahoraise qui servait de référence à l'élaboration du concept de plan. Ce passage s'opère directement et sans changement majeur entre le type T2 et le type T3 (fig. 226 et 227). Pour les types T3 agrandi et T4, l'agrandissement en longueur du bloc d'habitation principale fait place à une fermeture du plan initial en "L" par une nouvelle forme en "U" (fig. 228 et 229). Cette évolution est simplement donnée par l'ajout d'une quatrième pièce ou par la possibilité de construire, sur des fondations prévues, une extension du séjour extérieur en forme de "paillote" (charpente bois et couverture végétale).

MODELE T3

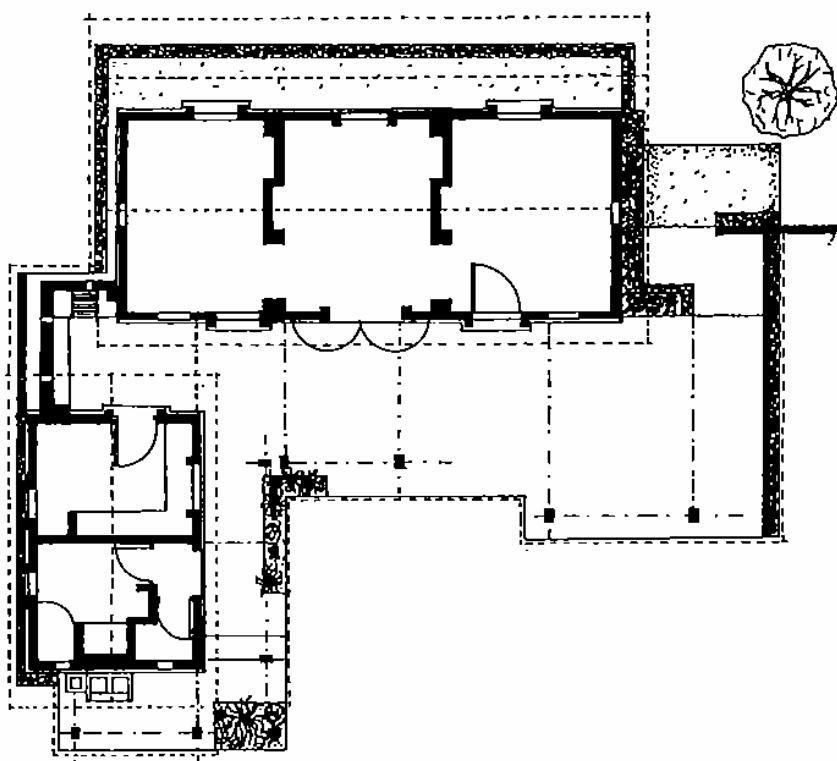


Fig. 227 : Plan d'un logement de type T3.

Dans chacun de ces différents plans, le bloc cuisine-cellar, bains-douche, demeure inchangé si ce n'est une expansion possible de l'espace du coin repas compris entre le bloc d'habitation et le bloc cuisine-sanitaires.

Enfin, l'espace habitable de l'ensemble de ces logements est avantageusement agrandi par les varangues couvertes qui donnent sur le "shanza" (cour privative intérieure). Ce sont des zones d'ombre et de fraîcheur qui, tout en étant extérieures, préservent l'intimité de la vie familiale grâce à un système d'accès en chicane végétale et à une clôture végétale du "shanza" (principes empruntés à la tradition mahoraise).

LOGEMENTS LOCATIFS A MAYOTTE

Finitions et aménagements

Sur l'aspect aménagement intérieur des logements, on note deux propositions. D'une part des murs libres (gouttereaux et refend) permettant de positionner au choix le mobilier, d'autre part un système de mur de refend en forme d'alvéole de placard, réalisé en chicane. Cette deuxième solution qui s'est avérée plus délicate à construire est néanmoins appréciée par les occupants. Le sol intérieur n'a pas fait l'objet d'un traitement de finition particulier si ce n'est une peinture de sol sur la chape de mortier de ciment.

Pour les portes et fenêtres, l'option adoptée est celle de menuiseries à simple ventail ou double ventaux à panneaux en persiennes permettant une ventilation, ou des châssis à deux soufflets (fenêtres) avec trois positions de réglage de l'inclinaison d'ouverture permettant de régler à souhait la ventilation et l'éclairage.

Pour la finition des murs, un badigeon extérieur de terre-ciment très dilué à été utilisé et en intérieur, des solutions de badigeon à la chaux ou de peinture ont été retenues.

Sur l'aspect aménagements extérieurs, on note principalement l'utilisation de panneaux végétaux de "huanza" (feuilles de cocotier tressées) pour la réalisation de chicanes d'accès et de clôture du "shanza".

L'impact de l'opération

Réalisée à proximité du village de Passamaïnti, l'opération a eu un impact immédiat sur la population locale qui a pu apprécier, *de visu*, la qualité du matériau et d'exécution des ouvrages. Par ailleurs, les solutions constructives utilisées, innovantes, ont eu des répercussions importantes sur les méthodes de construction utilisées par la suite à Mayotte. Enfin, le chantier a permis la formation des premières entreprises mahoraises qui ont, depuis lors, régulièrement travaillé pour la SIM sur les programmes d'habitat social et locatif.

MODELE T3 AGRANDI

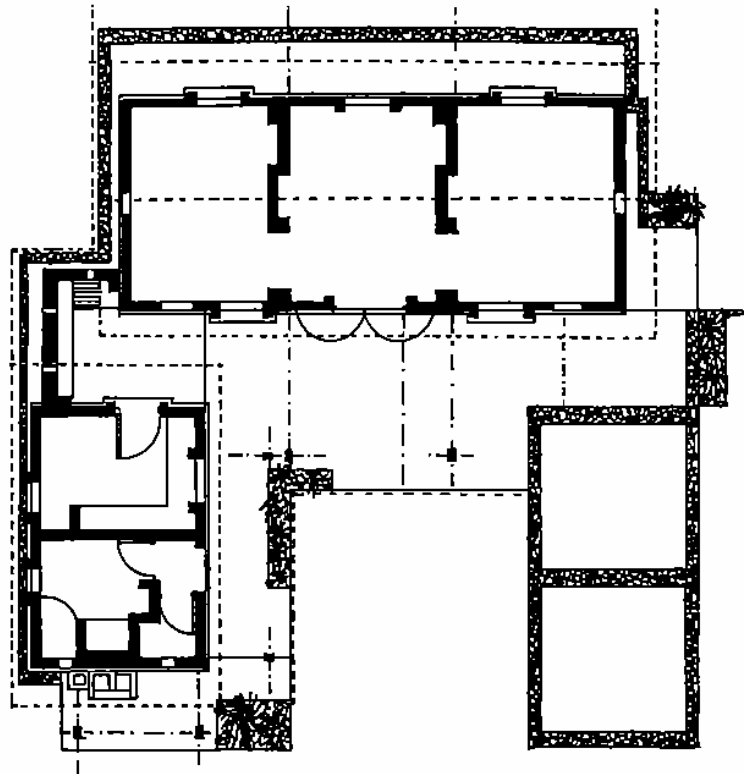


Fig. 228 : Logement de type T3 agrandi (séjour extérieur).

MODELE T4

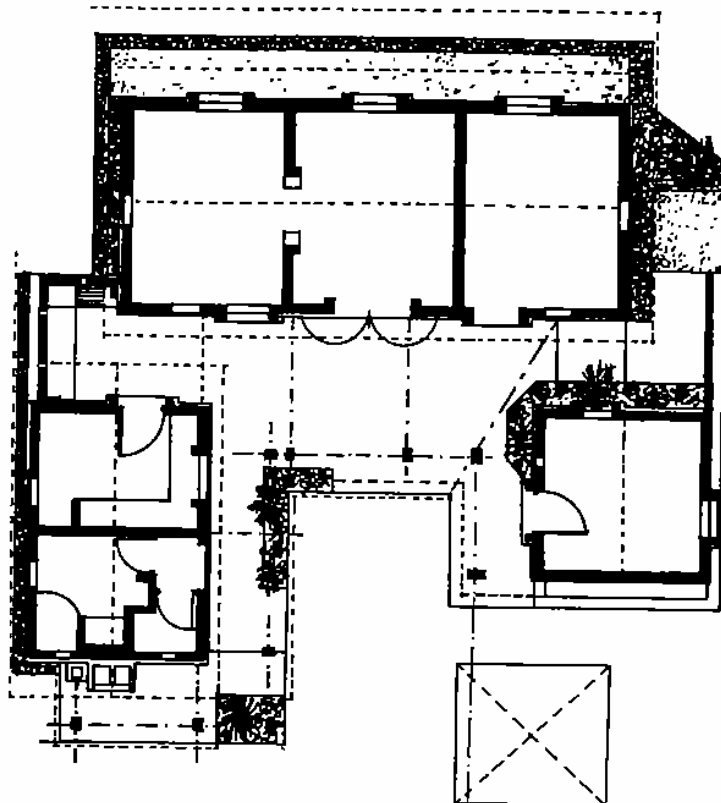


Fig. 229 : Logement de type T4.

ARCHITECTURE D'HABITAT



MAROC

De la tradition à la modernité

Situé au Maroc, dans un pays riche d'une tradition de construction en terre, dont l'héritage architectural est considéré comme l'un des plus beaux du monde, le projet de logements réalisé à Marrakech Hay al Massira instruit la voie d'une actualisation des savoir-faire marocains en milieu urbain et dresse une passerelle entre les traditions et la modernité. Ce mode de construction est toujours bien intégré dans l'économie rurale des régions du sud du pays mais, depuis plusieurs décennies, a déserté les villes qui témoignent pourtant de son utilité comme de son excellence (médina de Marrakech, par exemple). Les villes marocaines connaissent une extension importante et les matériaux contemporains sont encore souvent d'un coût prohibitif. C'est pour tenter de trouver d'autres solutions que les institutions marocaines ont envisagé, au cours des années 80, de relancer l'emploi de la terre sur les questions de l'habitat en milieu urbain.

QUATRE LOGEMENTS A MARRAKECH HAY AL MASSIRA



Fig. 230 : Vue détaillée de l'une des façades d'un logement en blocs de terre réalisé à Marrakech.

QUATRE LOGEMENTS A MARRAKECH, MAROC

Situation du projet et objectifs

Lancé et réalisé entre 1983 et 1986-87, le projet de construction de logements en blocs de terre de Marrakech Hay al Massira se situe dans le cadre d'une action de coopération bilatérale menée entre la France (programme de recherche expérimentale en coopération, Rexcoop) et le Maroc, à l'initiative d'un important maître d'ouvrage de la région sud, l'Erac-Tensift, à Marrakech. Cette coopération était notamment établie sur les bases de l'expérimentation française développée sur le projet du "Domaine de la terre" de l'Isle-d'Abeau (près de Lyon) qui inspirait une démarche similaire chez les décideurs de l'aménagement du territoire et de la construction marocains.

Le projet de Marrakech prévoyait la réalisation de 60 logements de type "intermédiaire" pour une tranche en zone semi-rurale (périphérie de Marrakech), de type "standing" et "moyen standing" en milieu urbain et péri-urbain. Le projet visait l'actualisation des savoir-faire marocains, entendait contribuer à vaincre des barrières opposées par les constructeurs et les utilisateurs, visait l'intégration de la construction en terre dans un cadre juridique et technique légal et dans un cadre économique réel, et enfin, une relance de l'expérimentation sur le thème de l'emploi des matériaux locaux et des solutions constructives innovantes.

FICHE TECHNIQUE DESCRIPTIVE DU PROJET

Phase expérimentale du projet : 2 logements correspondant à une surface hors œuvre de 305 m².

- Financement du projet : C.I.H. (Crédit immobilier hôtelier).
- Financement des études, expérimentations et assistance technique : FAC (Fonds d'aide et de coopération), dans le cadre du programme interministériel français Rexcoop.
- Maître d'ouvrage : Etablissement régional d'aménagement et de construction de la région du Tensift (Marrakech), Ministère de l'Habitat et de l'Aménagement du territoire, M.H.A.T., Rabat, Maroc.
- Maîtrise d'œuvre : Abderrahmane Chorfi, architecte, Rabat, Maroc, assistance technique de Jean-Vincent Berlotier, architecte à Bourg-en-Bresse, France.
- Réalisation : E.R.C.T., Elie Mouyal, architecte-entrepreneur, Marrakech, Maroc.
- Coordination de l'assistance technique et architecturale, formation : CRA Terre, Grenoble.
- Assistance technique matériaux : Société ALTECH, Embrun, et école d'architecture de St-Etienne, France.

- Assistance au suivi de l'opération : GAI Terre, Marrakech, Maroc.
- Contrôle technique : D.C.T.C., Rabat, L.P.E.E.L., Casablanca et délégation régionale de Marrakech, B.E.T. Promoconsult, Casablanca, Maroc.
- Matériaux de construction des murs : blocs de terre comprimée stabilisée (29,5 x 14 x 9 cm) et blocs de terre vibro-compactée (20 x 20 x 40 cm).
- Fondations : béton armé (longrines).
- Systèmes constructifs expérimentaux : planchers en entrevous de blocs de terre en appui sur poutrelles de béton armé. Franchissement des baies en linteaux de béton armé (pour maçonnerie en blocs 20 x 20 x 40 cm) et en arcs plate-bande en blocs de terre (pour maçonnerie en blocs 29,5 x 14 x 9 cm).
- Réactualisation de solutions techniques traditionnelles telles que : enduits intérieurs au plâtre et au tadellakt (chaux aérienne serrée), sols en granito poli ou en carreaux de ciment. Toitures terrasses protégées par un "dess" (mortier de terre et de chaux damé).



Fig. 231 : Vue générale extérieure du logement réalisé en blocs de terre vibro-compactée.

ARCHITECTURE D'HABITAT

Parti architectural et constructif

La surface constructible des parcelles est de 150 m² avec une possibilité de R + 1 (rez-de-chaussée + un étage). Le plan des logements prévoit un séjour de 25 m², une à trois pièces de 18 m², une cuisine de 15 m² et une salle de bains-toilettes de 12 m². Le plan des deux logements a été organisé en trois ou quatre travées en R + 1. Il s'agit d'un plan en "U", ouvert sur une terrasse privative donnant sur la façade arrière, quasiment aveugle, du logement précédent. Le plan du plus petit, en trois travées, correspond à l'utilisation du bloc de terre vibro-compactée de 40 x 20 x 20 cm. L'accès se fait par la terrasse du rez-de-jardin, en façade, qui donne sur un hall desservant de part et d'autre une cuisine-séjour et un salon. Un escalier distribue à l'étage deux chambres et une salle de bains.

Le parti constructif de ce premier logement de type T3, par le fait de l'utilisation d'un bloc de terre vibro-compactée au format 40 x 20 x 20 cm, s'apparente finalement à celui d'une construction en blocs de sable-ciment de même dimension courante. En effet, le bureau d'études techniques (B.E.T.) qui a traité le projet avec le maître d'œuvre a utilisé des solutions tout à fait similaires, jusqu'aux raidisseurs d'angles en béton armé, aux linteaux et chaînages en béton armé. L'innovation réside ici dans l'expérimentation de planchers à entrevous en blocs de terre comprimée au format de 29,5 x 14 x 9 cm, coffrés et en appui sur des poutrelles de béton armé.

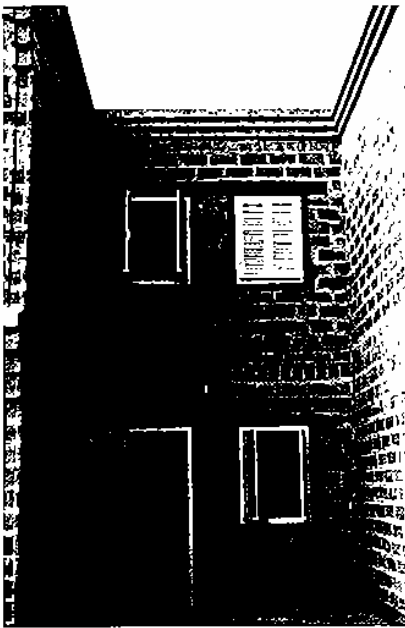
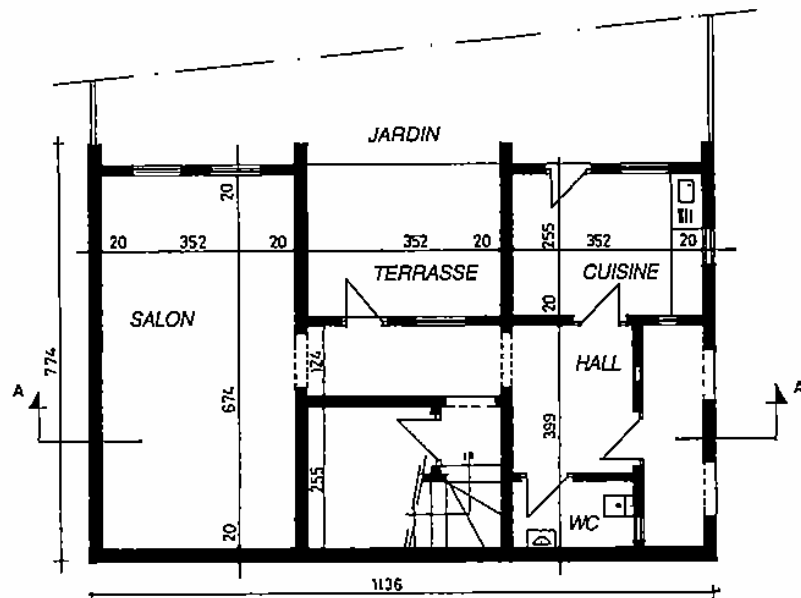


Fig. 232 : Vue de la terrasse d'accès en "U".



Fig. 233 : Encorbellement pour brise-soleil.

PLAN DU REZ-DE-JARDIN



PLAN DE L'ETAGE

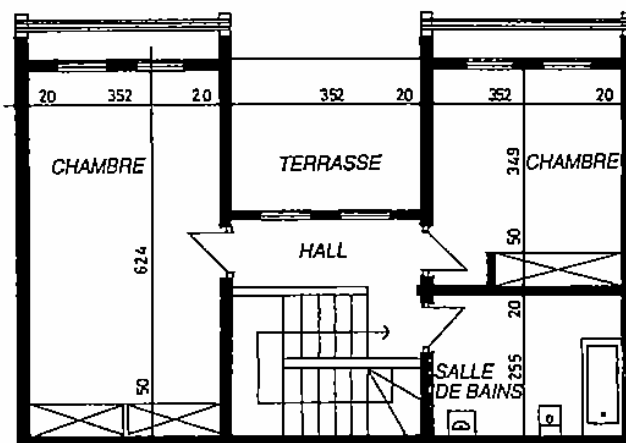


Fig. 234 : Plan du logement réalisé en blocs vibro-compactés de 40 x 20 x 20 cm.

QUATRE LOGEMENTS A MARRAKECH, MAROC



Fig. 235 : Réalisation de la corniche d'acrotère de toiture.

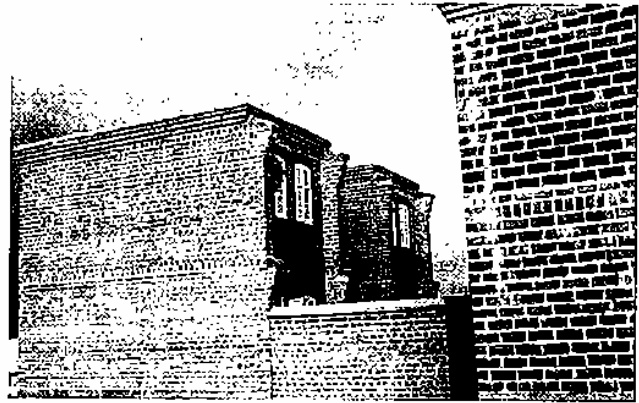


Fig. 236 : Façades latérales des logements en blocs différents.

FAÇADE PRINCIPALE SUR TERRASSE

(Les fenêtres du rez-de-jardin ont été finalement ramenées à la même cote de linteau que les portes)

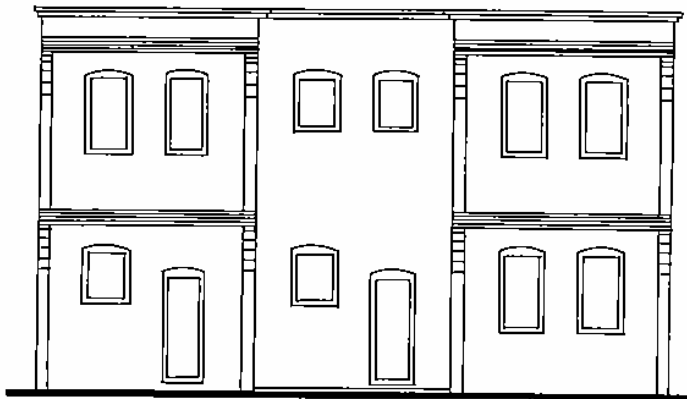


Fig. 238 : Scellement des menuiseries.

COUPE LONGITUDINALE

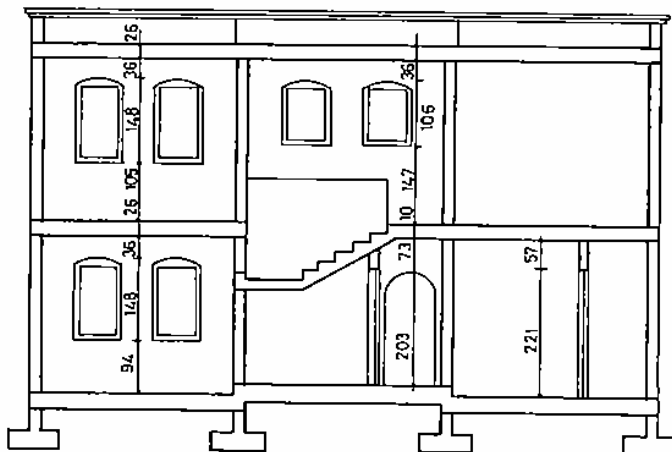


Fig. 239 : Pose des menuiseries.

Fig. 237 : Façade et coupe AA du logement réalisé en blocs vibro-compactés de 40 x 20 x 20 cm.

ARCHITECTURE D'HABITAT

Logement en blocs de terre comprimée stabilisée de 29,5 x 14 x 9 cm

Le deuxième modèle de logement dessiné par l'architecte Abderrahmane Chorfi suit le même principe de conception architecturale que celui adopté pour le logement précédent mais correspond à une taille plus grande. Une quatrième travée est ajoutée permettant d'accueillir la cuisine au rez-de-jardin et une chambre supplémentaire à l'étage. Il s'agit d'un logement "standing" de type grand T4, voire T5 (éventuellement affectation d'une des pièces du rez-de-jardin en chambre). L'accès au logement ne se fait plus par la terrasse mais par la façade latérale, côté cuisine, à partir d'une courette ouverte donnant sur le hall.

Le parti constructif en bloc de terre comprimée de 29,5 x 14 x 9 cm est plus flexible et adopte une épaisseur de maçonnerie en 29,5 cm avec un appareillage en boutisse et panneresse. Cette épaisseur de mur permet de se passer de raidisseurs d'angles en béton armé tout en conservant le même principe de fondations et de chaînage en béton armé. Les planchers sont également à entrevous de blocs de terre mais selon un autre principe de coffrage : une rangée axiale de blocs de terre, soutenue par un basting porté par des chandelles, sert d'appui à des blocs en appareil orthogonal symétrique appuyés par leurs bouts sur cette rangée axiale et les poutrelles.

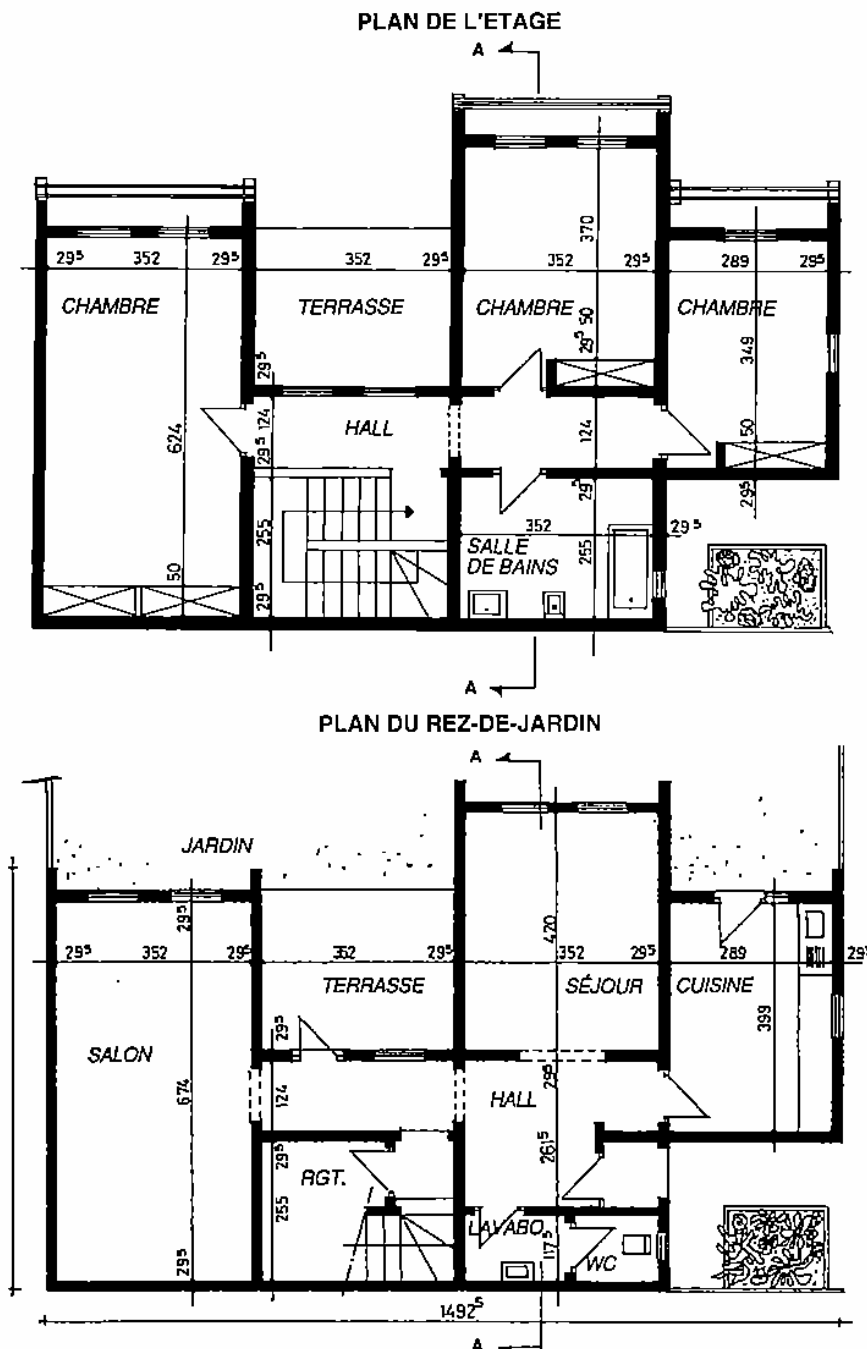


Fig. 240 : Plan du logement réalisé en blocs de terre comprimée de 29,5 x 14 x 9 cm.

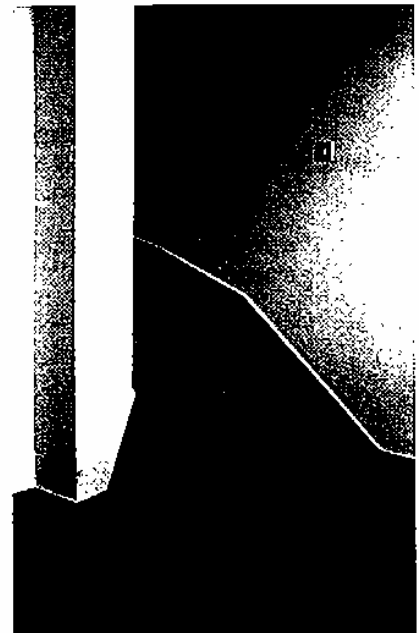


Fig. 241 : Vue de l'escalier en granito poli.

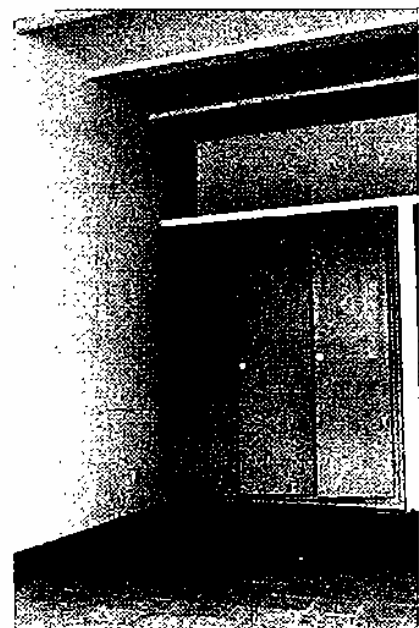
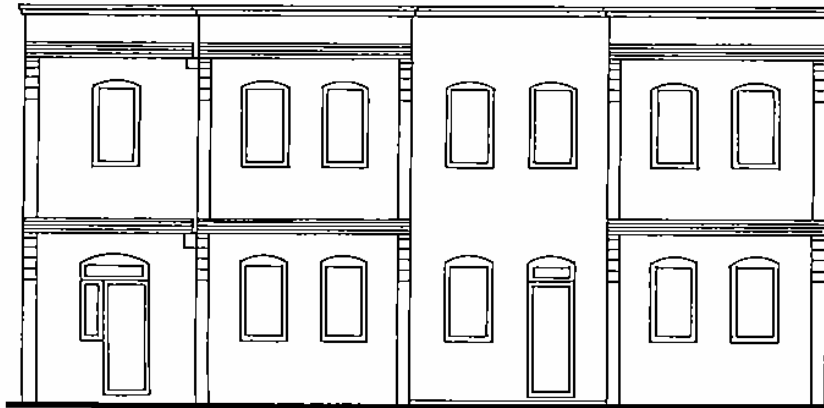


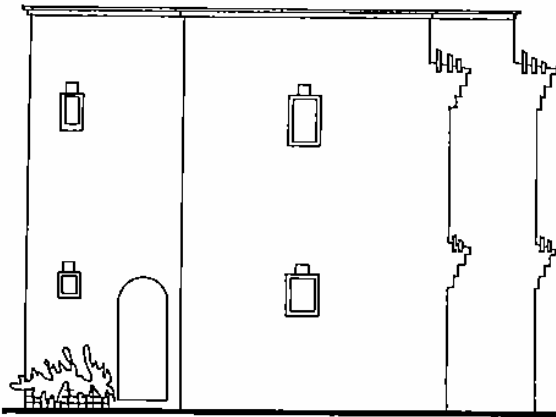
Fig. 242 : Chambre avec plafond à voûtains.

QUATRE LOGEMENTS A MARRAKECH, MAROC

FAÇADE PRINCIPALE



FAÇADE LATÉRALE GAUCHE



COUPE TRANSVERSALE

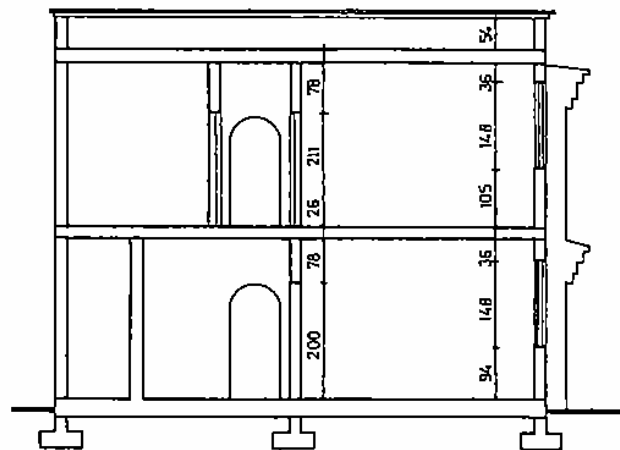


Fig. 243 : Façade et coupe AA sur logement réalisé en blocs de terre comprimée de 29,5 x 14 x 9 cm.



Fig. 244 : Vue de l'une des travées.

Protection solaire

Orientées plein sud, avec les ouvertures des chambres à l'étage bénéficiant d'un ensoleillement important tout au long de l'année, les façades des logements de Hay Al Massira, exigeaient un traitement particulier destiné à atténuer cet apport de lumière et de chaleur trop direct.

Le principe adopté par l'architecte est celui d'un encorbellement appareillé en saillie des murs de refend des travées du plan, devant recevoir des brise-soleil en bois peint solidarisés à un corbeau en béton, lui-même relié au chaînage. Ce système de protection ajoute à l'esthétique de la façade, plutôt austère, de ces logements.

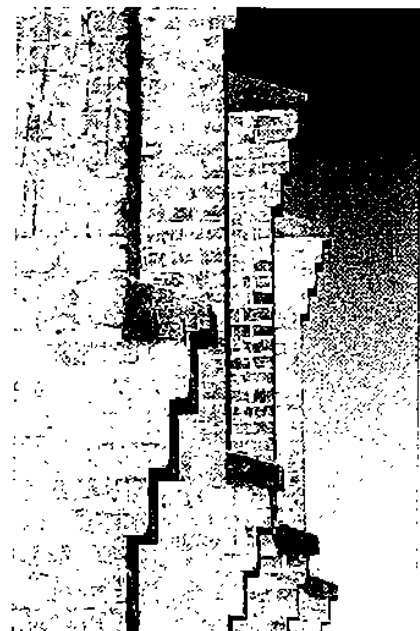


Fig. 245 : Encorbellements pour brise-soleil.

ARCHITECTURE D'HABITAT

DETAILS D'EXECUTION

APPUI DE BAIE

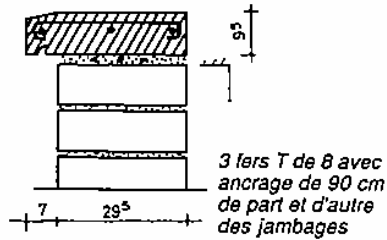


Fig. 246 : Détail de l'appui de fenêtre en béton moulé armé et renforcement du lit de pose.

ACROTERE

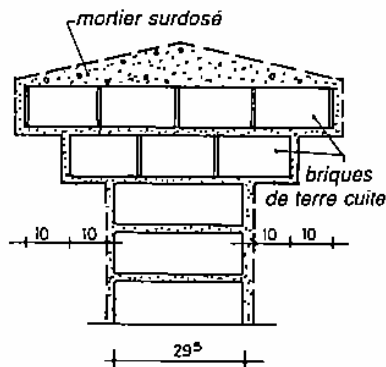


Fig. 247 : Détail de la corniche d'acrotère avec son encorbellement en briques cuites.

CORBEAU DE BRISE-SOLEIL

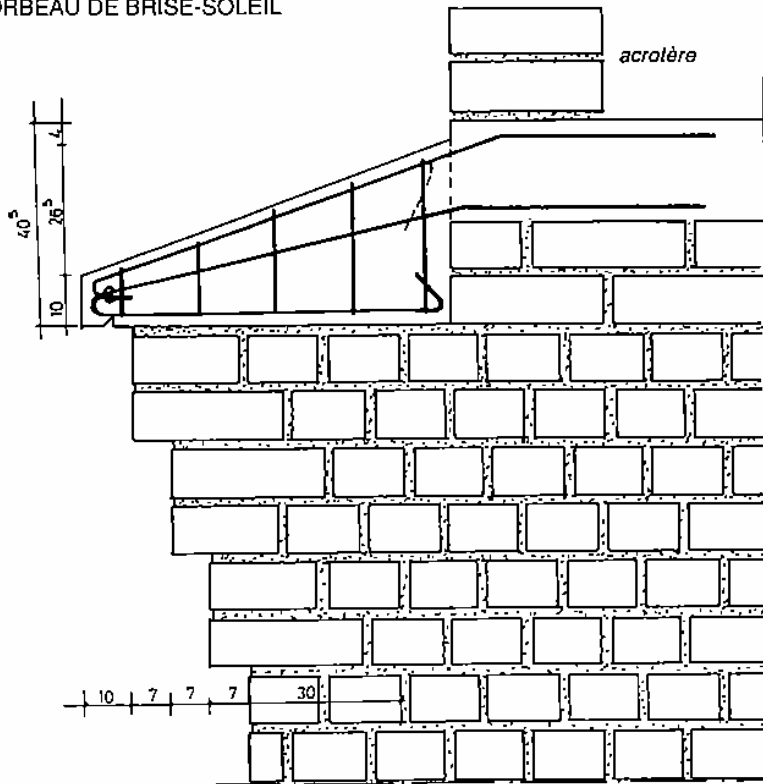


Fig. 248 : Encorbellement de façade et son corbeau en B.A. pour fixation des brise-soleil.

Tableaux de baies

Deux options ont été prises selon le type de maçonnerie des murs. Pour la maçonnerie en blocs de terre vibro-compactée de 20 x 20 x 40 cm, les blocs constituent les jambages verticaux alors que les linteaux sont traditionnellement réalisés en béton armé. Les appuis de fenêtres sont eux aussi, réalisés en béton armé au moyen d'un élément moulé sur le chantier avec goutte d'eau. Cet élément est posé sur un lit de mortier renforcé de trois fers tors de 8 mm de diamètre qui sont prolongés de 90 cm dans la maçonnerie au pied des jambages. Ce renforcement permet d'éviter la fissuration classique aux allèges (fig. 246). Une fois finis, ces tableaux de baies sont protégés en leur pourtour, en façade, par une peinture.

Acrotères des toitures-terrasses

La périphérie des toitures-terrasses est protégée par un acrotère élevé en blocs de terre de 29,5 x 14 x 9 cm appareillés en boutisse. Cet acrotère est protégé en son sommet par une corniche en briques cuites traditionnelles de la région de Marrakech. L'appareil de ces briques cuites réalise un léger encorbellement de part et d'autre des parements de l'acrotère qui assure un bon rejet de l'eau au-delà du mur. Le sommet de l'acrotère est protégé par un mortier de sable-ciment surdosé. Côté intérieur, l'acrotère reçoit une protection de surface en remontée de "dess" (fig. 247).

Corbeaux pour brise-soleil

Le système d'encorbellement en façade, en prolongement des murs de refend en légère saillie, reçoit un corbeau en béton armé solidarisé au chaînage qui permettra la fixation des brise-soleil et dont la pente assure un bon rejet de l'eau au-delà de la façade.

QUATRE LOGEMENTS A MARRAKECH, MAROC

L'une des principales expérimentations menées sur les solutions constructives a été celle des planchers à entrevous de blocs de terre. Cherchant un compromis technique entre la tradition de ces systèmes et leur mise en œuvre plus contemporaine, la solution adoptée a retenu le principe de l'entrevous en poutrelles de béton armé traditionnellement utilisées pour les planchers à hourdis de sable-ciment ou de terre cuite et les blocs de terre comprimée bâtis sur un coffrage glissant ou sur un système de bastaing axial soutenu par des chandelles en bois.

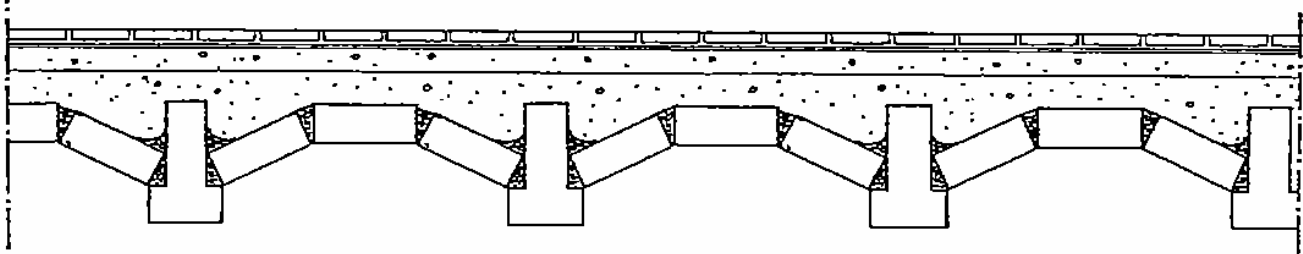


Fig. 249 : Coupe longitudinale sur le principe constructif d'entrevous en poutrelles de béton armé et blocs de terre comprimée.

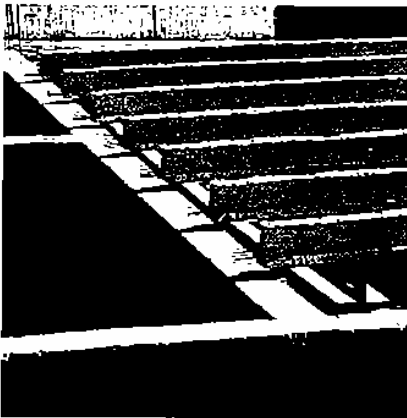


Fig. 250 : Pose des poutrelles en béton armé sur le chaînage. Des chapeaux viendront solidariser le système au béton du chaînage.

Stabilité des entrevous

Au moment de leur mise en œuvre, les entrevous doivent être réalisés de manière à assurer une bonne répartition des poussées sur les poutrelles et sur les murs. Il convient donc de réaliser simultanément l'ensemble des voûtains d'une même pièce en démarrant du même côté de la pièce et en progressant de façon égale jusqu'à leur complète fermeture de l'autre côté de la pièce. Si cela n'est pas possible, pour des raisons d'économie de coffrage, il faut prévoir des tirants temporaires formant entretoises entre les poutrelles de façon à les maintenir en place (risque de glissement).

Le remplissage sur l'extrados de l'entrevous, en mortier de terre stabilisée doit être également réalisé de façon à assurer un bon équilibre de la post-compression qui stabilisera définitivement les entrevous.



Fig. 251 : Apparence du gros œuvre du plafond à entrevous réalisé selon le principe d'une rangée axiale de blocs soutenue par un bastaing provisoire et permettant d'appuyer les blocs en about de façon symétrique.



Fig. 252 : Finition au plâtre.



Fig. 253 : Aspect d'un entrevous coffré.

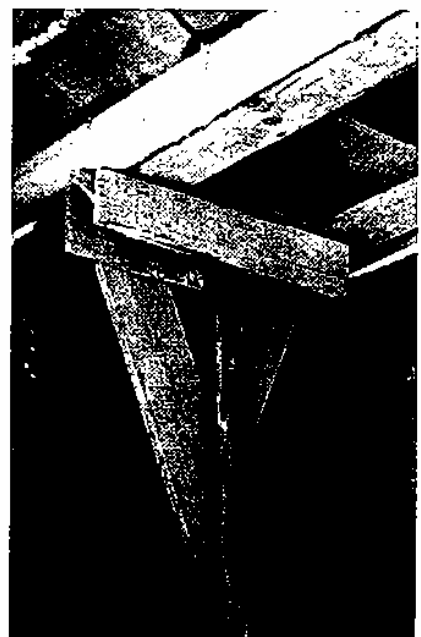


Fig. 254 : Chandelle de coffrage.

ARCHITECTURE D'HABITAT



GUYANE

A la recherche de solutions pour le logement social guyanais.

Ce projet était associé à une volonté des décideurs locaux de l'aménagement du territoire urbain de la ville de Kourou, en Guyane, de tester de nouvelles filières de construction, autres que les filières traditionnelles du béton ou du bloc de sable-ciment, équivalentes à celles développées sur le territoire métropolitain français. Cela en vue d'explorer de nouvelles réponses techniques et architecturales utiles pour les programmes de logements sociaux. La construction en terre n'est pas présente dans la culture constructive vernaculaire guyanaise ; il s'agissait donc d'une innovation. Le projet a été entrepris à la demande de la Société immobilière de Kourou, SIMKO, qui gère le patrimoine foncier ainsi que le patrimoine immobilier et mobilier de la grande majorité du territoire urbain de la ville de Kourou dont le Centre national d'Etudes spatiales, CNES, est le propriétaire depuis son installation sur le site en 1964.

DEUX LOGEMENTS A KOUROU



Fig. 255 : Vue générale des deux logements pilotes réalisés à Kourou. Au premier plan, pignon du logement à étage, au deuxième plan, pignon du logement de plain-pied.

DEUX LOGEMENTS A KOUROU, GUYANE

La construction en terre dans une ville nouvelle

La décision d'installation du CNES à Kourou, en 1964, va être le point de départ de la transformation du site sur la base d'une attitude de développement volontariste liée à une seule activité principale : le programme spatial de la fusée "Ariane". Une ville de conception totalement nouvelle et moderne va être créée de toutes pièces en quelques années. La plus grande partie du patrimoine immobilier de la ville est constitué de logements récents dont la conception et les modes de construction répondent aux normes métropolitaines françaises. Le béton et le bloc de sable-ciment dominent le paysage. L'augmentation très rapide de la population au cours de ces vingt-cinq dernières années, a contribué à une croissance démesurée des grands pôles urbains de Guyane (Cayenne, Kourou, St-Laurent). L'aménagement plus spécifique de la commune de Kourou doit faire face à une très forte demande en logements sociaux ou très sociaux pour lesquels les solutions architecturales et constructives actuellement utilisées ne sont pas toujours économiquement ou qualitativement satisfaisantes. C'est dans ce contexte d'une ville nouvelle cherchant à améliorer sa réponse au problème de l'habitat social que se situe ce programme de construction en blocs de terre comprimée.

FICHE TECHNIQUE DESCRIPTIVE DU PROJET

Programme : deux logements expérimentaux en blocs de terre comprimée stabilisée.

Maçonnerie : en blocs de terre stabilisée de 29,5 x 14 x 9 cm. Murs appareillés en 14 et en 29,5 cm d'épaisseur.

Un modèle de type T3 à étage de 56 m² habitables.

Linteaux des baies : en arcs de blocs de terre coffrés.

Un modèle de type T4 de plain-pied, de 70 m² habitables.

Chaînages : en béton armé, épaisseur de 10 cm, au niveau haut du premier niveau. Coulé dans un coffrage perdu en blocs de terre. Chaînage rampant en couronnement des murs pignons.

Maître d'ouvrage : Société immobilière de Kourou, SIMKO.

Maîtres d'œuvre : architectes A. Corandi et B. Girard.

Planchers : en solives de bois d'angélique ancrées dans le béton du chaînage, parquet à languettes en bois du pays.

Assistance technique et architecturale : CRATerre - école d'architecture de Grenoble.

Toiture : charpente en ferme moisée, pannes, chevrons et linteaux. Varangue sur poteaux composés. Couverture en bardeaux de wapa (bois local) fendu.

Coordination des travaux : P. Huon et S. Dours, techniciens maçons.

Menuiseries : en bois de saint-martin rouge, raboté ; ancrage dans la maçonnerie par blocs de bois bâtis à mortier.

Fondations : béton de propreté en fond de fouilles en rigoles compactées et longrines B.A. coulées en place.

Enduits : badigeon de terre-ciment très dilué sur les murs extérieurs en blocs de terre.

Dallage : sur remblai de sable compacté recouvert d'un polyane en béton armé de 10 cm d'épaisseur avec renforts au droit des longrines et murs intérieurs.



Fig. 256 : Vue de la façade du logement de type T4, de plain-pied.

ARCHITECTURE D'HABITAT

Conception architecturale du logement de type T3 à étage

Les principes de conception de ces deux logements expérimentaux répondent à l'idée de réaliser une double démonstration sur deux types distincts de plans. D'une part sur un type de logement à étage et d'autre part sur un type de logement de plain-pied. Chacun des logements répondant toutefois aux normes d'habitabilité spatiale des logements sociaux réalisés dans l'emprise urbaine de la commune de Kourou.

Sur le type de logement à étage, le principe adopté d'une simple toiture à double pente avec pignon élancé permet aussi d'envisager l'extension du logement de chaque côté des murs gouttereaux par l'ajout éventuel d'une ou deux travées supplémentaires. La liaison avec le logement de base se fait par les ouvertures existantes, portes ou fenêtres à allèges indépendantes qui peuvent être enlevées. Les autres grands principes de conception relèvent davantage du domaine de l'adaptation climatique dans ce milieu tropical marqué par l'alternance des saisons des pluies et des saisons sèches. Un large débord de toiture assure l'ombrage et la protection contre les pluies. Une ventilation naturelle par des ouvertures positionnées sur toutes les façades, avec menuiseries à lames de verre ou de bois améliore le confort à la saison chaude et humide.

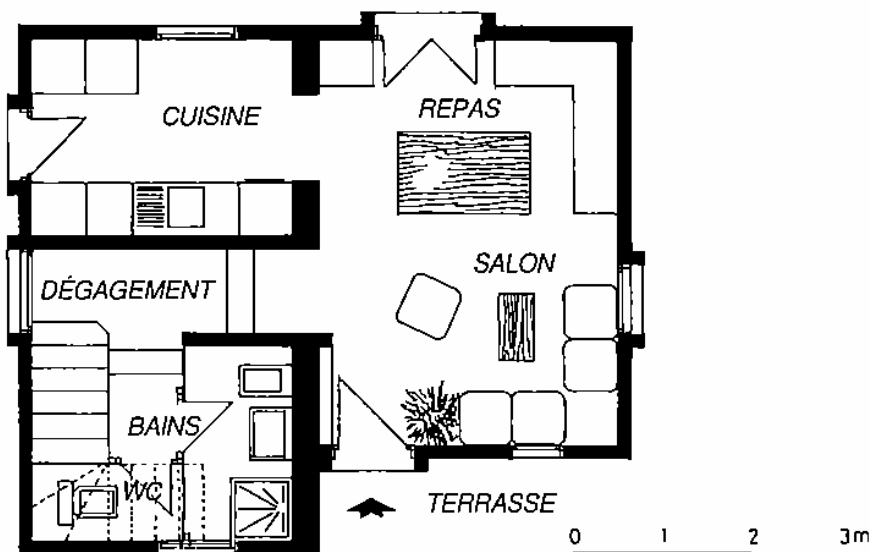


Fig. 257 : Principe d'aménagement du rez-de-jardin du logement de type T3 à étage.

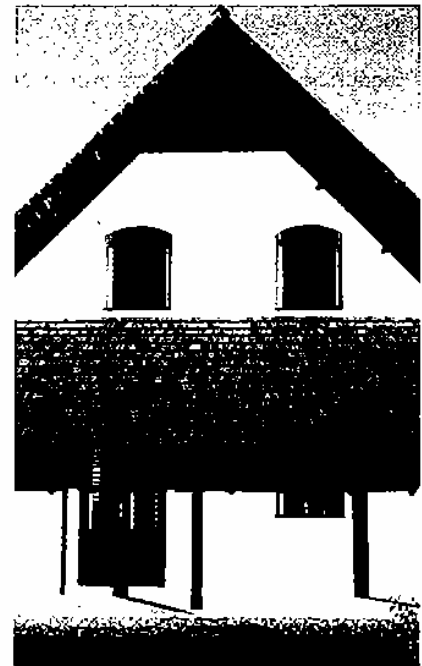


Fig. 258 : Pignon arrière avec sa varangue.

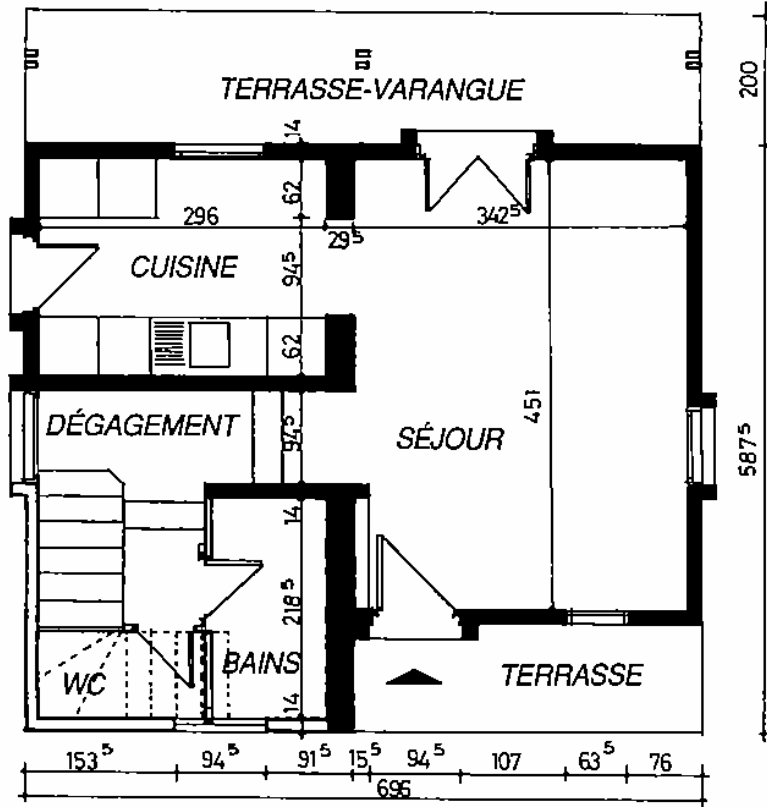


Fig. 259 : Pignon de façade principale, à l'étage, avec son décrochement.

L'esthétique de cette architecture, de conception simple, est valorisée par l'association du mur apparent en blocs de terre et du bois local utilisé pour la réalisation de la charpente-couverture, de bardages de ventilation à planches posées à recouvrement et pour les menuiseries à impostes ajourées. Le principe des larges débords de toiture, des varangues et des menuiseries ajourées est issu de l'architecture créole traditionnelle.

DEUX LOGEMENTS A KOUROU, GUYANE

REZ-DE-CHAUSSÉE



ÉTAGE

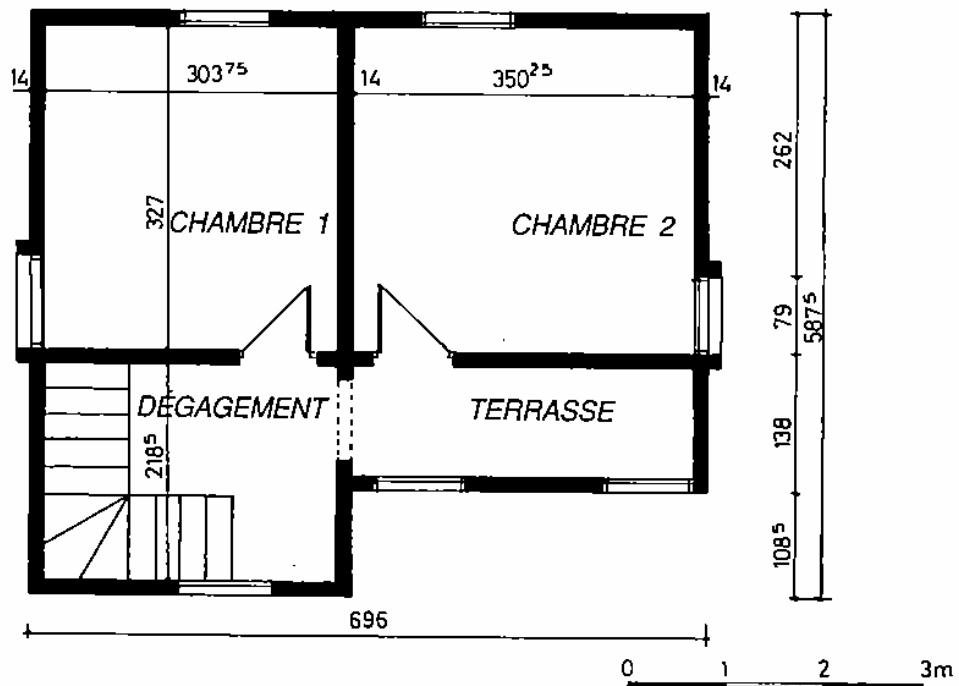


Fig. 260 : Plans du rez-de-jardin et de l'étage du logement de type T3.

ARCHITECTURE D'HABITAT

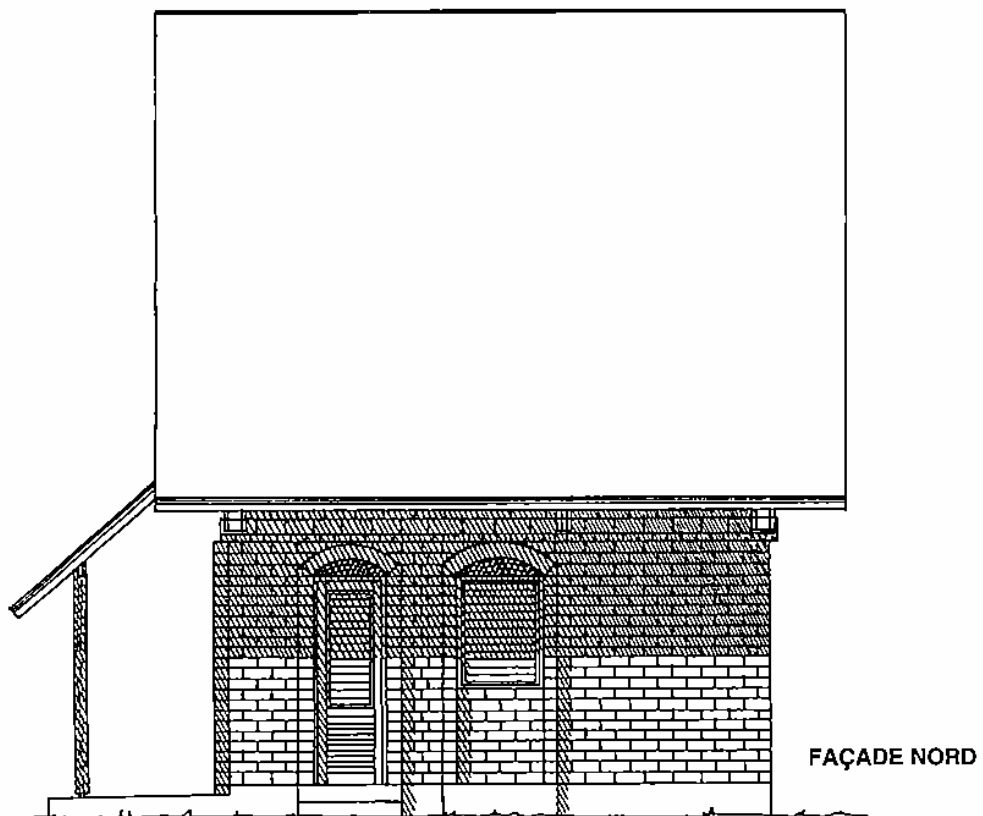
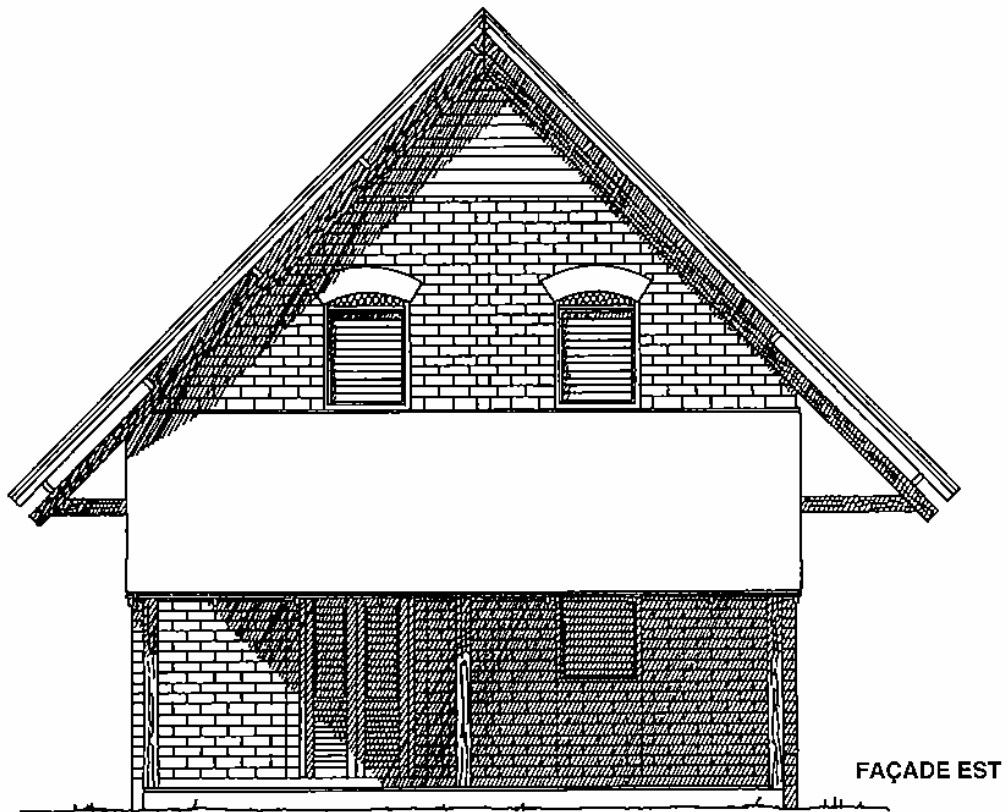


Fig. 261 : Élévations des façades est et nord. Noter l'élançement de la toiture en bardeaux de wapa.

DEUX LOGEMENTS A KOUROU, GUYANE

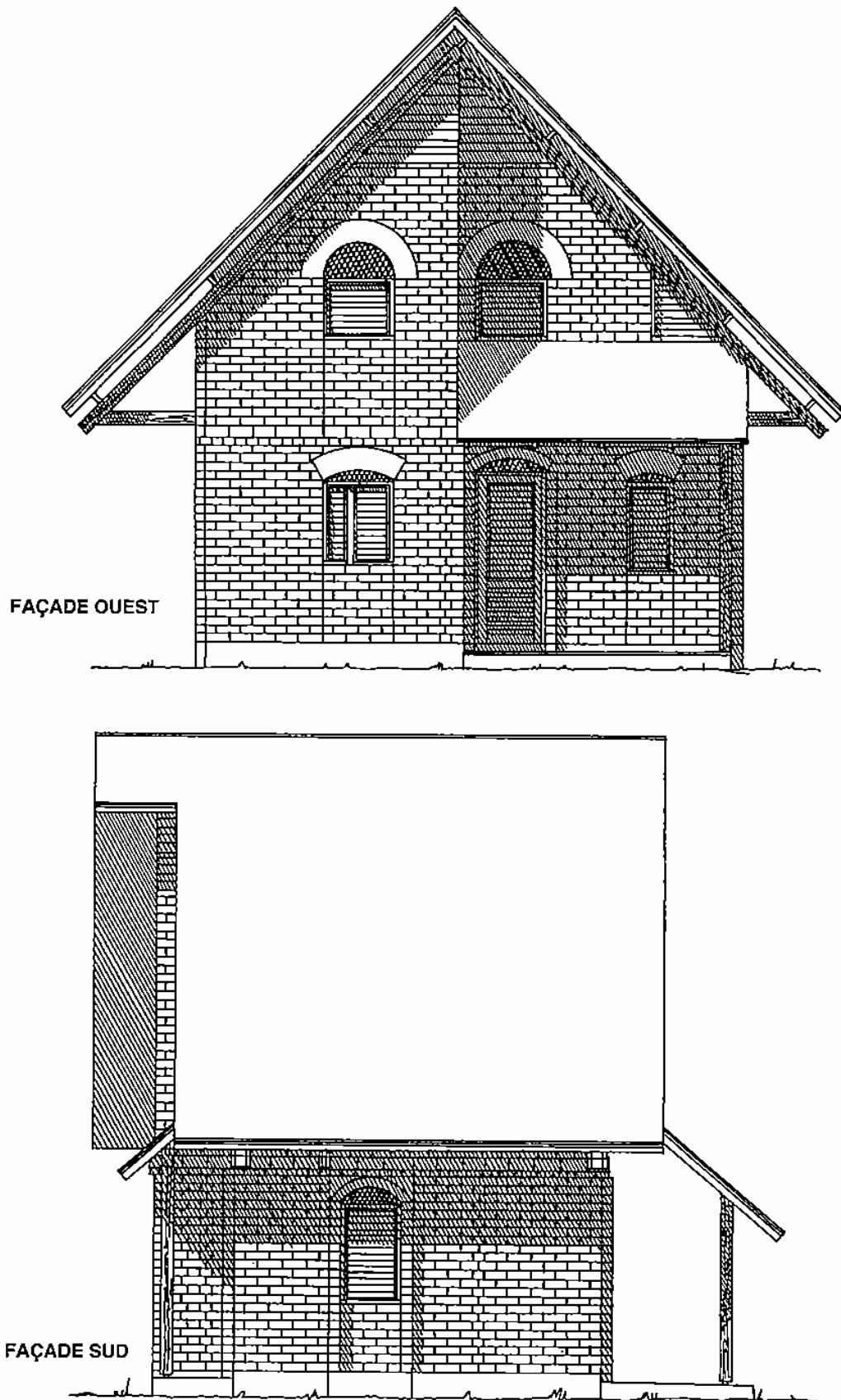
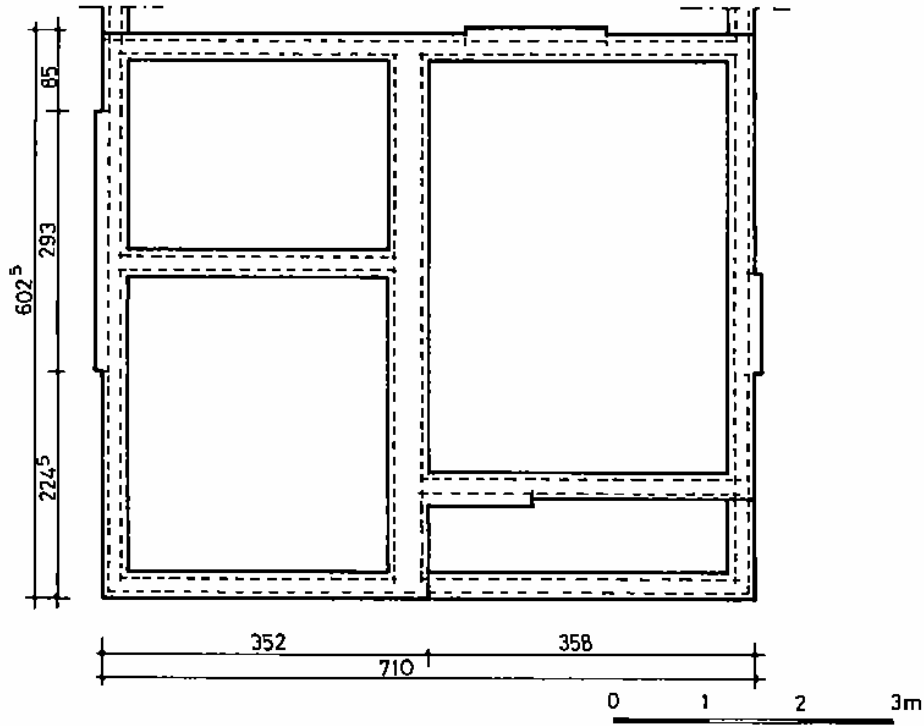


Fig. 262 : Elévations des façades ouest et sud : l'accès en façade principale se fait par une petite varangue en décrochement rentrant.

ARCHITECTURE D'HABITAT

BETON DE PROPRETE



LONGRINE EN BETON ARME

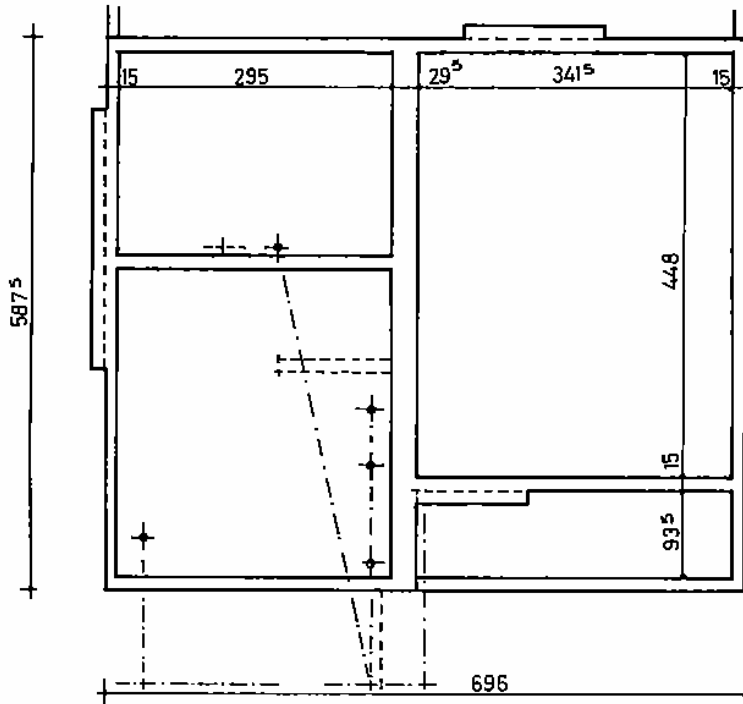


Fig. 263 : Plans des fondations. En haut, béton de propreté coulé en rigoles recevant une longrine en béton armé (plan du bas).

DEUX LOGEMENTS A KOUROU, GUYANE

Fondations

Le terrain naturel est décapé de sa terre végétale et parfaitement nettoyé. Des fouilles en rigoles sont creusées à une profondeur d'au moins 20 cm au-dessous du terrain naturel et sont ensuite compactées puis humidifiées avant de couler le béton de propreté (en épaisseur de 15 cm). Sur ce béton est ensuite coulée en place une longrine en béton armé d'une hauteur de 40 cm au-dessus du terrain naturel, faisant également office de soubassement. L'épaisseur de cette longrine correspond à la largeur des murs en blocs de terre (soit 14 cm, soit 29,5 cm) et des retours saillants de la maçonnerie des tableaux de baies. Le dallage est en béton armé d'un treillis, coulé en épaisseur de 10 cm, sur un remblai de sable compacté (en couches de 10 cm) revêtu d'un film polyane. La liaison des armatures de ce dallage à celles de la longrine périphérique est assurée par des fers en chapeaux. Tous les remblais sont traités anti-termites par produit agréé.

Les différents cas de figure de conception du système de fondations en béton de propreté rehaussé d'une longrine en béton armé sont donnés par les dessins de la fig. 264. Noter l'ajustement de l'épaisseur par rapport à celle des murs en blocs de terre. Les plans de la fig. 263 traduisent aussi ces variations d'épaisseur (élargissement de la longrine au droit des tableaux de baies saillants). Ce système est justifié par un terrain d'apport sableux dont la capacité portante a été évaluée à 1 kg/cm².

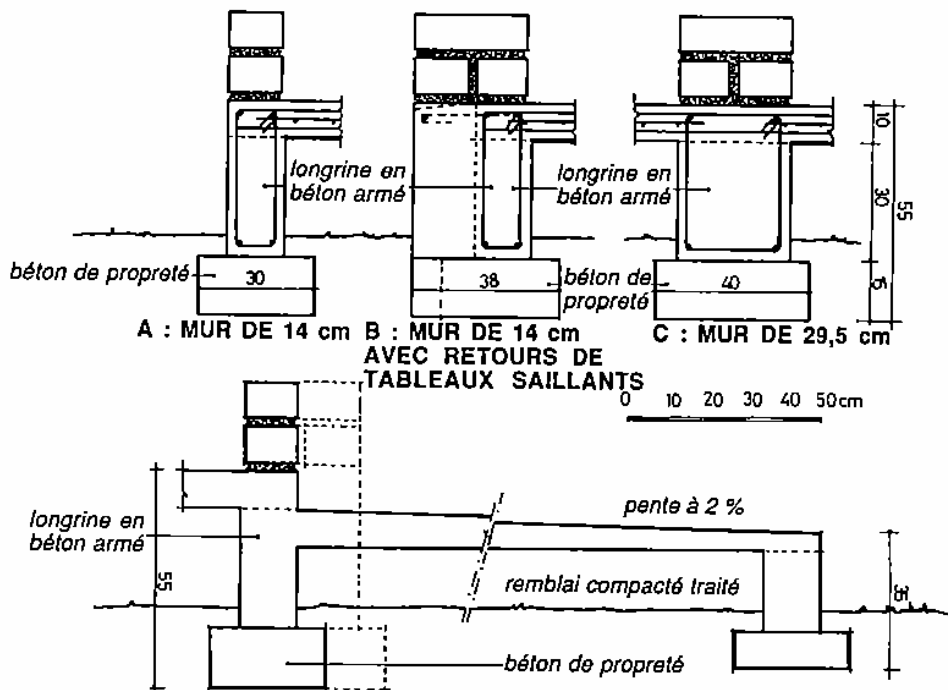
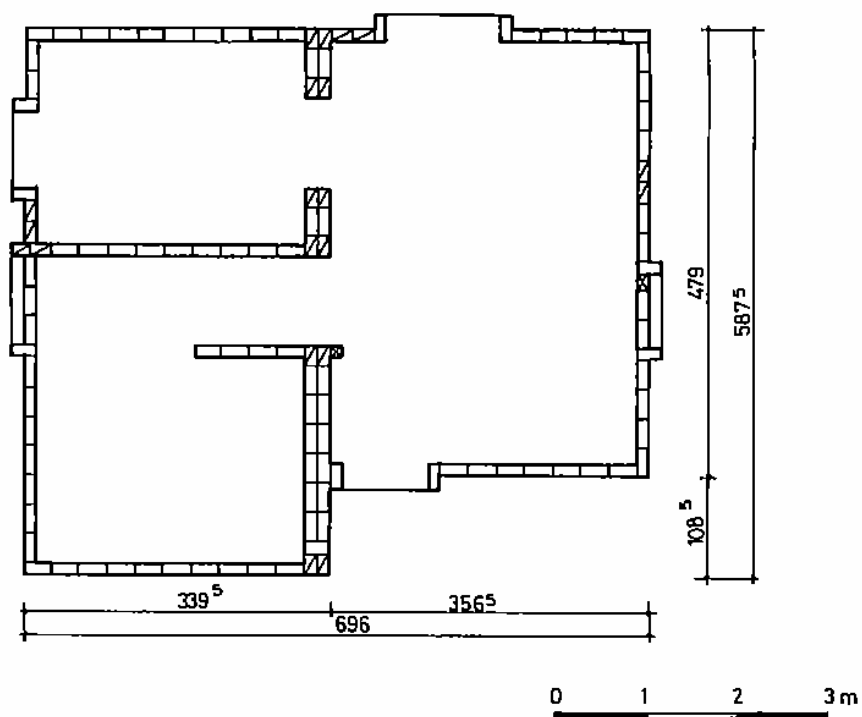


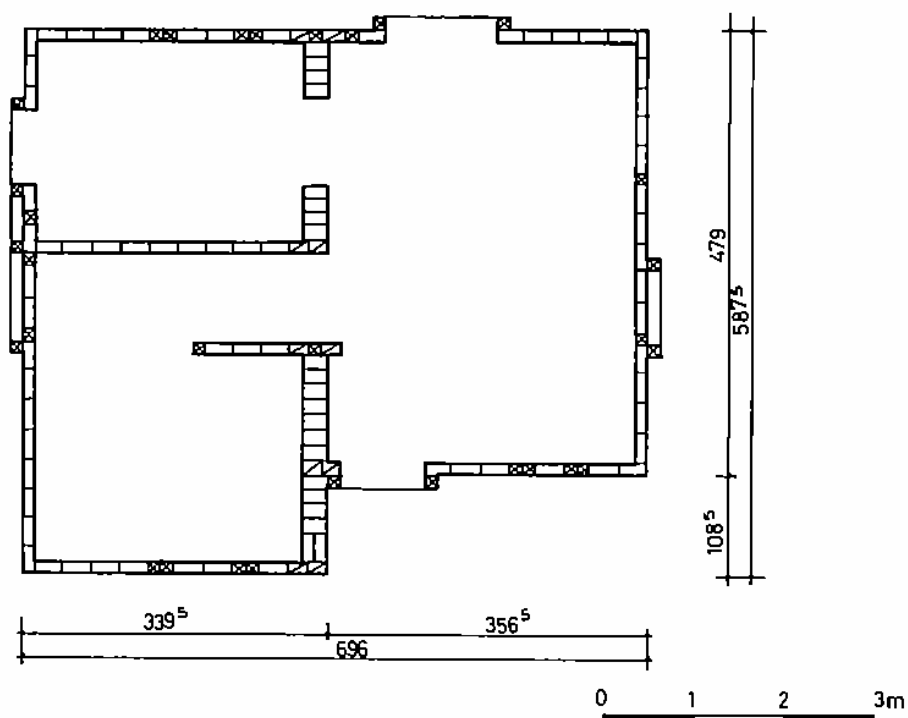
Fig. 264 : Types de fondations et leurs variations selon l'épaisseur des murs et principe de dalle sur remblai compacté pour les varangues.

ARCHITECTURE D'HABITAT

REZ-DE-JARDIN



CALEPINAGE DE LA PREMIERE ASSISE DE BLOCS



CALEPINAGE DE LA DEUXIEME ASSISE DE BLOCS

Fig. 265 : Calepinage de l'appareillage des BTC pour la maçonnerie des murs du rez-de-jardin.
Première assise (plan du haut), deuxième assise (plan du bas).

DEUX LOGEMENTS A KOUROU, GUYANE

Maçonnerie des murs

La maçonnerie des murs en blocs de terre se fait selon le principe d'appareillage en panneresse pour les murs épais de 14 cm, en utilisant les modules plein, trois quarts et demi, selon les cas de figure donnés par les retours de tableaux de baies ou les liaisons de murs gouttereaux à cloisons. Le mur de refend intérieur, destiné à porter le plancher d'étage est appareillé en boutisse et panneresse double rang (appareillage français), en 29,5 cm d'épaisseur.

Chaînage

Le chaînage en béton armé, à hauteur du plancher de l'étage, est coulé dans un coffrage perdu constitué d'une maçonnerie en blocs de terre. Un premier rang de briques en boutisse, disposées symétriquement de part et d'autre du mur de 14 cm ou en couronnement du mur de 29,5 cm, sert de fond de coffrage et d'appui à des blocs plus minces posés sur le chant et qui constituent les joues du coffrage.

CALEPINAGE DU PLAN DE CHAINAGE

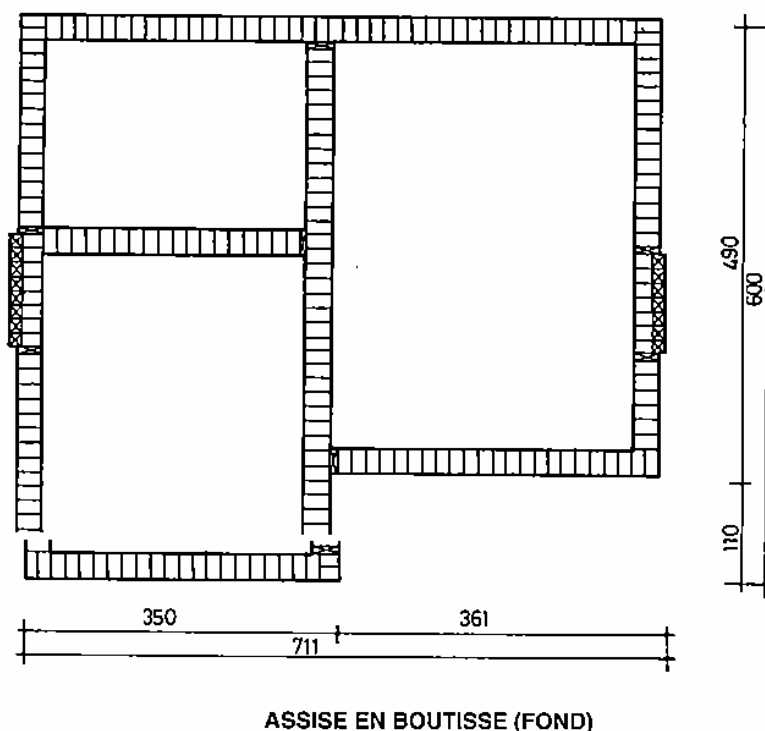


Fig. 266 : Assise de blocs en boutisse constituant le fond du coffrage du chaînage.



Fig. 265 : Mise en œuvre de la maçonnerie de coffrage perdu en blocs de terre comprimée pour la réalisation du chaînage. Un soin particulier est apporté à l'exactitude de l'appareillage des blocs car ce coffrage restera visible et constituera un élément de bandeau horizontal dans le mur apparent à hauteur du plancher de l'étage. La dimension du chaînage est de 15,5 cm (largeur) par 15,5 cm (hauteur). Le béton du chaînage est dosé à 350 kg /m² armé de quatre fers tors de 8 mm de diamètre. Pour le chaînage rampant des pignons, l'armature n'est constituée que de deux fers tors de 8 mm de diamètre dans une épaisseur de béton de 10 cm.

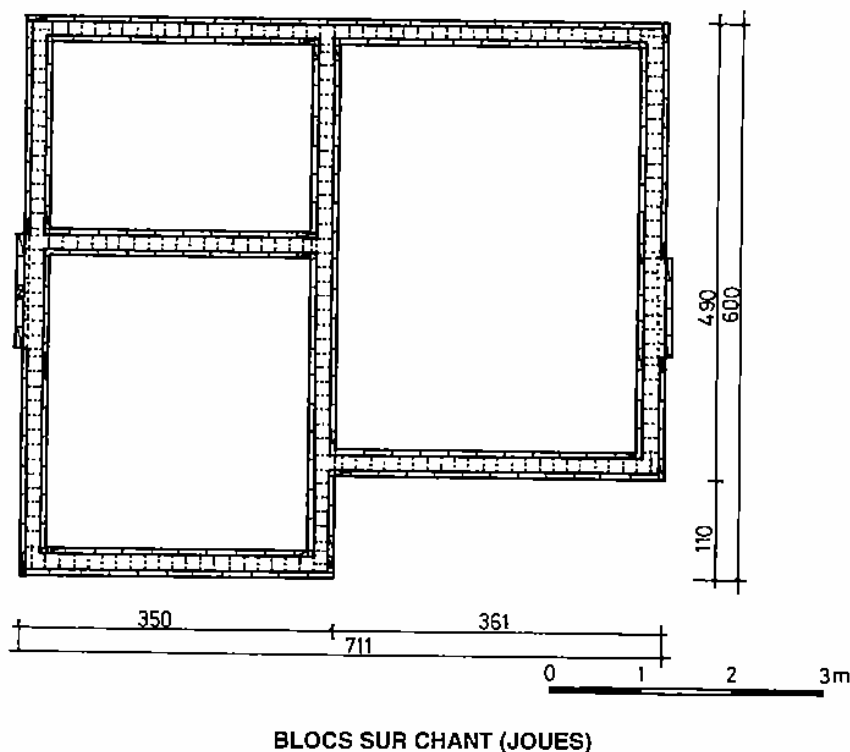
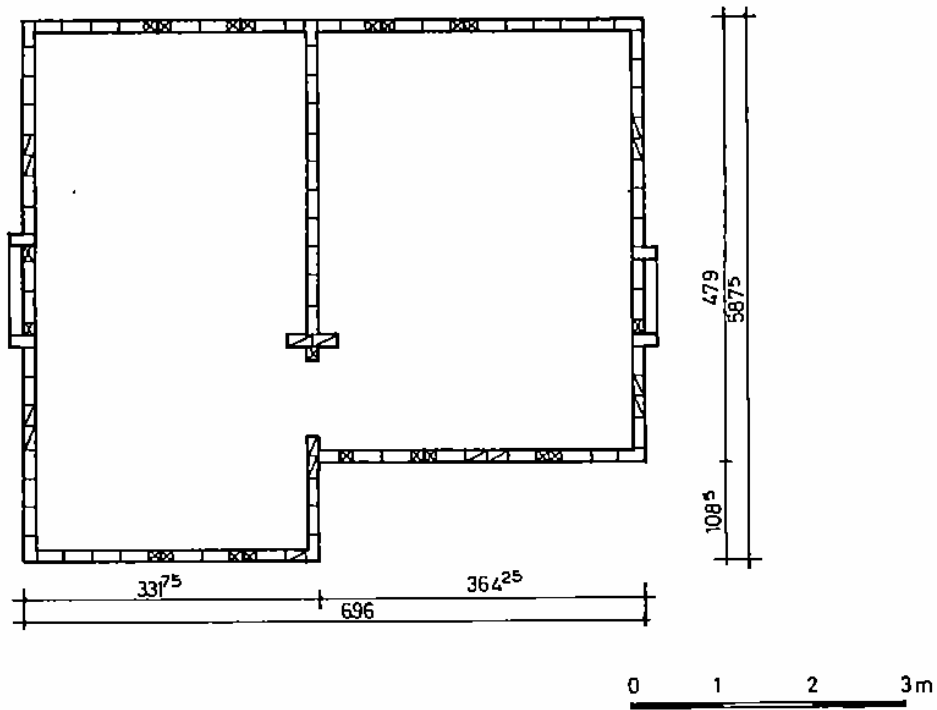


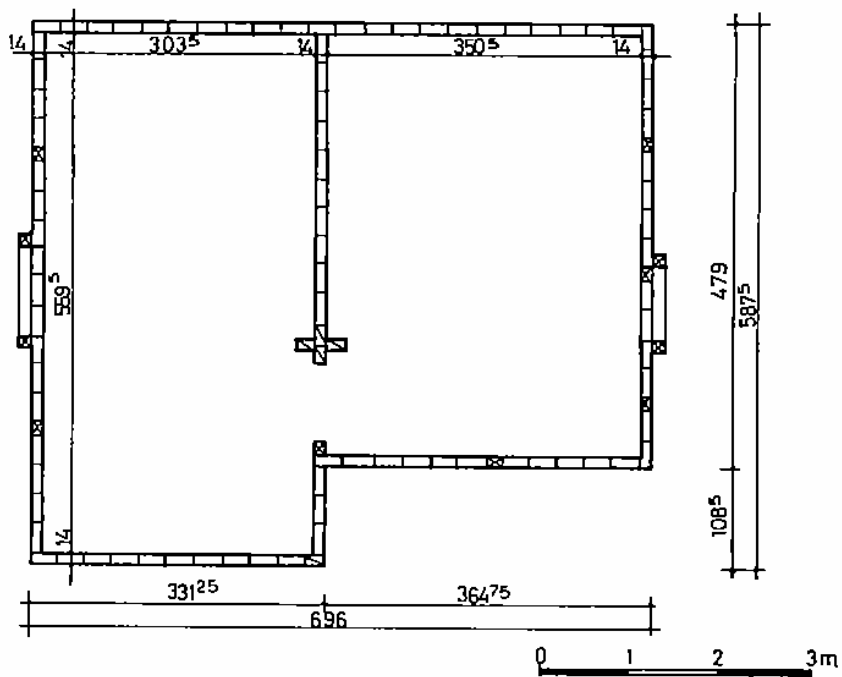
Fig. 267 : Assise de blocs posés sur le chant constituant les joues du coffrage du chaînage.

ARCHITECTURE D'HABITAT

ETAGE



CALEPINAGE DE LA PREMIERE ASSISE DE BLOCS

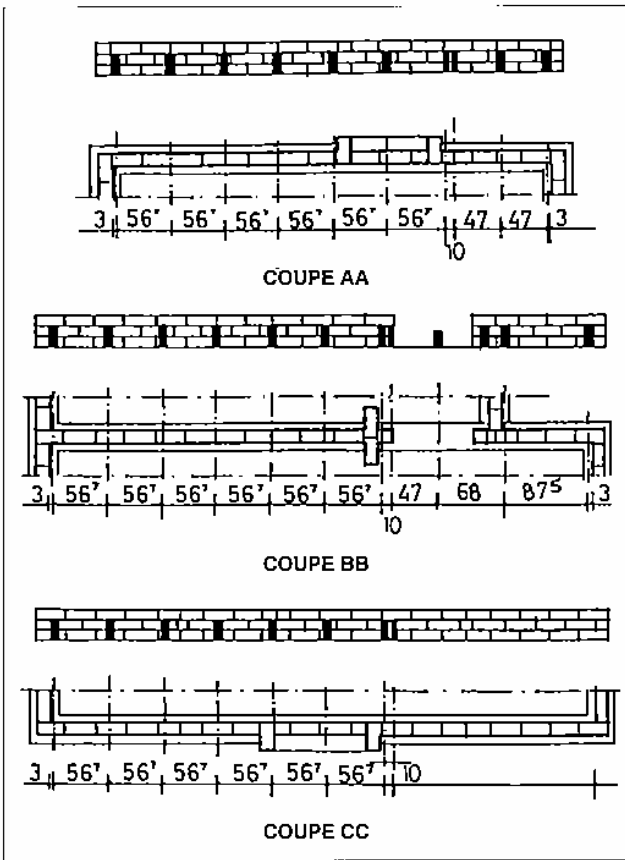


CALEPINAGE DE LA SECONDE ASSISE DE BLOCS

Fig. 268 : Calepinage de l'appareillage des murs de la maçonnerie de l'étage. Première assise (plan du haut), deuxième assise (plan du bas).

ARCHITECTURE D'HABITAT

Plancher à solivage et parquet

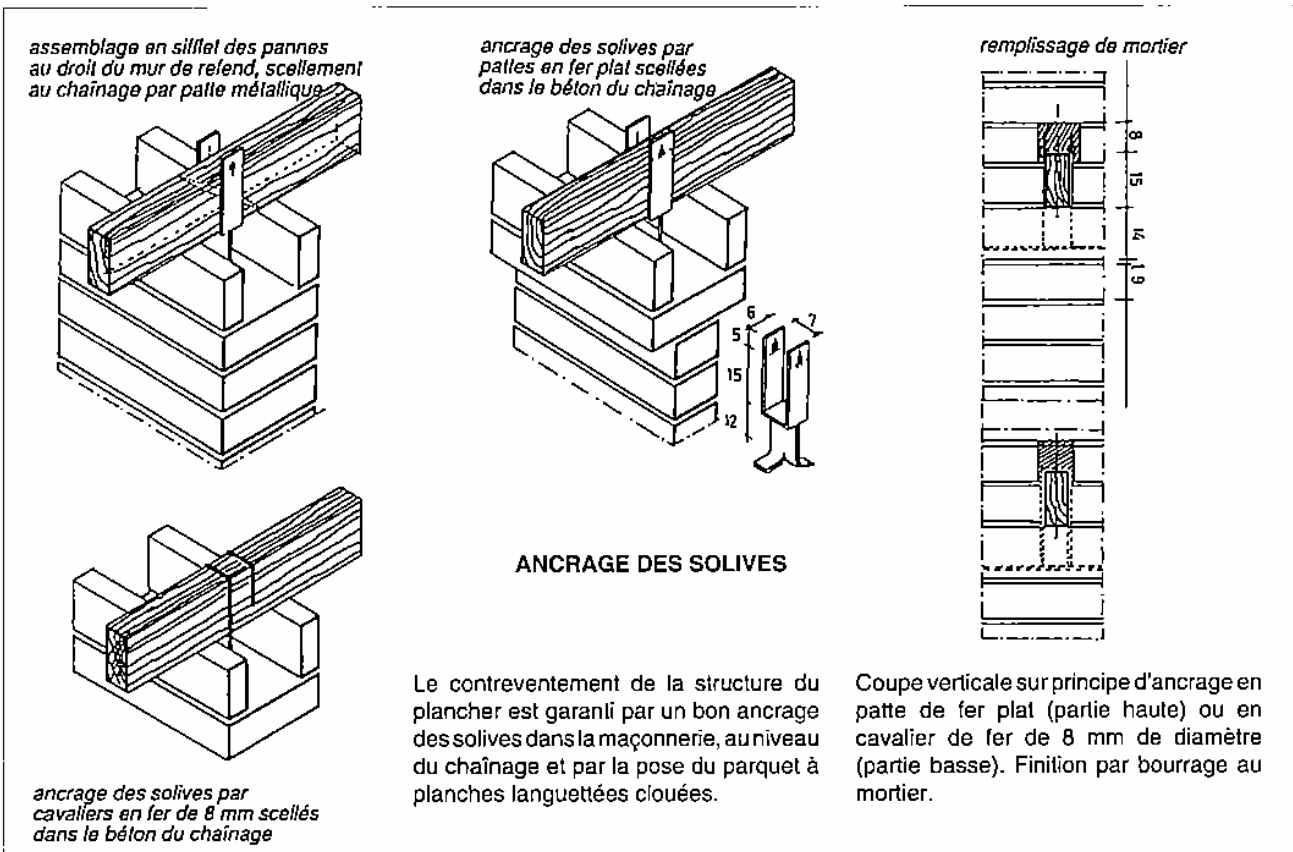


La fig. 271 traduit en détail, en plans et en coupes, le système constructif du plancher constitué de solives portant de murs gouttereaux à mur central de refend. La travée de ce solivage en bois d'angélique de 7 x 15 de section adopte un entre axe de 56,7 cm et de 47 cm, de part et d'autre de l'entrait moisé de la charpente qui constitue un élément de ce solivage et vient reprendre les pannes en consoles pour le débord de toiture en murs gouttereaux. Cet entre-axe du solivage est modifié au droit des chevêtres de la cage d'escalier qui portent le plancher du dégagement de l'étage (68 cm et 87,5 cm).

Les solives de plancher sont ancrées au chaînage en béton armé au moyen de fers formant cavalier ou de pattes de scellement spécialement profilées à cet effet (fig. 272).

La bonne exécution de ce système de plancher exige que l'on dessine au préalable un parfait calepinage des assises de blocs de la maçonnerie qui recevront les solives et de prévoir les traversées des murs afin de régler au mieux la découpe des blocs.

Fig. 271 : Plans et coupes de détail du solivage de plancher.



Le contreventement de la structure du plancher est garanti par un bon ancrage des solives dans la maçonnerie, au niveau du chaînage et par la pose du parquet à planches languettées clouées.

Coupe verticale sur principe d'ancrage en patte de fer plat (partie haute) ou en cavalier de fer de 8 mm de diamètre (partie basse). Finition par bourrage au mortier.

Fig. 272 : Détail des systèmes d'ancrage des solives dans la maçonnerie des murs.

DEUX LOGEMENTS A KOUROU, GUYANE

Tableaux des baies

Les solutions de tableaux de portes et fenêtres qui ont été adoptées distinguent le principe des tableaux en arcs surbaissés au rez-de-jardin, conditionné par l'ajustement de la hauteur de clé des arcs par rapport au chaînage, et des arcs plein cintre à l'étage dont la hauteur sous la clé peut être comprise sans difficulté dans la forme élancée du pignon. Les tableaux de ces baies sont soit saillants (formant contreforts) soit au nu du mur, donnant une double configuration à l'appareil des arcs dont les blocs sont bâtis soit avec leur bout visible, en 14 cm d'épaisseur (système en arc surbaissé à contreforts saillants), soit avec leur plus grande longueur visible, en 29,5 cm d'épaisseur (système en arc plein cintre au nu du mur extérieur). Le scellement des cadres des menuiseries est prévu au droit des blocs hachurés (fig. 273) qui correspondent à des blocs en bois.

CALEPINAGE VERTICAL DES BAIES DANS LES MURS

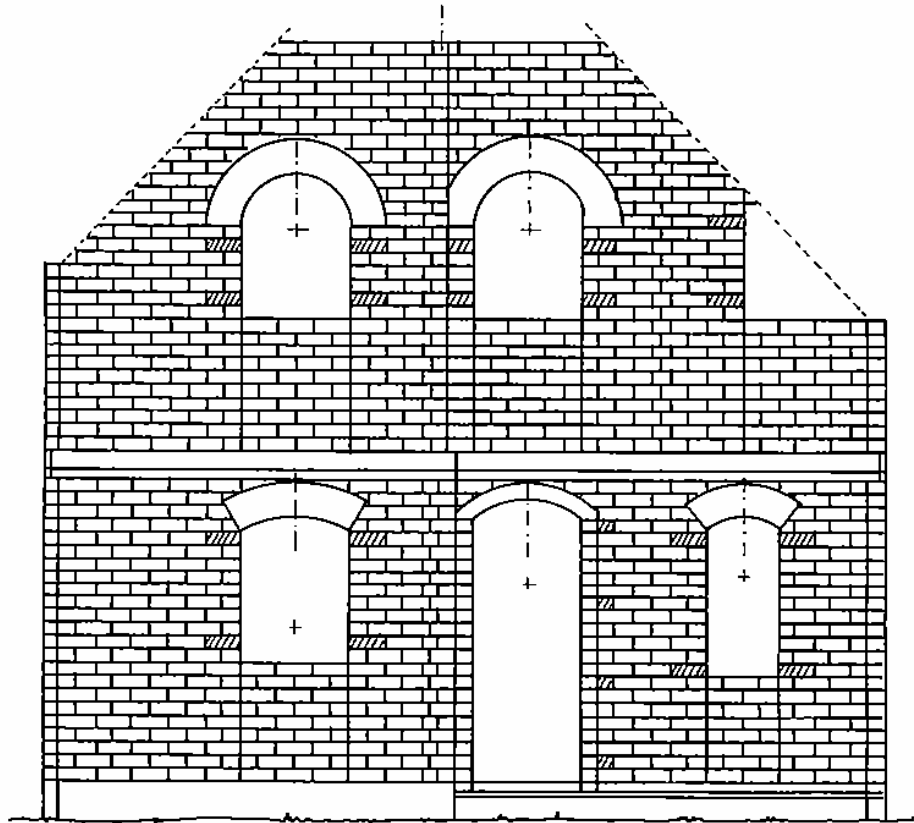


Fig 273 : Calepinage des façades pour une bonne exécution des tableaux de baies.



Fig. 274 : En rez-de-jardin, sous l'auvent du porche d'entrée. Proximité des deux tableaux saillants à arcs surbaissés de la porte d'entrée et d'une des fenêtres du séjour. Effet géométrique accusé par l'ombre portée sur le mur et projetée depuis l'auvent.



Fig. 275 : Vue détaillée des ouvertures au nu du mur, en rez-de-jardin et à l'étage. Effet esthétique donné par l'épaisseur affirmée de l'arc et par la légèreté du remplissage en menuiserie ajourée de bois ou de lames de verre.

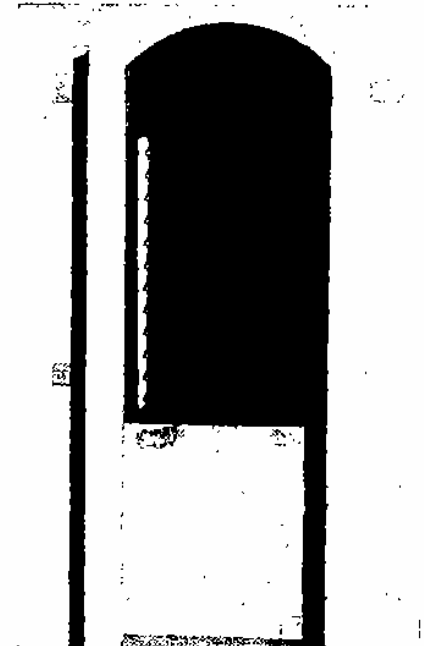
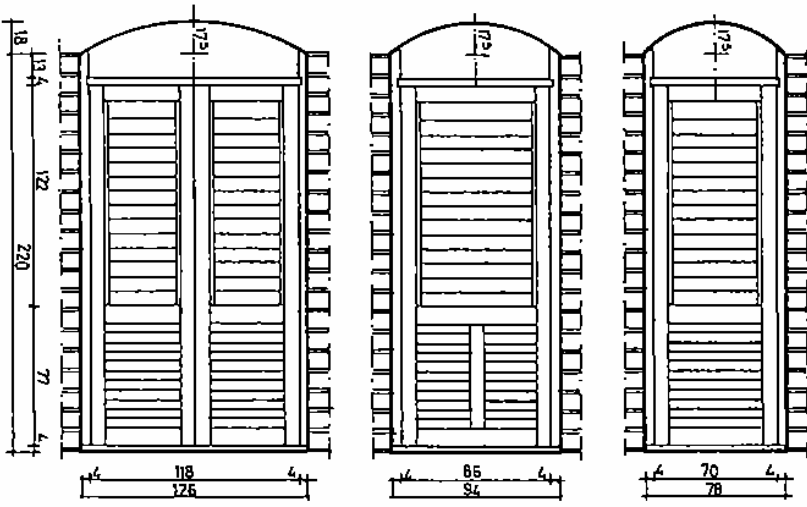


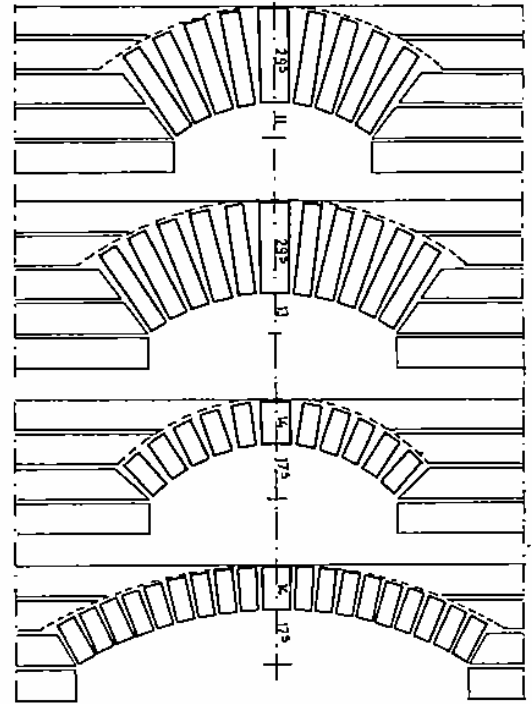
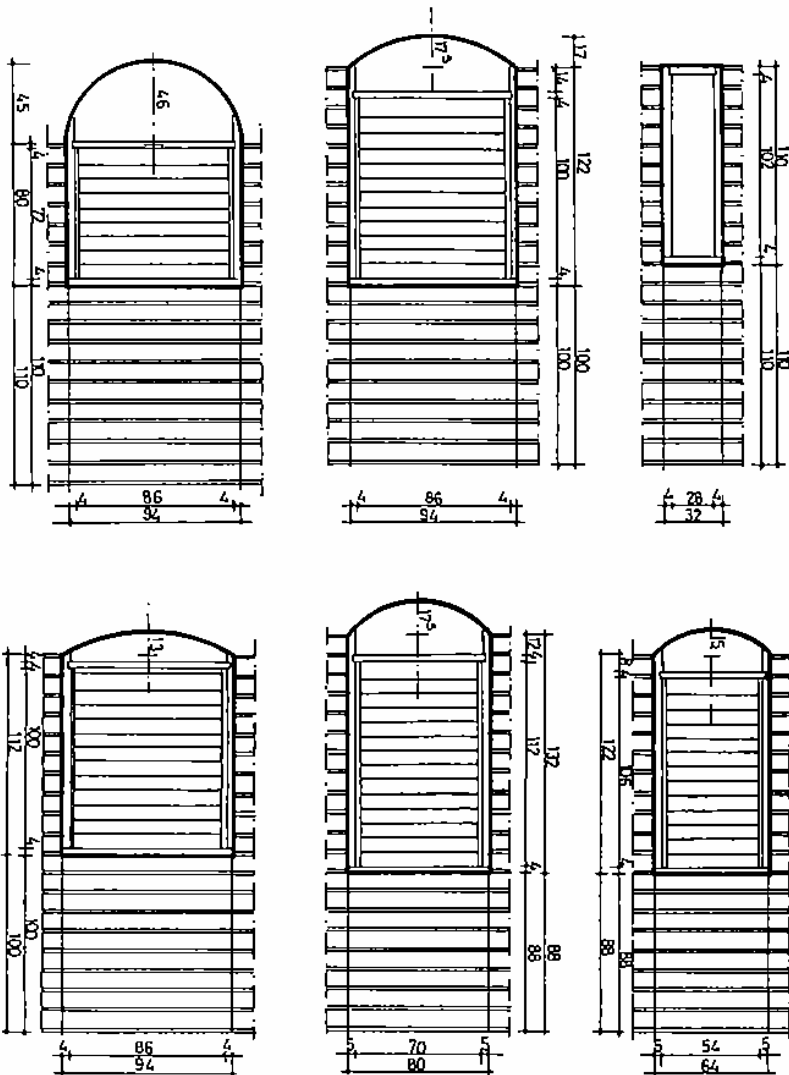
Fig. 276 : Vue détaillée d'un tableau de fenêtre à contreforts saillants et allège en maçonnerie indépendante. Le tableau saillant donne un effet d'ombrage qui apporte de la fraîcheur.

ARCHITECTURE D'HABITAT

TYOLOGIE DES FENETRES ET DE LEURS ARCS



TYOLOGIE DES PORTES ET DE LEURS ARCS



Typologie des arcs

La typologie des arcs des portes et fenêtres, de forme surbaissée ou plein cintre, adopte des portées compatibles avec un parfait appareillage des murs préalablement caiepinés. Le dessin des arcs, en façade, prévoit aussi avec exactitude l'inclusion de l'épaisseur des arcs dans un nombre précis de rangs de blocs de terre, de l'intrados au sommet à l'extrados de la clé. Cela afin de garantir une parfaite exécution de la maçonnerie. Les blocs utilisés pour bâtir ces arcs sont moins épais (6 cm) sauf pour les clés (9 cm).

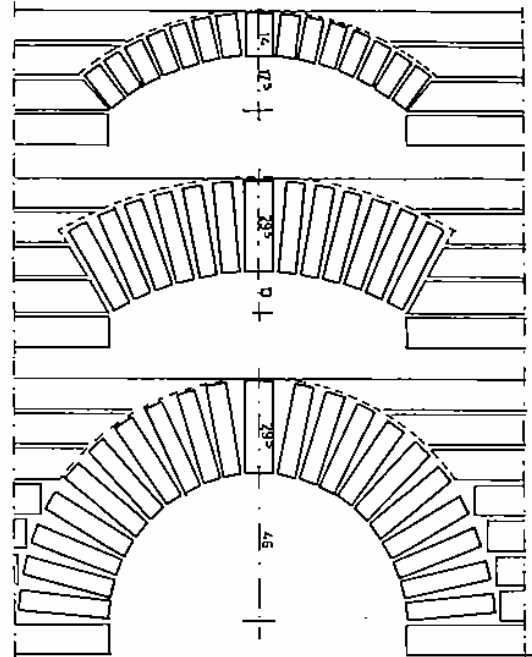


Fig. 277 : Dessin de l'ensemble de la typologie des tableaux de portes et fenêtres en arcs surbaissés ou plein cintre.

DEUX LOGEMENTS A KOUROU, GUYANE

Menuiseries

Le bois utilisé pour la fabrication des menuiseries des portes et des fenêtres est un bois guyanais : du saint-martin rouge. Leur conception répond au principe de confection de cadres dont la largeur correspond aux nus intérieurs et extérieurs de la maçonnerie des murs de façon à limiter tout risque ultérieur de dégradation du mur. Des couvre-joints donnent une parfaite finition.

Les cadres dormants aux dimensions de 145 x 45 mm pour les murs de 14 cm d'épaisseur reçoivent un châssis fixe ou ouvrant en feuillure de 35 x 15 mm, côté intérieur du cadre. La vitrerie des fenêtres est du type "nacos" à lamelles de verre ou de bois. Chaque fenêtre est dotée d'une imposte fixe épousant la courbure des arcs, réalisée en mailles de baguettes de bois. Cet ajourement donne une ventilation permanente. Les portes sont conçues selon le même système mais à panneaux fixes à persiennes permettant également une ventilation.

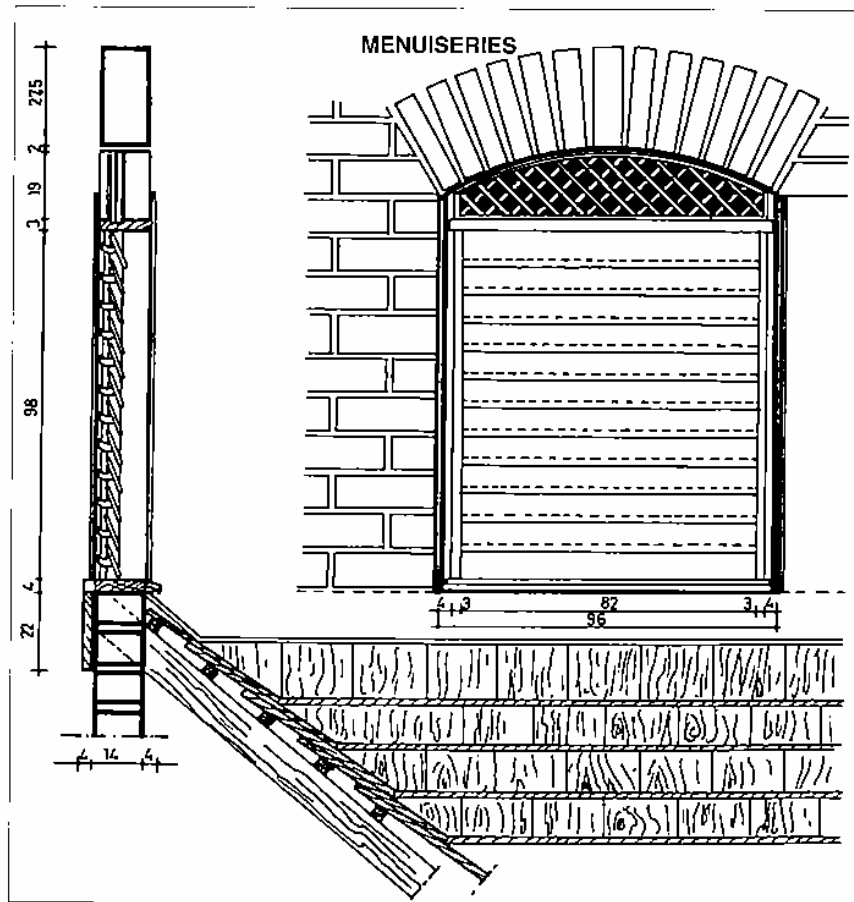


Fig. 278 : Elévation et coupe verticale sur une fenêtre à nacos et imposte ajourée, à l'étage.

Le scellement des cadres est prévu selon deux types de système. L'un avec des blocs de bois qui remplacent des blocs de terre dans les jambages des tableaux, pour faciliter le vissage et le cloutage, l'autre sous forme de pattes métalliques intégrées dans les couches de mortier. Les deux systèmes peuvent être posés en même temps que le dressage des murs (fig. 278 et 279).

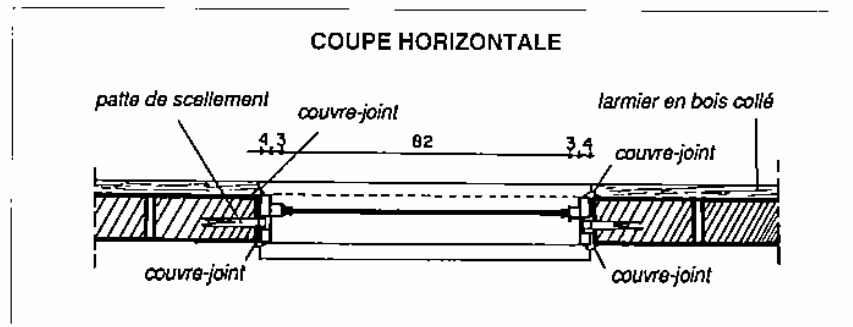
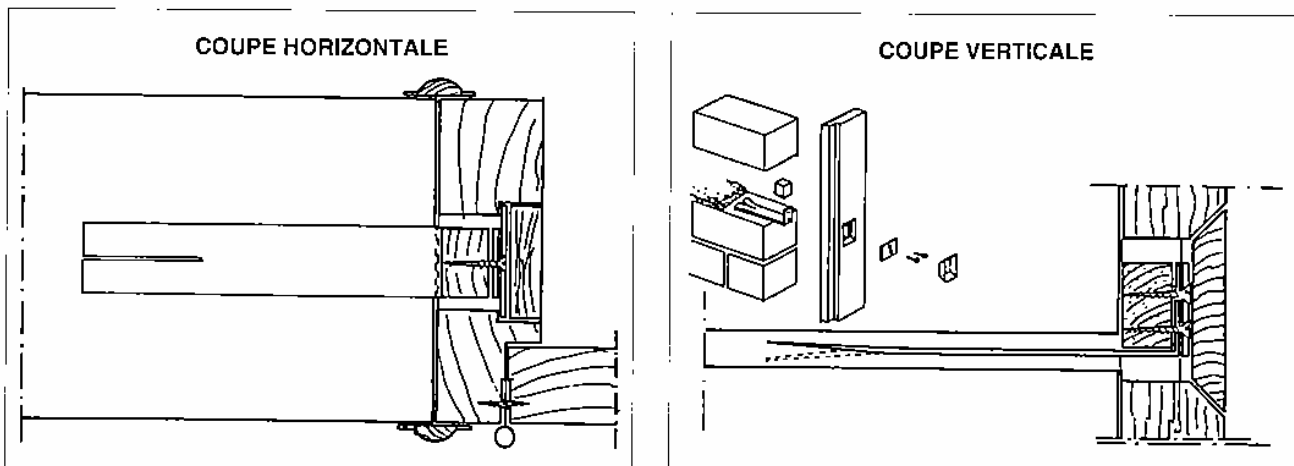


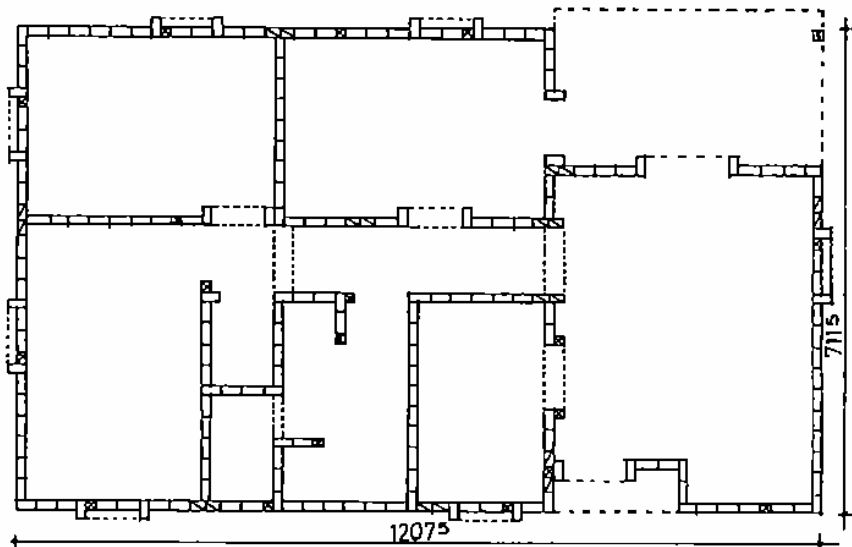
Fig. 279 : Détail d'un système de scellement par pattes métalliques dans le mortier.



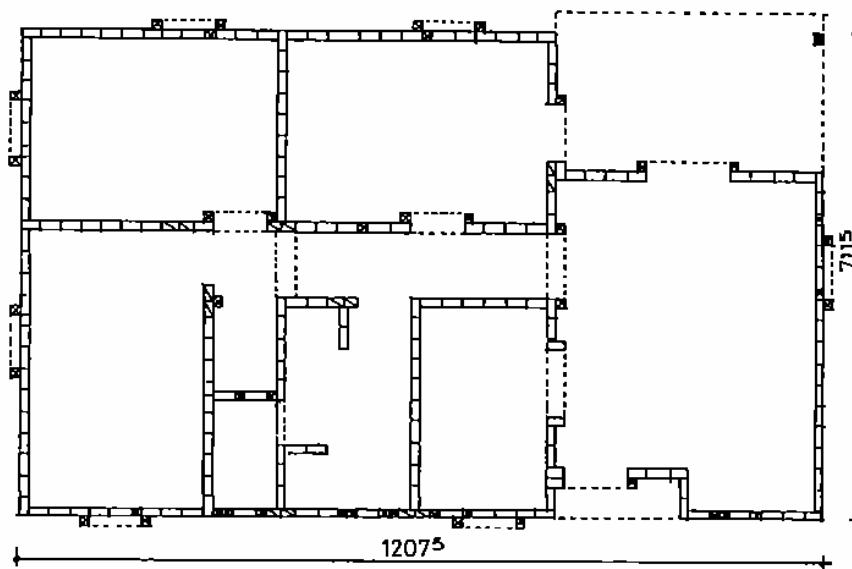
ARCHITECTURE D'HABITAT

Conception architecturale du logement de type T4

Le deuxième logement adopte une conception de plain-pied. Cette maison en longueur peut en effet constituer un logement de type T3 de base pouvant devenir un T4 avec porche d'accès. Cette conception plus simple a des répercussions directes sur une plus grande simplicité des systèmes constructifs. La maçonnerie des murs est entièrement réalisée en murs porteurs et cloisons de 14 cm d'épaisseur, appareillés en blocs de 29,5 x 14 x 9 cm posés en panneresse. La stabilité de ces murs minces est assurée par des contreforts au droit des baies qui permettent de réaliser des allèges indépendantes et donc des joints secs destinés à contrôler le risque de fissuration structurale au droit des tableaux de fenêtres mais également le risque de fissuration de retrait de la maçonnerie en petits éléments. La solution de la toiture à double pente de forte inclinaison permet d'envisager des solutions ultérieures de pose de plancher à solivage pour une extension éventuelle du logement en combles habitables.



CALEPINAGE DE LA PREMIERE ASSISE DE BLOCS

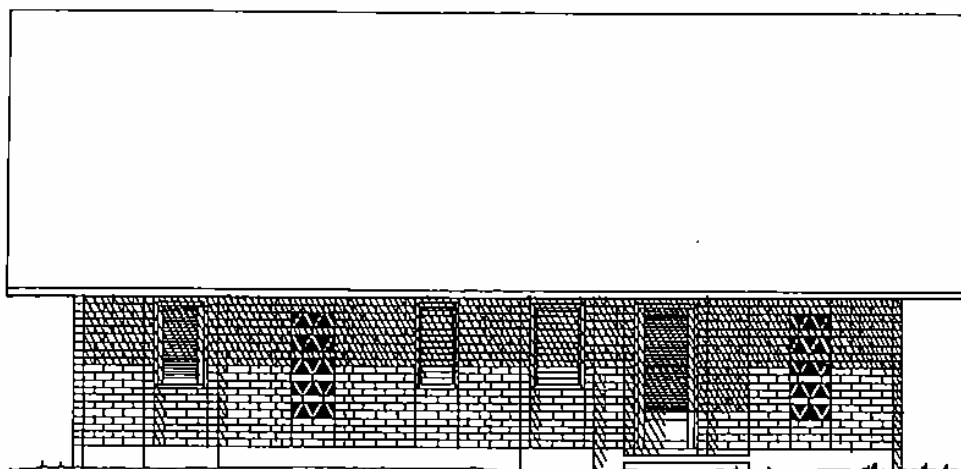


CALEPINAGE DE LA SECONDE ASSISE DE BLOCS

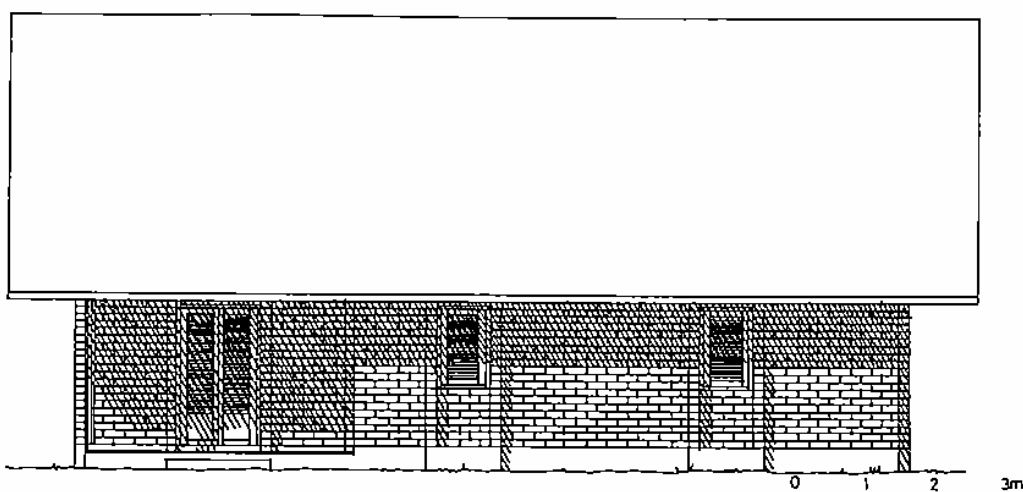
Fig. 280 : Plans calepinés du logement de plain-pied en longueur de type T4.

DEUX LOGEMENTS A KOUROU, GUYANE

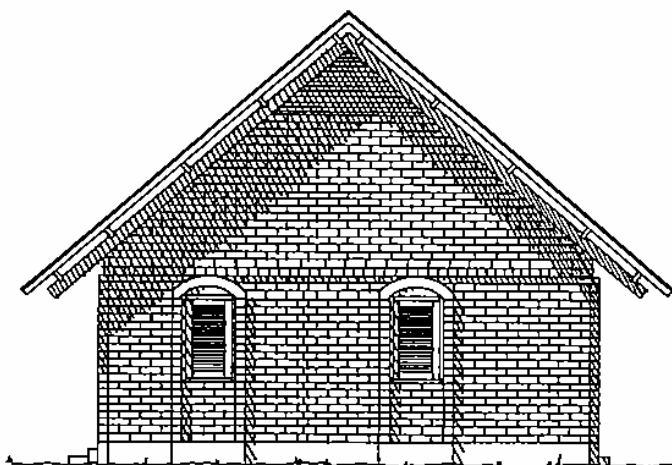
FAÇADE NORD



FAÇADE SUD



FAÇADE OUEST



FAÇADE EST

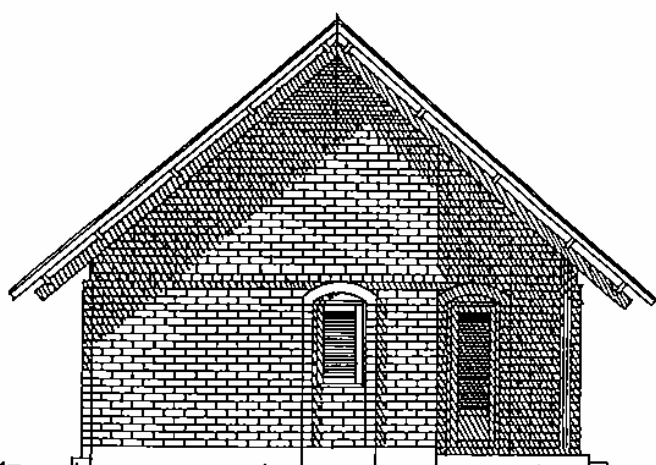


Fig. 281 : Elévations des quatre façades du logement de type T4 de plain-pied.

ARCHITECTURE DE BATIMENTS PUBLICS



SENEGAL

L'innovation en milieu rural

Le Sénégal est un vaste pays doté d'une tradition de construction en terre dont témoignent encore aujourd'hui la plupart des habitats ruraux ; mais de profondes transformations sont visibles avec l'évolution des matériaux de construction (le bloc de sable-ciment et la tôle remplacent la terre et le chaume) et aussi de la forme du bâti qui adopte des modèles d'origine extérieure. Ces mutations influencent de plus en plus les paysages bâtis ruraux pris dans cette mouvance d'une évolution très rapide que véhicule le rayonnement des modèles urbains (Dakar). Néanmoins, en bien des situations éloignées de la capitale, un décalage demeure vis-à-vis de l'accès à des matériaux et technologies de construction contemporains. Ces nouvelles solutions "modernes" sont encore très souvent inaccessibles à la grande majorité de la population, physiquement (problèmes du transport) et économiquement (coût important). L'utilisation des matériaux locaux est à nouveau envisagée mais en visant des améliorations.

CENTRE SOCIAL A OURO-SOGUI



Fig. 282 : Vue de la façade du grand bâtiment des ateliers (deuxième tranche de travaux).

CENTRE SOCIAL A OURO-SOGUI, SENEGAL

L'équipement social d'une communauté villageoise

La communauté villageoise de Ouro-Sogui, petite agglomération située au nord-est du Sénégal, non loin de la frontière de la Mauritanie et à environ 500 km de Dakar, a monté au cours de l'année 1987-88 un projet d'équipement en centre social et d'accueil. Soucieuse d'utiliser des solutions constructives et architecturales qui restent accessibles tout en apportant des améliorations notoires aux pratiques traditionnelles, elle a été amenée à choisir le bloc de terre comprimée qui permet d'établir une passerelle entre les traditions et la modernité de la construction. Cette démarche s'est établie grâce à un lien entretenu entre la communauté villageoise et des résidents expatriés en France qui ont pu être informés des développements récents de la construction en terre. L'Association pour le développement de Ouro-Sogui, ADO, a contacté la municipalité de la ville de Valence (Drôme) qui, séduite par le projet, a très vite répondu à l'appel de la communauté sénégalaise en créant à son tour l'association "Drôme Ouro-Sogui". C'est dans ce cadre associatif qu'a été monté ce petit projet de coopération bilatérale qui a, par ailleurs, sollicité la contribution du CRATerre - EAG et donné lieu à la réalisation d'un chantier - production - formation pour la réalisation du centre social et d'accueil de Ouro-Sogui.

FICHE TECHNIQUE DESCRIPTIVE DU PROJET

Centre social et d'accueil : superficie totale de 280 m² habitables réalisée en trois tranches de travaux.

- Première tranche : phase de construction pilote et de formation sur la réalisation d'un logement de fonction : 44 m² habitables.

- Deuxième tranche : premier ensemble d'ateliers : 83 m² habitables.

- Troisième tranche : deuxième ensemble d'ateliers avec une salle polyvalente et un équipement en latrines sèches : 152 m² habitables.

Réalisation : Association pour le développement de Ouro-Sogui, ADO.

Avec le concours de l'association Drôme Ouro-Sogui, ADOS, et du CRATerre-EAG.

Mise en oeuvre : maçons et main-d'œuvre locale.

Fondations : béton cyclopéen coulé en fouilles creusées en rigoles préalablement compactées : moellons latéritiques et mortier dosé à 150 kg/m³.

Soubassement : trois assises de blocs de terre comprimée stabilisée à 8 % hourdés au mortier de terre stabilisée à 10 %.

Maçonnerie des murs.

- Murs extérieurs : en blocs de terre comprimée stabilisée à 4 %, hourdés au mortier de terre stabilisée à 6 %. Module du bloc : 29,5 x 14 x 9 cm. Construction en murs de 29,5 cm d'épaisseur appareillés en boutisse et panneresse.

- Murs et cloisons intérieurs : en blocs de terre comprimée (idem murs extérieurs) mais en 14 cm d'épaisseur appareillés en panneresse.

Chaînage : en bois, réalisé à partir de planches de fraquet de 27 mm. Bois traité contre l'attaque des insectes (termites).

Charpente : réalisée en bois, à partir de planches de fraquet de 22 cm de largeur. Montage de fermes à partir de planches préalablement sciées dans leur longueur, en 11 cm de largeur, assemblées par cloutage. Pannes constituées par des chevrons de 6 x 8 mm. Fermes d'extrémité (en pignon) fixées au chaînage en bois. Planches de rive en fraquet de 22 cm de largeur resciées en 11 cm de largeur.

Couverture : en tôles ondulées galvanisées de 200 x 80 cm et de 0,23 mm.

Faux-plafond en nattes de crintin.

Fig. 283 : Le premier bâtiment réalisé a été le logement de fonction. Sa conception, simple, a permis de rassembler sur ce seul petit bâtiment, tous les cas de figure des solutions constructives et architecturales qui allaient être utilisées par la suite pour réaliser l'ensemble des tranches de construction. La réalisation du logement de fonction a donc été un chantier-production-formation, associé à l'installation d'une briqueterie, permettant de former une équipe de briquetiers. Une équipe de maçons a été entièrement formée sur la mise en œuvre des solutions constructives de maçonnerie en blocs de terre et de charpente en bois. La construction de ce premier bâtiment a eu un impact important sur la communauté villageoise et sur d'autres communautés de la région venues observer le chantier.

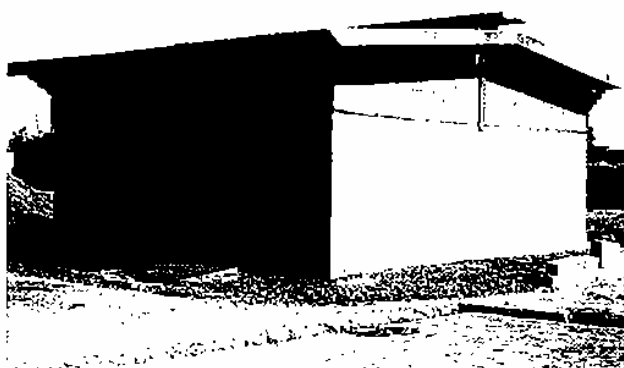


Fig. 283 : Vue du logement de fonction.

ARCHITECTURE DE BATIMENTS PUBLICS

Conception architecturale

Pour des raisons liées à l'introduction d'un nouveau matériau et de nouvelles technologies de construction associées à la nécessité d'un coût global restant dans une plage économique accessible, la conception architecturale du projet a opté pour un parti simple. Par ailleurs, la formation des hommes sur le chantier ainsi que la programmation en plusieurs tranches du projet obligeaient à prévoir des dispositions constructives aisément assimilables et reproductibles par les populations locales. Le concept constructif et architectural du projet a été testé sur la réalisation du logement de fonction. Il s'agit d'un système de double travée avec véranda couverte dont la plus grande longueur correspond au sens de pose des fermes de charpente, indiquant en cela le principe d'une extension en longueur par ajout de travées successives. Seule la maçonnerie des murs périphériques est porteuse, recevant les fermes de charpente, les murs intérieurs faisant office de cloisonnement des espaces. Des solutions de contreforts, en façades, contribuent à améliorer la stabilité des murs et à reprendre les fermes de charpente par des systèmes de consoles à double jambe moisante. Pour la réalisation des tranches ultérieures du bâtiment, ce sont les mêmes solutions constructives et architecturales qui seront adoptées, garantissant une bonne qualité d'exécution après une première phase d'expérimentation, de formation et d'acquisition d'un savoir-faire par la population locale.

PLAN MASSE

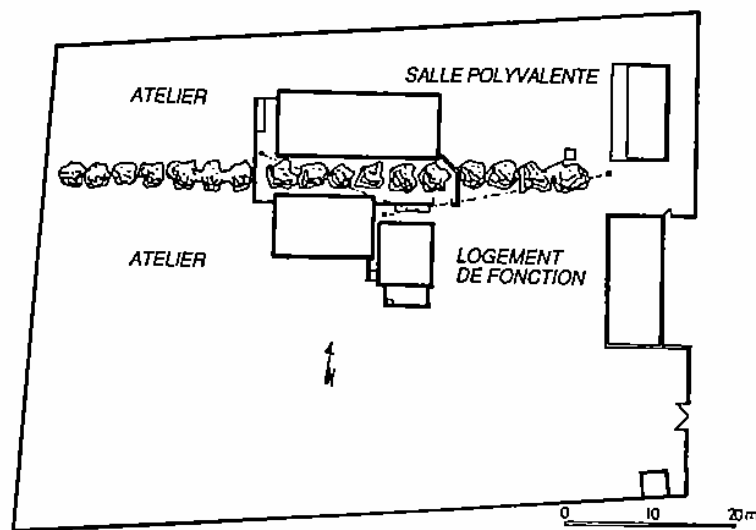


Fig. 284 : Plan masse général de l'ensemble du projet.

PLAN DE LA PREMIERE TRANCHE DE TRAVAUX

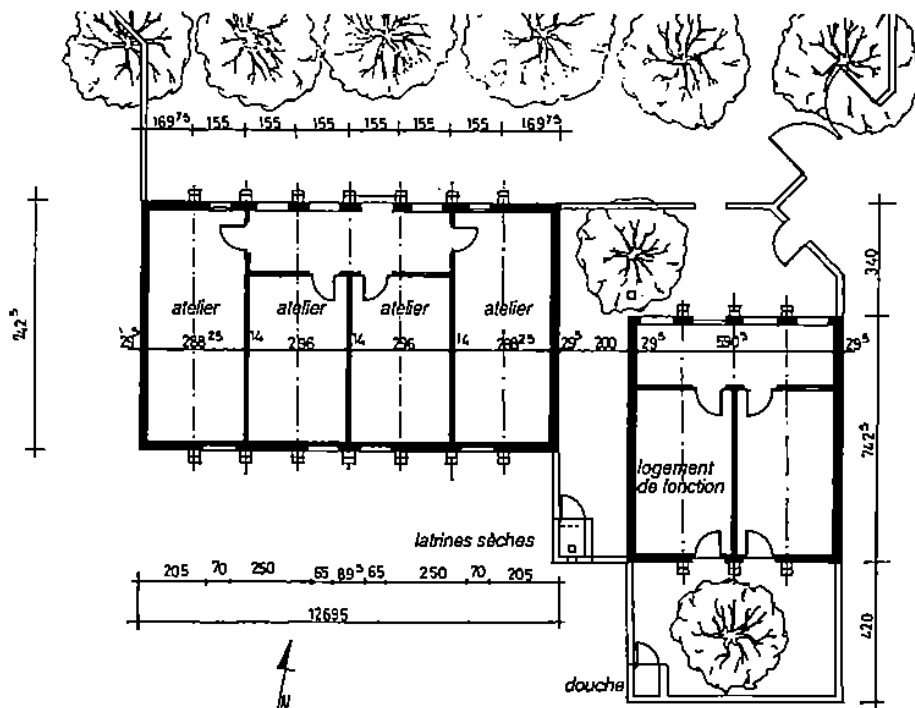


Fig. 285 : Plan de la première tranche de travaux : logement de fonction et premier ensemble d'ateliers.

CENTRE SOCIAL A OURO-SOGUI, SENEGAL

MAÇONNERIE DES MURS

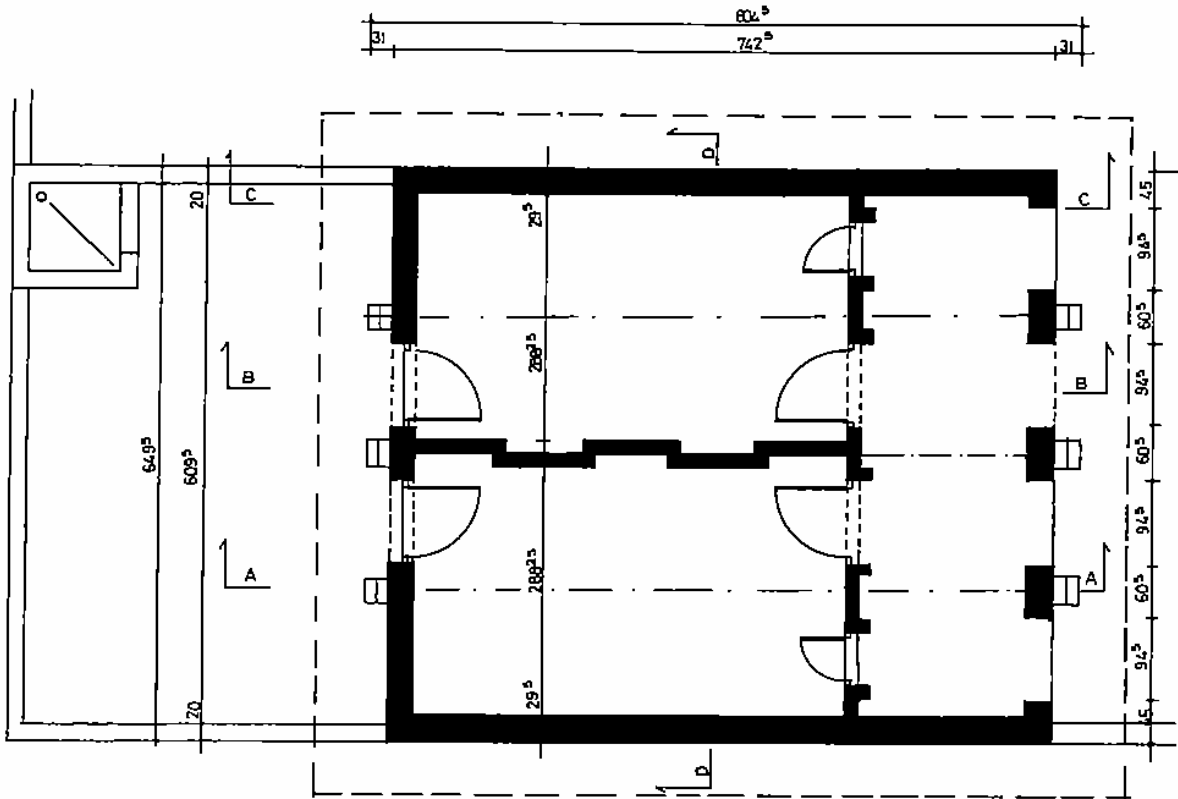


Fig. 286 : Logement de fonction : plan de la maçonnerie des murs en 29,5 cm et 14 cm d'épaisseur.

FONDATIONS

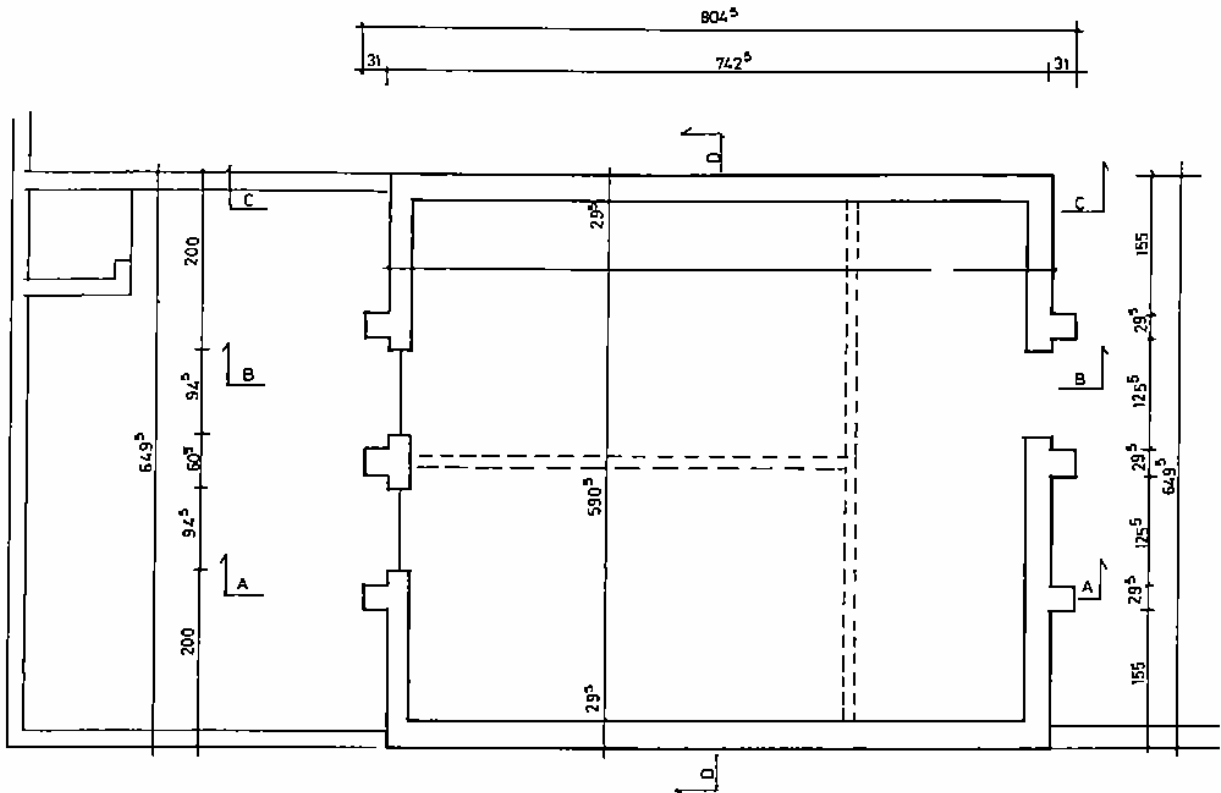
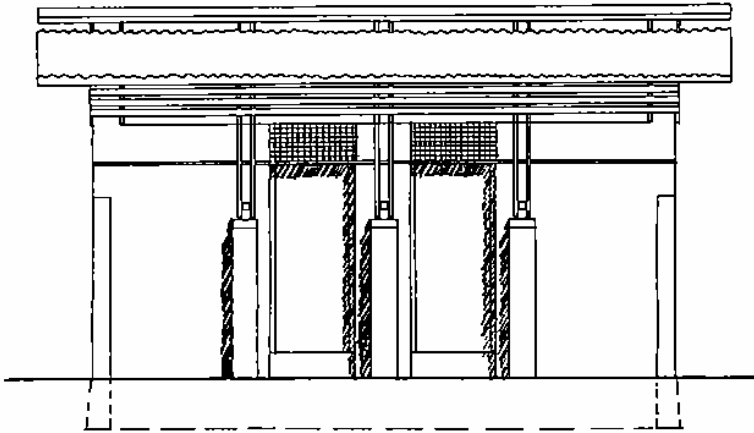


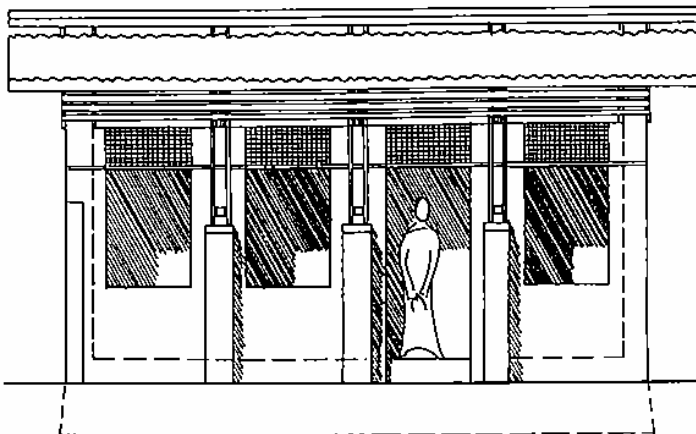
Fig. 287 : Logement de fonction : plan des fondations en béton cyclopéen.

ARCHITECTURE DE BATIMENTS PUBLICS

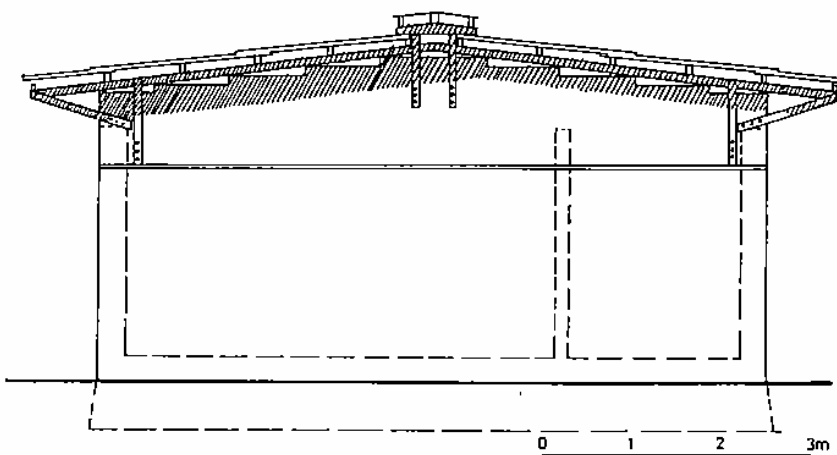
FAÇADE SUD



FAÇADE NORD



FAÇADE EST



Adaptation au climat

La région nord-est du Sénégal est marquée par la saison des pluies de mai à octobre avec des températures dont les maxima peuvent atteindre 40 °C et l'humidité relative varier entre 60 % (mini.) à 100 % (maxi.). Les vents dominants qui amènent la pluie soufflent de la direction sud-ouest. A cette saison humide succède une saison chaude et sèche, très ensoleillée, de novembre à avril, avec des températures pouvant atteindre facilement 40 °C. Le vent du harmattan, qui souffle alors depuis la direction est-nord, accentue un climat de sécheresse et charrie beaucoup de poussière. La proximité des régions mauritaniennes désertiques accuse les écarts de température entre la nuit et le jour.

Ces conditions climatiques extrêmes et saisonnièrement marquées exigent une adaptation climatique particulière des bâtiments.

- La nécessité d'assurer un minimum d'exposition aux intempéries et au soleil. L'option répondant à cela est une fermeture à l'est (exposition de pignons aveugles), une orientation au sud avec une protection solaire (larges débords de toiture ou véranda), une protection contre la poussière au nord.

- La nécessité d'optimiser la ventilation naturelle avec une ventilation traversante nord-sud, des zones d'ombrages activant la convection en façade, des ouvertures ajourées mais protégées de la poussière, une ventilation haute en faîtage pour évacuer toute stratification de la chaleur.

- La nécessité d'une inertie thermique pour amortir les écarts de température entre la nuit et le jour. La maçonnerie construite en 29,5 cm d'épaisseur remplit ce rôle en assurant un déphasage de la chaleur accumulée le jour vers la soirée.

L'implantation des bâtiments selon une orientation des pignons aveugles est-ouest avec une double pente nord-sud à larges débords (consols) donne directement cette protection solaire (la course passe au-dessus et ne donne que très rarement une incidence directe) tout en opposant des murs massifs à l'assaut des pluies.

Fig. 288 : Elévation des façades du logement de fonction.

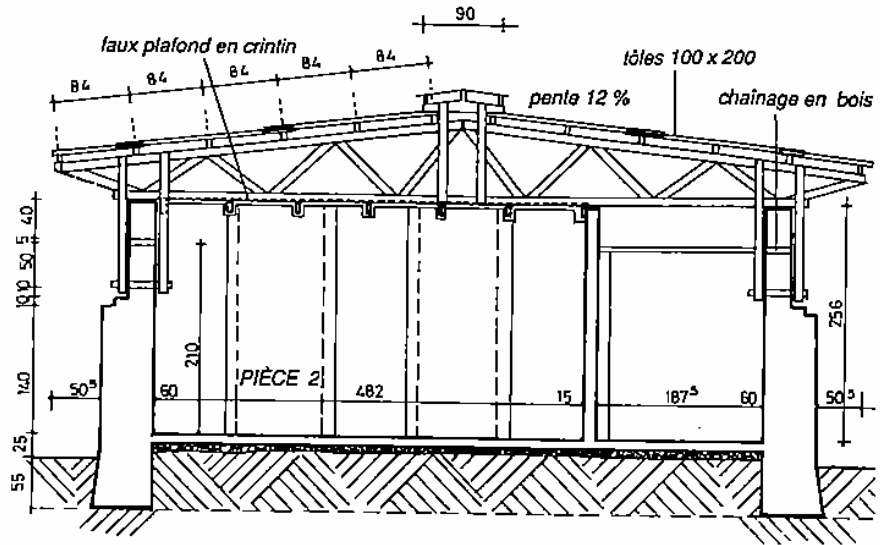
CENTRE SOCIAL A OURO-SOGUI, SENEGAL

Charpente en bois cloué

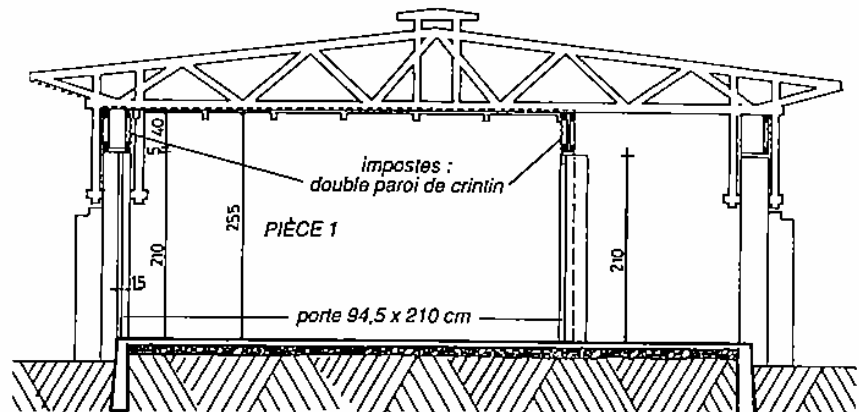
Le principe d'orientation des pignons des bâtiments d'est en ouest avec une portée entre murs gouttereaux de près de 7 mètres prolongée d'un débord de toiture de 50 cm de part et d'autre orientait vers la conception d'une charpente en planches de bois assemblées par cloutage. Cette solution permettait, en outre, d'envisager, selon les mêmes principes d'assemblage, la réalisation d'un faîteau de ventilation et de systèmes moisans d'ancrage des fermes aux murs en blocs de terre.

L'ensemble de la charpente est réalisé en planches de fraquet de 22 cm de large, resciées dans leur longueur en planches de 11 cm de large. Tracé sur une aire plane selon des cales de repérage, l'assemblage est plus aisé. Pour faciliter le transport et la mise en place, les fermes ont été assemblées en deux moitiés. La pose a commencé par les fermes d'extrémité et s'est achevée par les fermes intermédiaires. Le contreventement est assuré par le cloutage des pannes en section de chevrons 6 x 8. Chacune des fermes est solidarisée à la maçonnerie par des moises reliées à une console transversante prenant appui sur le sommet des contreforts en façade.

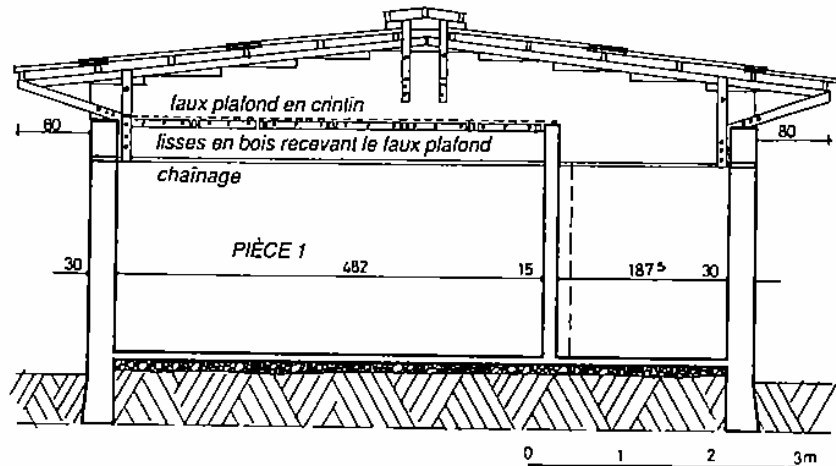
COUPE AA



COUPE BB



COUPE CC



IMPOSTES DE VENTILATION

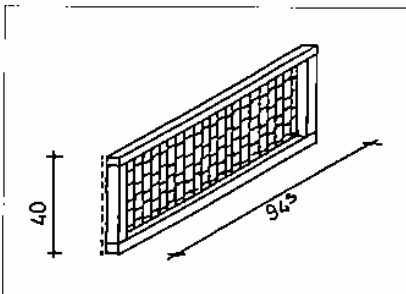


Fig. 290 : Les façades nord et sud sont conçues de façon à assurer une ventilation traversante maximale. Celle-ci est assurée par les ouvertures (portes et baies) ainsi que par un bandeau haut d'impostes fixes ajourées conçues sous forme de cadres de bois recevant un tressage de crintin.

Fig. 289 : Trois coupes transversales sur le logement de fonction, à différents niveaux (voir plan). Noter le système de faux plafond en crintin.

ARCHITECTURE DE BATIMENTS PUBLICS

COUPE TRANSVERSALE

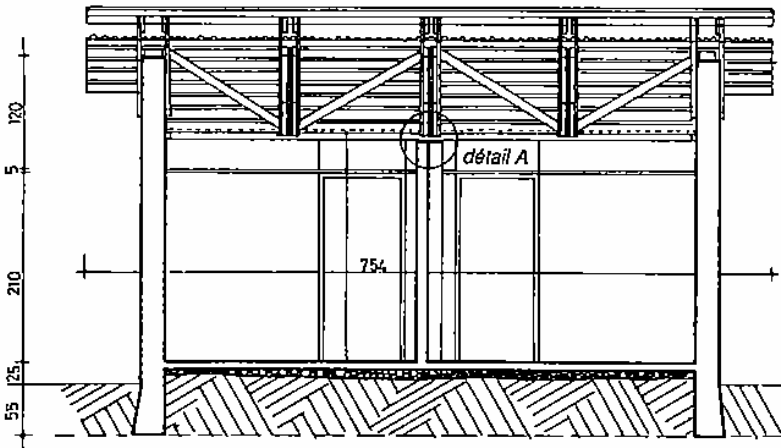


Fig. 291 : Coupe de mur pignon à mur pignon : noter le contreventement longitudinal par pièces obliques assemblées par cloutage entre les entrails et les arbalétriers des fermes.

RACCORD FERME-PLAFOND

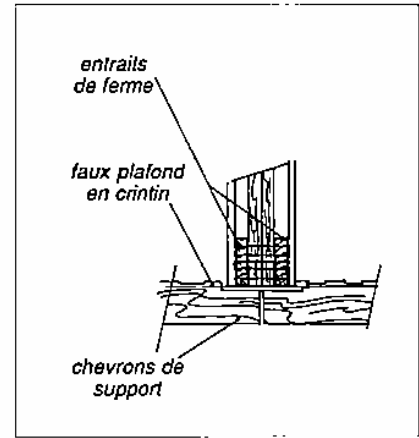


Fig. 292 : Détail A (fig. 291) de support de faux plafond. La sous-face des entrails des différentes fermes de charpente permet de fixer un support de faux plafond en sections de chevrons.

FERME MOISANTE

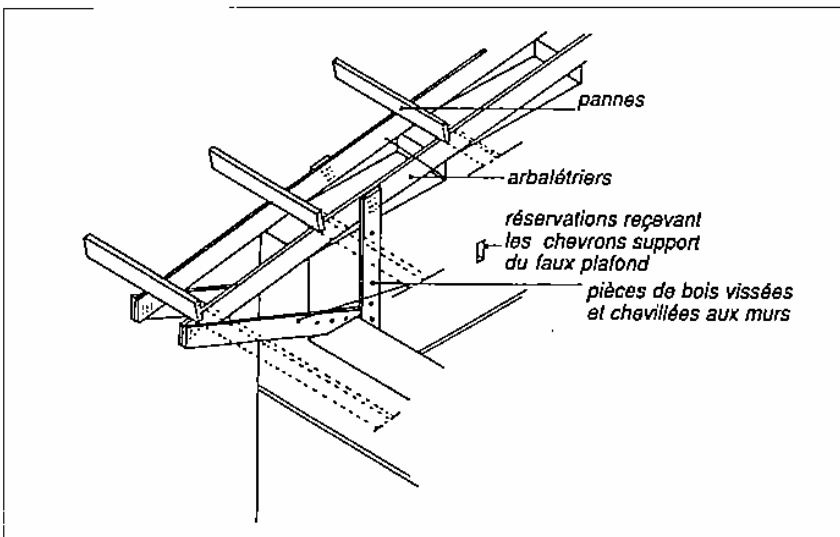


Fig. 293 : Ferme moisante en mur pignon avec fausses consoles de fixation au mur.

Liaison charpente - murs

La bonne tenue en place de la charpente est assurée par un système de pose en murs-pignons qui vient "moiser" l'épaisseur des murs de 29,5 cm. Ce système de moisage par les arbalétriers sera épaissi par l'utilisation de planches de rives en fraquel de 22 cm qui suivent la pente du pignon et constituent un coffrage pour couler un mortier de couronnement entre les arbalétriers, jusqu'à leur filet supérieur. L'ancrage dans les murs gouttereaux se fait au moyen de fausses jambes de force obliques, également moisantes, qui reprennent une jambe verticale reliée aux arbalétriers et appuyée en parement intérieur du mur. Ces pièces en bois de fausse console sont vissées entre elles et chevillées dans la maçonnerie.

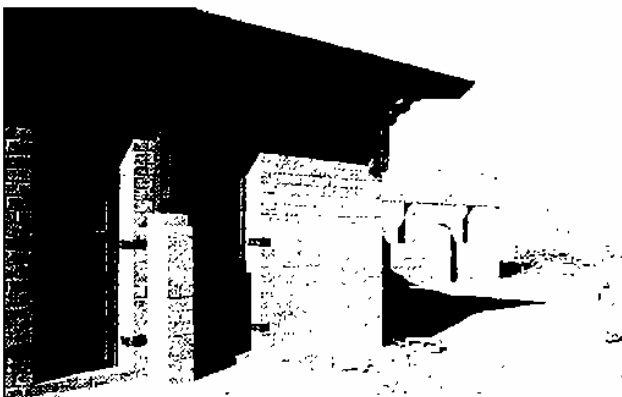


Fig. 294 : Moise de charpente prenant appui sur les contreforts.

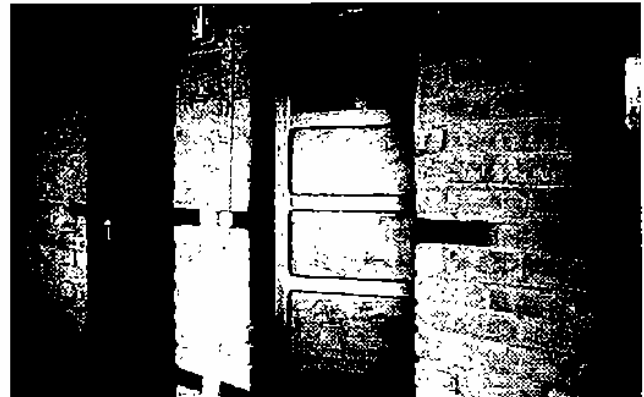


Fig. 295 : Détail de fixation des menuiseries par blocs en bois.

CENTRE SOCIAL A OURO-SOGUI, SENEGAL

PLAN DU CHAINAGE EN BOIS

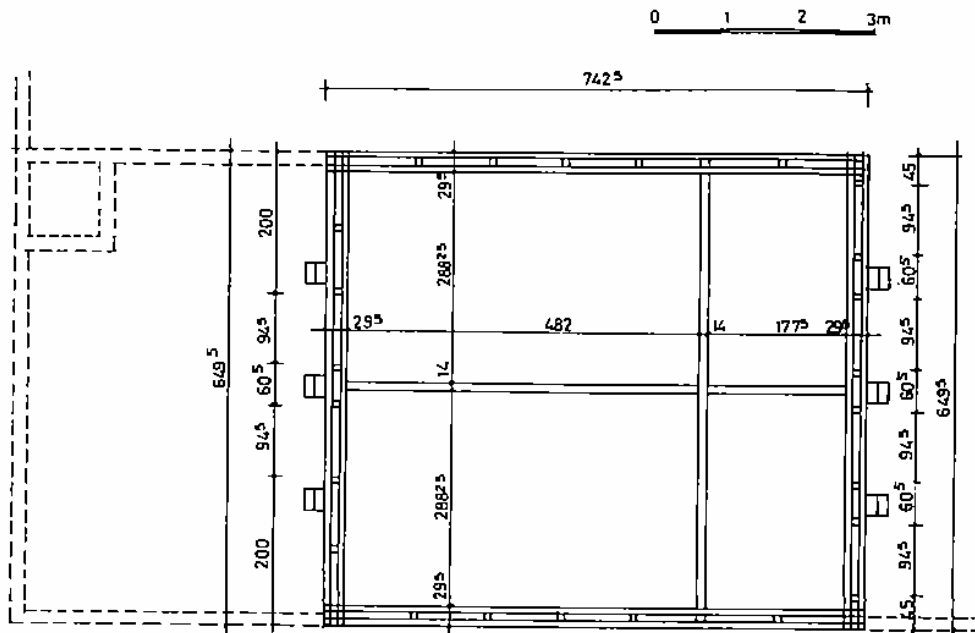


Fig. 296 : Plan de pose du chaînage en bois sur la périphérie de la maçonnerie de murs de 29,5 cm d'épaisseur.

Chaînage - linteau en bois

Un chaînage en bois est posé sur les murs ; il constitue également le linteau des portes et fenêtres extérieures à hauteur de 2,10 m au-dessus du sol intérieur fini.

Ce chaînage est réalisé en bois, à partir de planches de fraquet de 27 mm d'épaisseur traitées contre l'attaque des termites et autres insectes.

Deux épaisseurs de planches sont superposées avec une planche de 20 cm de large et une autre planche de 10 cm de large donnant ainsi une largeur totale de 30 cm au chaînage.

La superposition des planches, d'une couche à l'autre, se fait en opposition, de façon à décaler le joint de liaison des planches. Celles-ci sont assemblées à l'aide de clous de 60 mm. Aux angles et aux liaisons des murs, l'assemblage se fait à mi-bois avec cloutage.

Pour améliorer la liaison entre le chaînage et la maçonnerie, par le mortier, les planches sont entaillées à l'herminette, en surface.

Le chaînage est préparé au sol mais assemblé sur les murs et positionné sur un lit de mortier.



Fig. 297 : Pose du chaînage sur les murs, cloutage des deux couches de planches de fraquet.

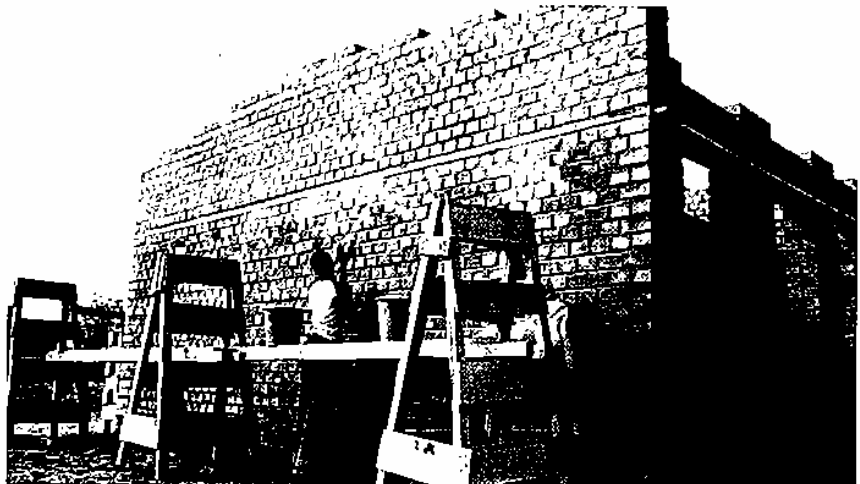


Fig. 298 : Le chaînage est maintenu par la charge de la maçonnerie du haut des murs.

ARCHITECTURE DE BATIMENTS PUBLICS



ZAÏRE

Le bloc de terre comprimée, vecteur d'une coopération industrielle

A la demande de l'Association des architectes africains, l'Organisation des Nations unies pour le développement industriel, ONUDI, et le Centre de développement industriel, C.D.I., ont joint leurs efforts pour initier un programme de promotion de projets d'investissements industriels dans le secteur des matériaux de construction en Afrique. Une rencontre était par suite organisée en France entre des promoteurs constructeurs africains (Bénin, Cameroun, Congo, Guinée, Togo, Zaïre), l'équipe CRATerre-EAG et des fabricants de matériels de production, sous le patronage de l'ONUDI et du C.D.I., sur le thème des critères d'investissement et des choix techniques des équipements de la filière terre. A cette occasion, il a été décidé de lancer une action de coopération industrielle avec les pays africains invités. En décembre 1988, le SICAD puis en janvier 1988, les états généraux de AFRICABAT, permettaient de concrétiser ce projet de coopération avec le Zaïre.

UNE ECOLE A KINSHASA

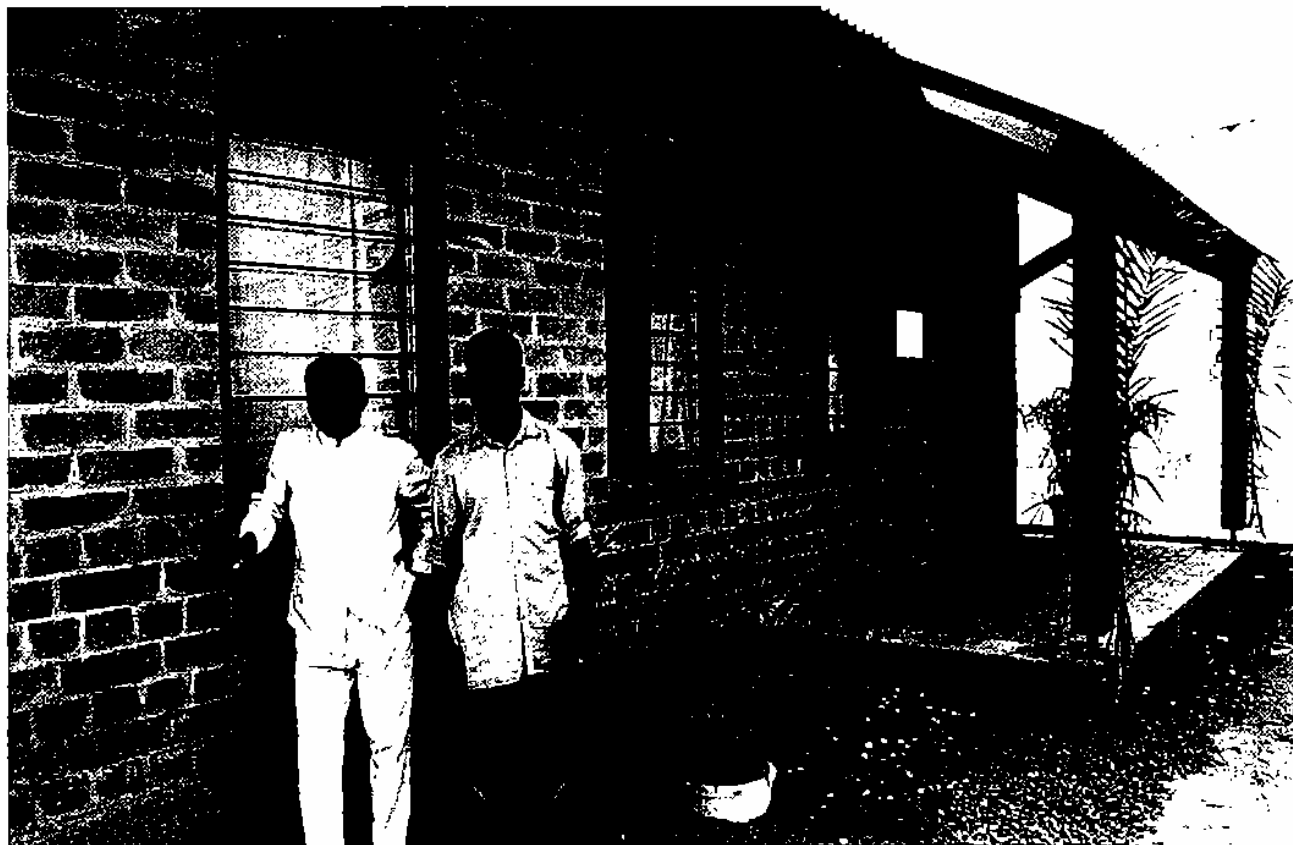


Fig. 299 : Vue de côté de l'école construite à Kinshasa avec un de ses petits porches d'entrée latéraux.

UNE ECOLE A KINSHASA, ZAÏRE

La construction en blocs de terre au service de la promotion des petites entreprises

Le Zaïre offre le constat d'une importante détérioration du patrimoine construit national, en milieu rural et urbain où les conditions d'habitat sont très souvent précaires. A ce constat s'ajoute celui d'une augmentation du coût des matériaux de construction qui sont de moins en moins accessibles à la population. Le manque de devises pour favoriser l'importation de matériaux de construction ou l'investissement local bloque les possibilités d'un développement industriel du secteur du bâtiment. Devant cette situation, l'Etat zaïrois a lancé une politique nationale de promotion des petites entreprises dotées d'un bon potentiel de création d'emplois, notamment en milieu rural. Cette politique vise aussi une mobilisation sur une utilisation à grande échelle des matériaux et des technologies de construction à faible coût ne mobilisant que peu de capital. Dans cette perspective, un transfert de la technologie du bloc de terre comprimée, à un niveau décentralisé, a été envisagé vers les petites entreprises et les communautés locales. Néanmoins, un tel transfert ne pouvait être envisagé sans phase préalable d'information et de formation technologique, tant sur les aspects production que construction. C'est ce qu'a engagé ce projet d'école pilote à Kinshasa, dans la cadre d'un programme conjoint entre l'ONUDI / C.D.I. / la région wallonne / CRATerre-EAG et 10 entreprises zaïroises sur la "Promotion de la coopération industrielle dans le secteur des matériaux de construction".

FICHE TECHNIQUE DESCRIPTIVE DU PROJET

Projet d'école comme chantier-formation-production sur la production des blocs de terre (formation en briqueterie), la conception et la construction d'un bâtiment de démonstration.

Projet réalisé avec l'appui de : PNUD, département des Travaux publics, de l'Urbanisme et de l'Habitat du Zaïre, la fondation Mama Mobutu et la société Appro-Techno.

Avec la collaboration de : ANEZA, OPEZ et SOFIDE.

Avec la participation des entreprises : EGEDEZA, G.T.A.C., LOGEC FONDATION, MONY, NZOLANTIMA, LA SIDELE, TRAGEMA - ETAZ, ainsi que les O.N.G. suivantes : E.C.Z. et Armée du salut.

Bâtiment : école de quartier correspondant à une salle de classe de 52 m².

Fondations : en radier de béton armé avec longrines périphériques, sur remblai en lout-venant et concassé damé.

Maçonnerie des murs : en blocs de terre comprimée au module de 29,5 x 14 x 9 cm. Murs en 29,5 cm d'épaisseur, appareillés en boutisse et panneresse jusqu'au 7e rang puis en 14 cm d'épaisseur jusqu'à l'arase haute du mur (voir plans de calepinage).

Charpente : ferme centrale en bois avec arbalétriers et entrails moisants. Prolongation extérieure en consoles de débords de toiture et petits auvents latéraux. Couverture : en tôle ondulée galvanisée.



Fig. 300 : Vue de la salle de classe achevée et de ses aménagements périphériques extérieurs, à partir de l'un des pignons.

ARCHITECTURE DE BATIMENTS PUBLICS

Conception architecturale

Le bâtiment pilote entrepris à Kinshasa constitue la première tranche de la réalisation d'un plus vaste ensemble d'écoles. Le plan masse (fig. 301) traduit cette implantation d'un ensemble de quatre modules de classes conçus selon les mêmes principes constructifs et architecturaux que le module 1 réalisé en phase pilote. A cet ensemble de classes doit être ajouté un bâtiment d'administration et de services qui reprendra les grands traits de l'architecture des classes tout en adoptant une toiture plus importante à croupes en pignons. Les solutions constructives du projet sont conçues de façon à être facilement construites par les entreprises stagiaires de la formation, tout en faisant une démonstration de cas de figure pouvant permettre la réalisation de projets de conceptions diverses. La maçonnerie en murs de 29,5 cm et en 14 cm d'épaisseur avec des solutions de raidisseurs verticaux sous forme de contreforts ou de piliers intégrés dans les murs convient en effet à la réalisation de bâtiments de plus grande taille et donne des solutions adaptées pour garantir la stabilité des murs notamment en ce qui concerne le contrôle du risque d'élanement. La solution de charpente avec ferme centrale et pannes en appui sur les murs pignons, avec consoles débordantes pour un débord de toiture assurant une protection solaire et contre les intempéries, est adaptée au contexte climatique.

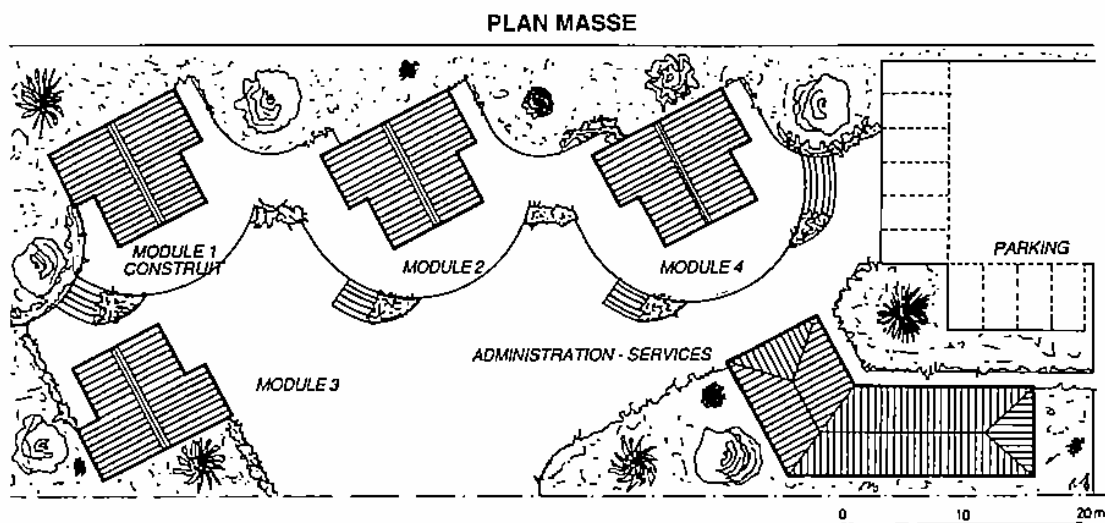


Fig. 301 : Plan masse de l'ensemble du projet d'école avec ses quatre salles de classe et son bâtiment d'administration et de services.

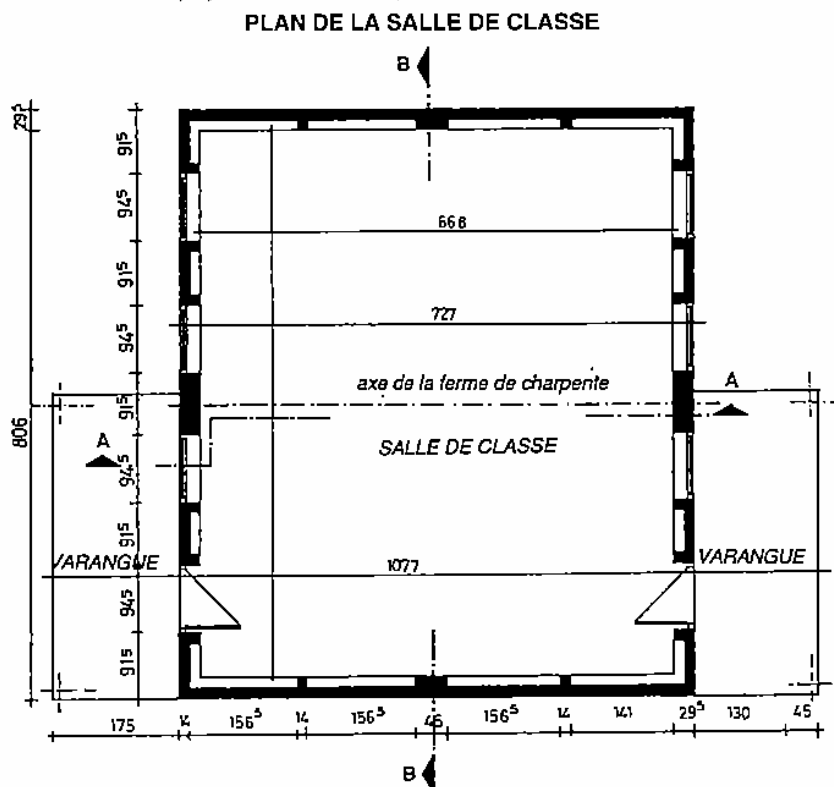


Fig. 302 : Plan de la salle de classe avec ses deux auvents d'accès latéral. Noter l'utilisation possible des panneaux de murs entre contreforts pour des rangements (étagères).

UNE ECOLE A KINSHASA, ZAÏRE

FONDACTIONS ET DALLE

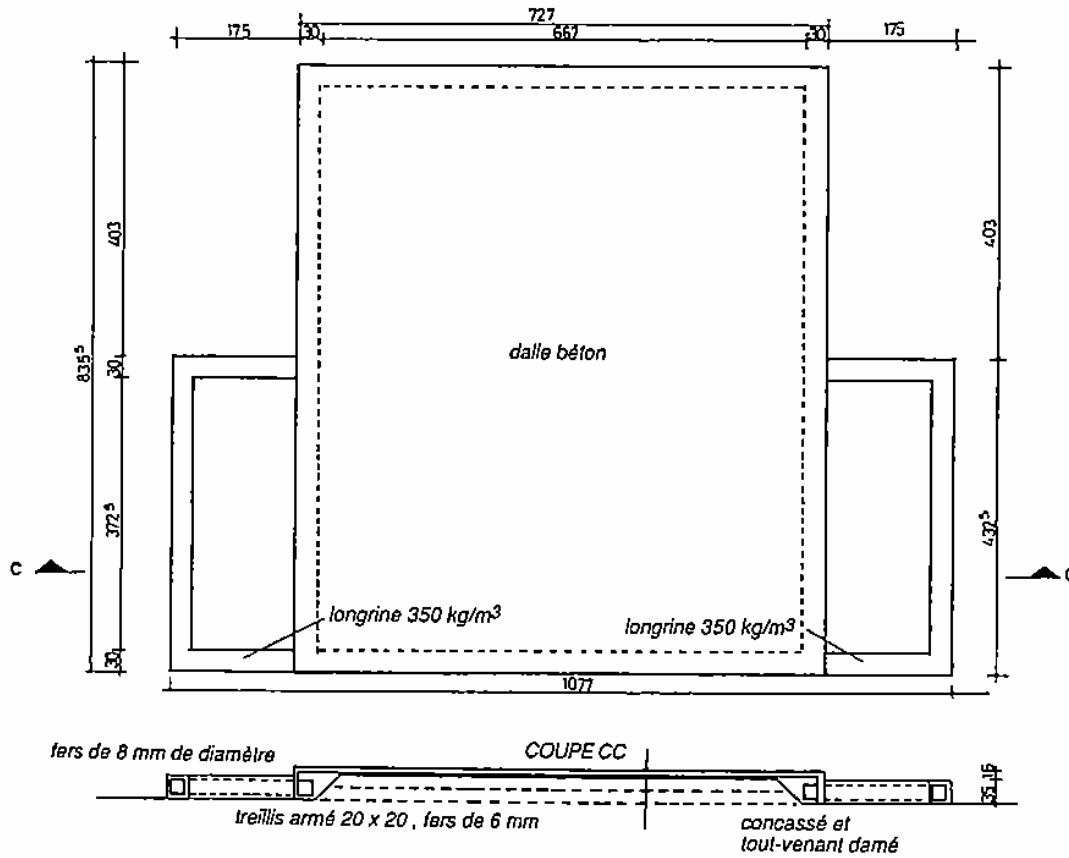


Fig. 303 : Plan des fondations avec solutions en radier sur remblai compacté et longrines périphériques en béton armé.

APPAREILLAGE 1 ASSISES 1 - 3 - 5 - 7

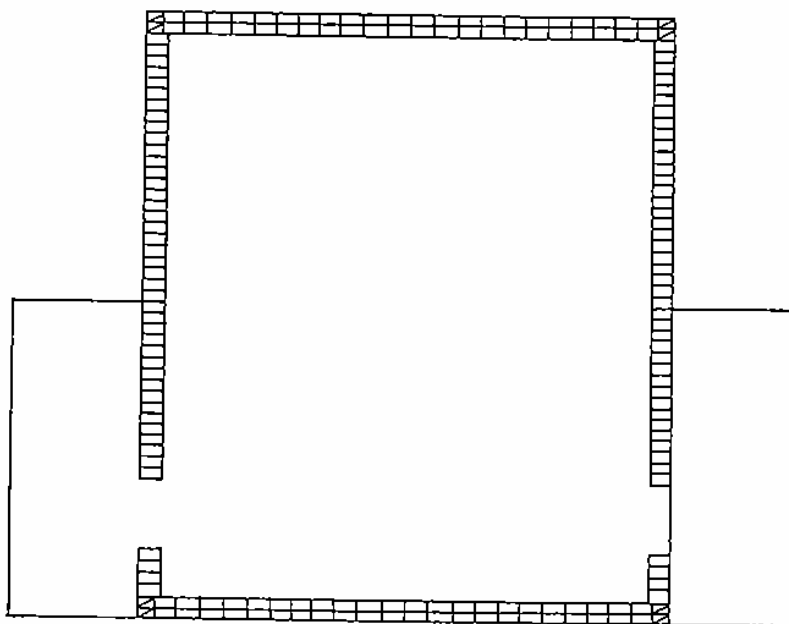


Fig. 304 : Calepinage de l'appareillage des 4 premières assises impaires en 29,5 cm d'épaisseur (soubassement).

ARCHITECTURE DE BATIMENTS PUBLICS

APPAREILLAGE 2 ASSISES 2 - 4 - 6

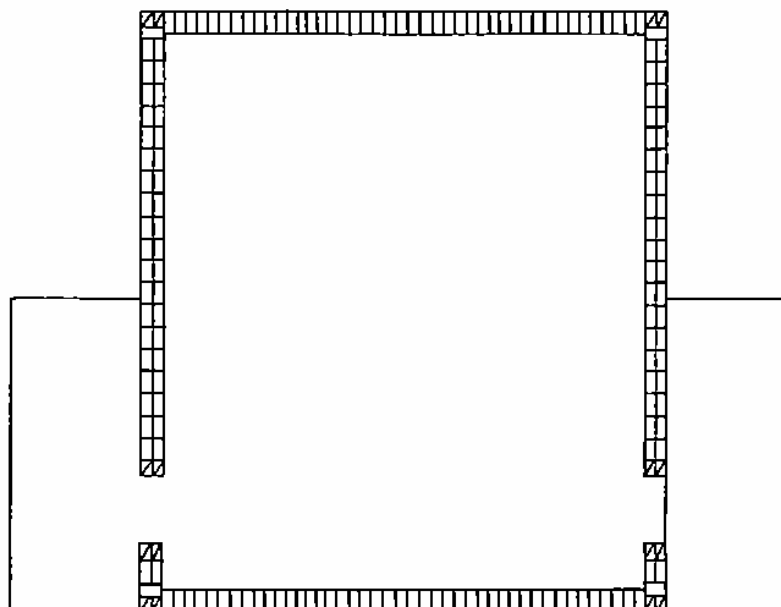


Fig. 305 : Calepinage de l'appareillage des 3 premières assises paires en 29,5 cm d'épaisseur (soubassement).

APPAREILLAGE 3 ASSISES 8 - 10 - 12 - 14 - 16 - 18 - 20 - 22

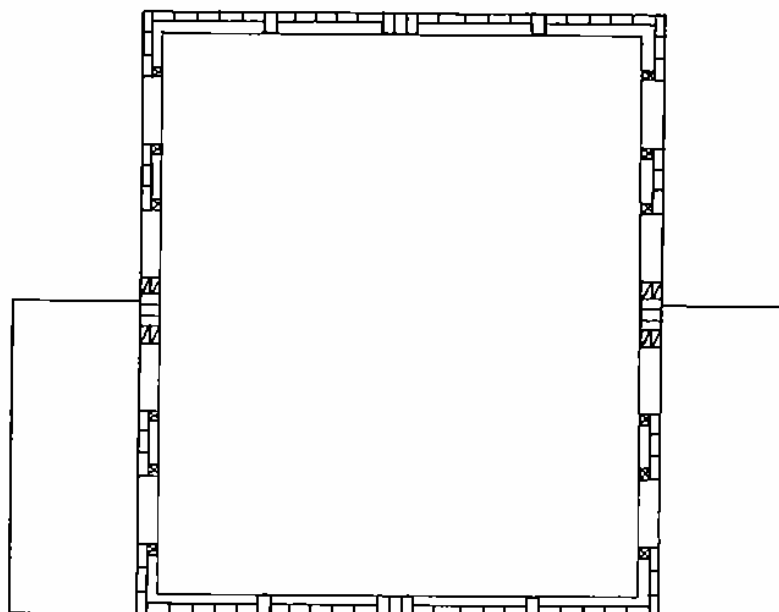


Fig. 306 : Calepinage de l'appareillage des 8 prochaines assises en 14 cm d'épaisseur avec contreforts intérieurs et piliers raidisseurs de pignons ou porteurs de charpente.

UNE ECOLE A KINSHASA, ZAÏRE

APPAREILLAGE 4
ASSISES 9 - 11 - 13 - 15 - 17 - 19 - 21

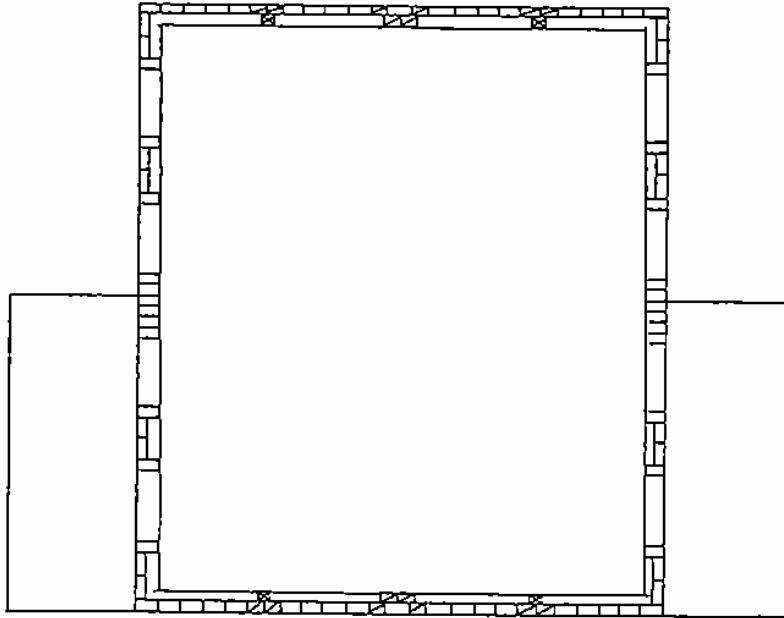


Fig. 307 : Calepinage de l'appareillage des 7 prochaines assises impaires en 14 cm d'épaisseur avec contreforts intérieurs et piliers raidisseurs de pignon ou porteurs de charpente.

APPAREILLAGE 5
ASSISES 23 - 25 - 27

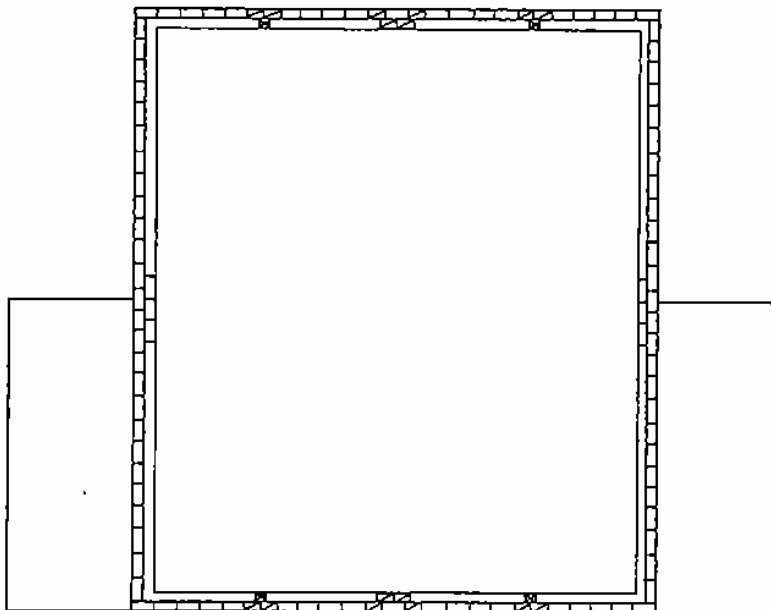


Fig. 308 : Calepinage de l'appareillage des 3 dernières assises impaires en 14 cm d'épaisseur avec contreforts, raidisseurs et piliers jusqu'à l'arase haute du mur.

ARCHITECTURE DE BATIMENTS PUBLICS

LE PARTI CONSTRUCTIF DU PROJET

La maçonnerie des murs

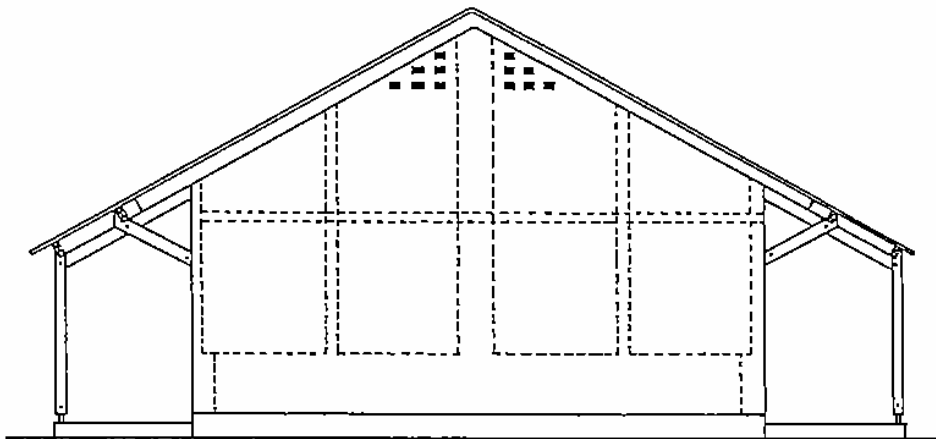
Le parti constructif de la maçonnerie des murs adopte la solution d'un soubassement massif en blocs de terre comprimée stabilisée, construit en 29,5 cm d'épaisseur jusqu'à hauteur du rejet d'eau des fenêtres, soit jusqu'à la septième assise de blocs de terre. L'épaisseur du seuil des fenêtres, réalisé en briques cuites, est comprise dans la sixième assise. A partir de la huitième assise de blocs, la maçonnerie est élevée en épaisseur de 14 cm tout en veillant à garantir la stabilité des murs contre le risque d'élançement par l'inclusion, dans l'épaisseur du mur, de contreforts de 29,5 cm d'épaisseur dont la position correspond aux retours de jambages des tableaux de baies. En mur pignon, un pilier raidisseur, en position axiale, de 29,5 cm d'épaisseur et de 45 cm de largeur est appareillé avec la maçonnerie du mur.

Enfin, en murs gouttereaux, dans l'axe transversal médian, deux piliers massifs sont également appareillés avec le mur, de 29,5 cm d'épaisseur et de 91,5 cm de largeur, destinés à recevoir en arase supérieure l'entrait moisant de la ferme de charpente.

Cette stabilité des murs est aussi renforcée par la présence d'un chaînage périphérique, coulé à hauteur de la vingt-troisième assise de blocs. Le béton de ce chaînage est coulé dans des blocs de terre comprimée spéciaux, à gorge longitudinale qui reçoivent une seule nappe de fers.

La salle de classe est prolongée de part et d'autre des murs gouttereaux, côté accès de la salle, par deux petits auvents non clos dont la couverture est assurée par une poussée directe de la charpente au-delà des rives basses de la toiture, grâce à une solution simple de fausse console ancrée dans le mur de maçonnerie. Ces détails seront précisés par la suite.

FAÇADE OUEST



FAÇADE SUD

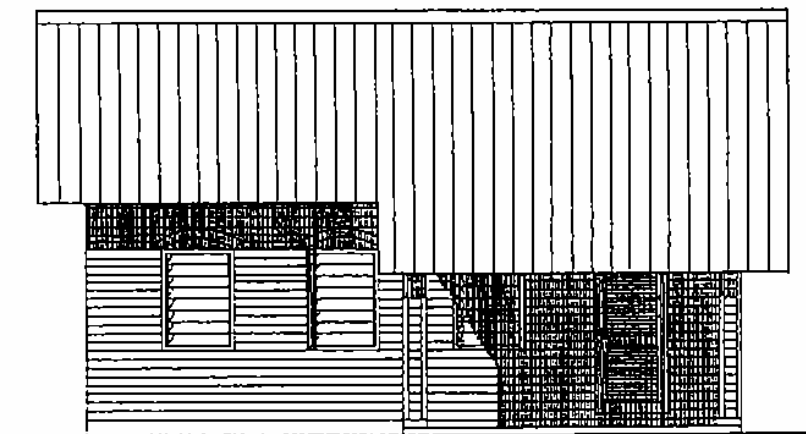


Fig. 309 : Élévation d'une façade pignon et d'une façade principale de la salle de classe.

UNE ECOLE A KINSHASA, ZAÏRE

COUPE AA

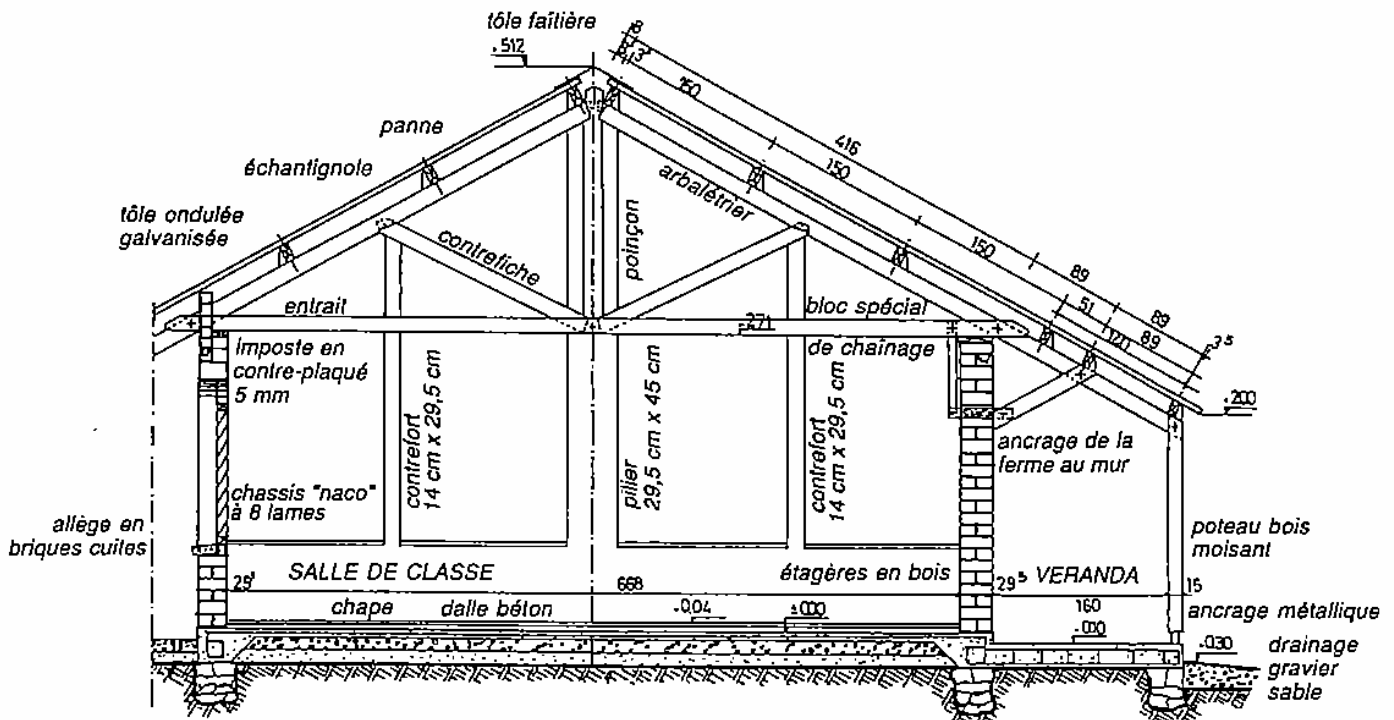


Fig. 310 : Coupe transversale AA (fig. 302) montrant la maçonnerie des murs et la charpente.

COUPE BB

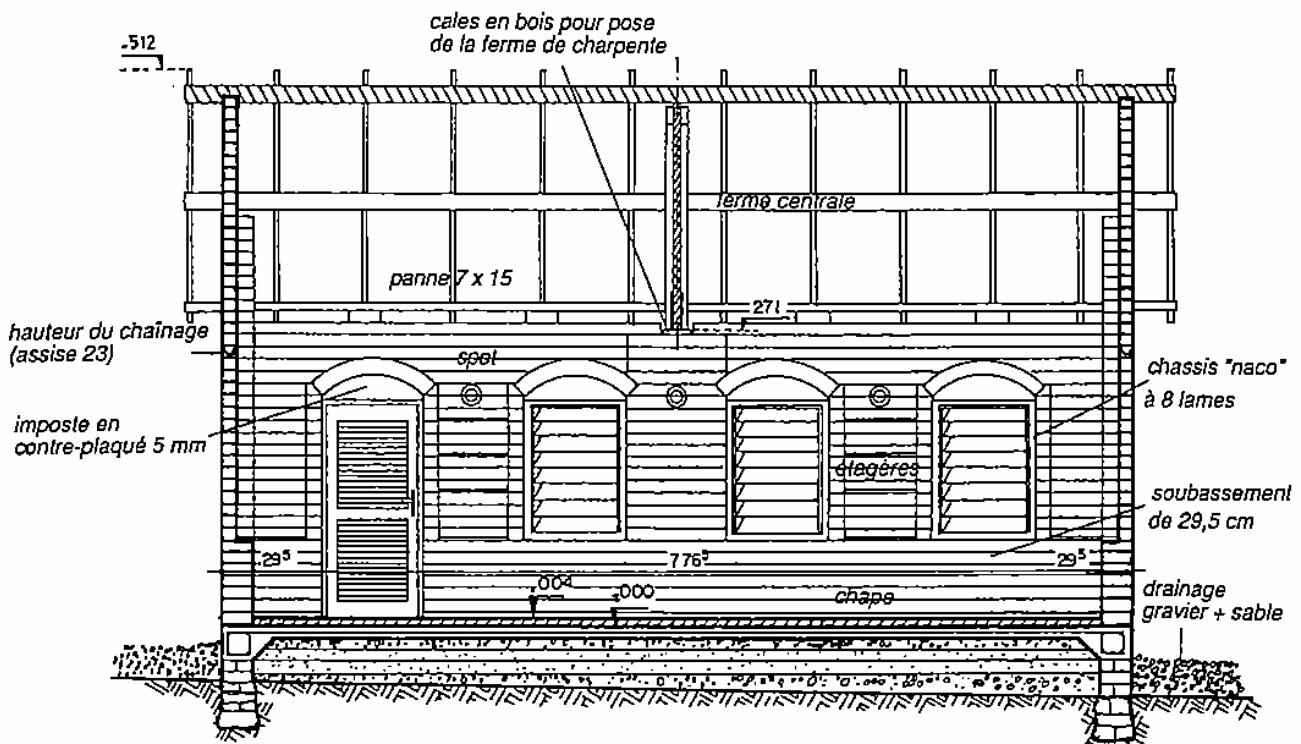


Fig. 311 : Coupe longitudinale sur la salle de classe. Noter le principe de ferme de charpente médiane et de pannes appuyées sur les pignons.

ARCHITECTURE DE BATIMENTS PUBLICS

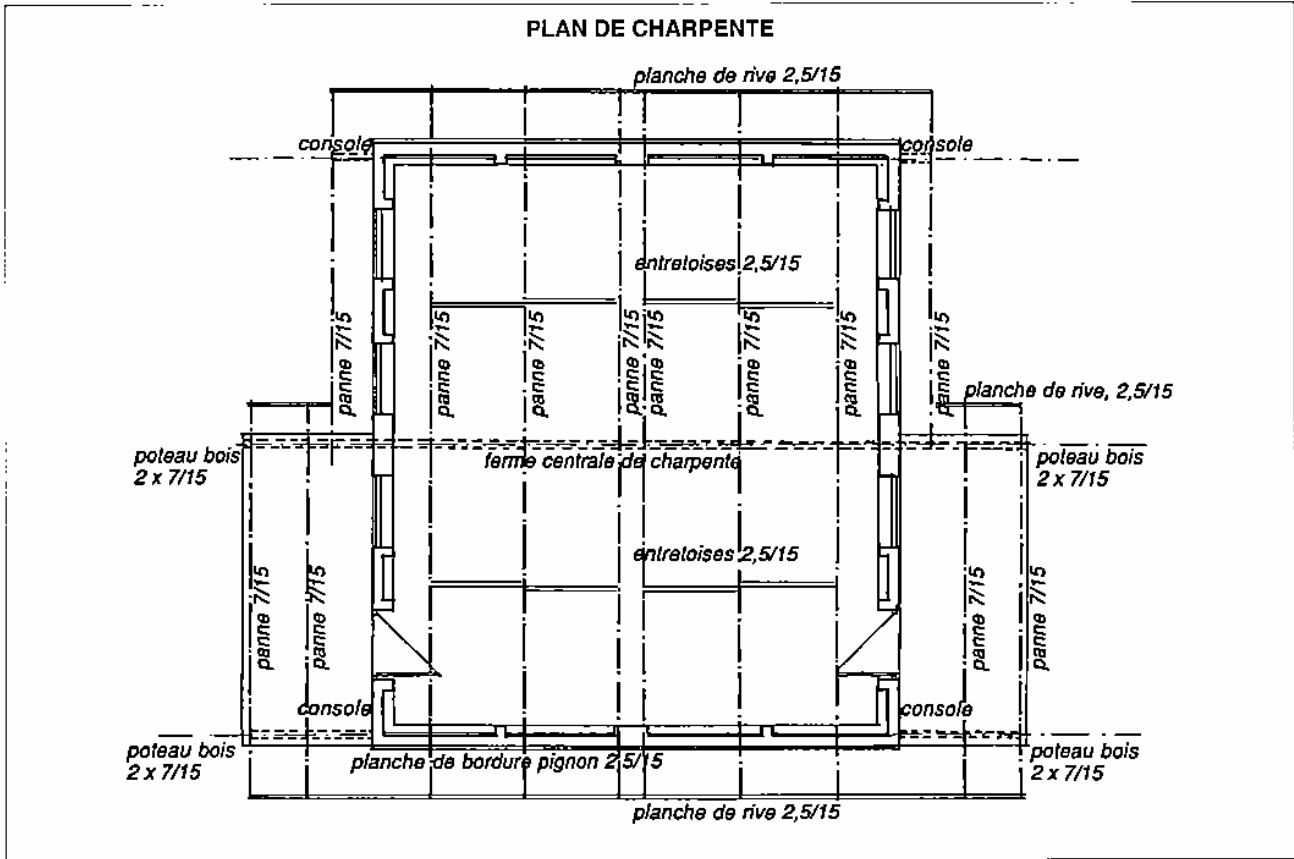


Fig. 312 : Plan de la charpente précisant le détail des sections de bois et le principe de contreventement horizontal par entretoisement des pannes.

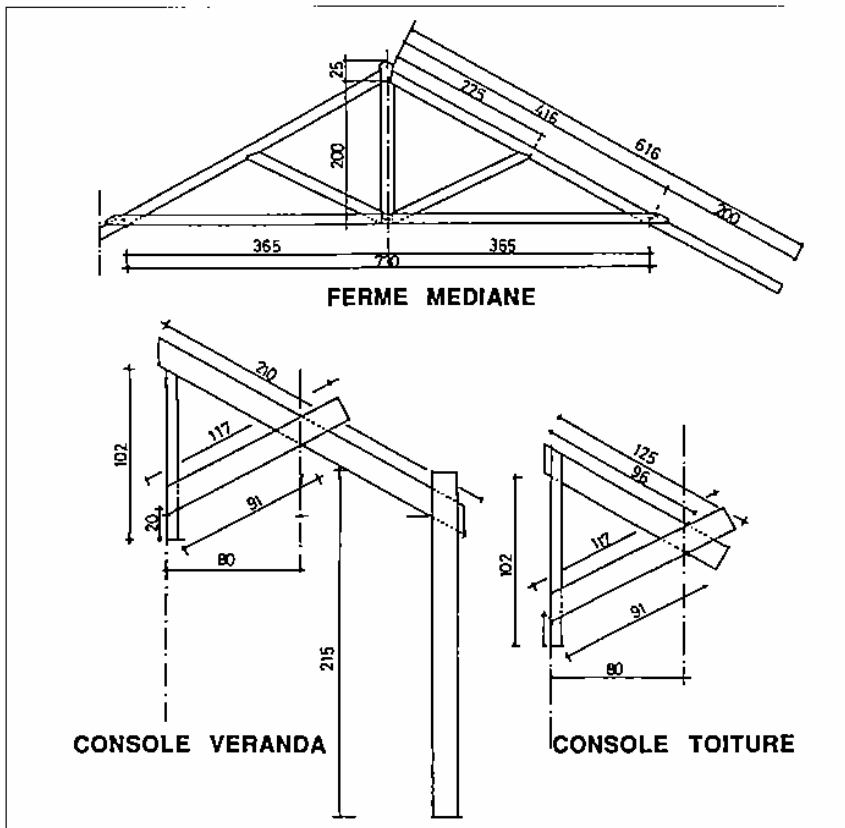


Fig. 313 : Elévation de la charpente et détails des consoles de toitures et de vérandas.

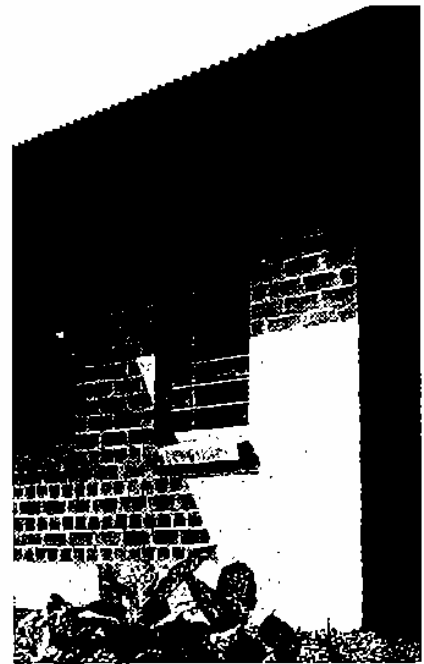


Fig. 314 : Vue d'une des consoles de la toiture à l'angle du bâtiment. On remarque l'ombrage important assuré grâce à cette poussée de la toiture ainsi que la protection du haut des murs contre la pluie.

UNE ECOLE A KINSHASA, ZAÏRE

Charpente en bois

La charpente en bois est conçue selon le principe d'une seule ferme médiane sur laquelle s'appuient les pannes (assemblées en sifflet avec des goussets en bois cloués) qui vont de part et d'autre rejoindre les murs pignons. Ces pannes reçoivent ensuite des chevrons qui supporteront les tôles de couverture.

La construction de la charpente est entièrement réalisée à partir de bois local de section 7 x 15, obligeant à adopter le principe d'une ferme à entrain moisant les arbalétriers, le poinçon et les contrefiches. Tous les assemblages se font par cloutage.

La ferme est tracée, assemblée et montée au sol puis mise en place en étant provisoirement maintenue par des étais en bois. L'entrait moisant repose au sommet des piliers de maçonnerie prévus à cet effet mais sur un système de calage en bois. Vient ensuite la pose des pannes en 7/15 qui sont contreventées par le cloutage d'entretoises sur leur fillet supérieur, les maintenant en position.

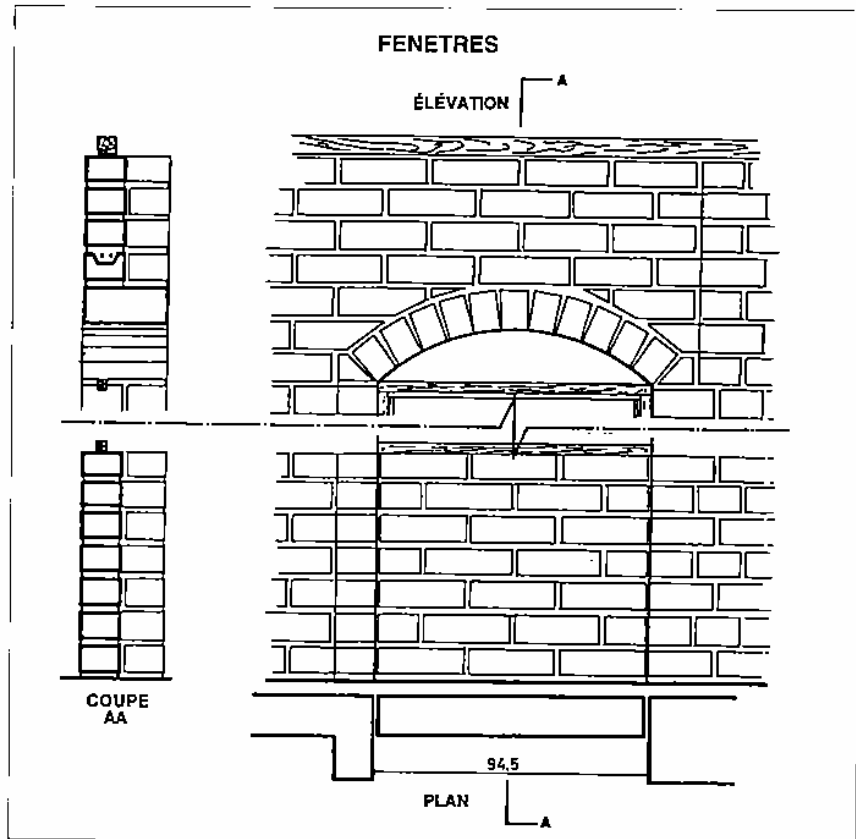


Fig. 315 : Plan, élévation et coupe verticale sur un tableau de fenêtre à châssis "naco".

Les consoles de dépassée de toiture en murs gouttereaux, ainsi que celles des deux vérandas, sont solidarisées à l'entrait moisant de la ferme par une pièce de bois verticale en parement intérieur pour la véranda ou par une pièce de bois verticale en parement extérieur pour la dépassée. Cette pièce verticale est également solidarisée à une pièce de bois horizontale traversant le mur et reprenant la pièce oblique de la console. Deux poteaux extérieurs moisants en 7/15 stabilisent les auvents de vérandas.

Ouvertures

Elles sont de conception classique, à allèges de maçonnerie indépendantes pour les fenêtres, avec des linteaux en arcs surbaissés. Des châssis en bois montés en même temps que la maçonnerie et scellés par des fils de fer barbelés noyés dans le mortier de maçonnerie en jambages, reçoivent un cadre "naco" à lames de verre ou des portes en bois.

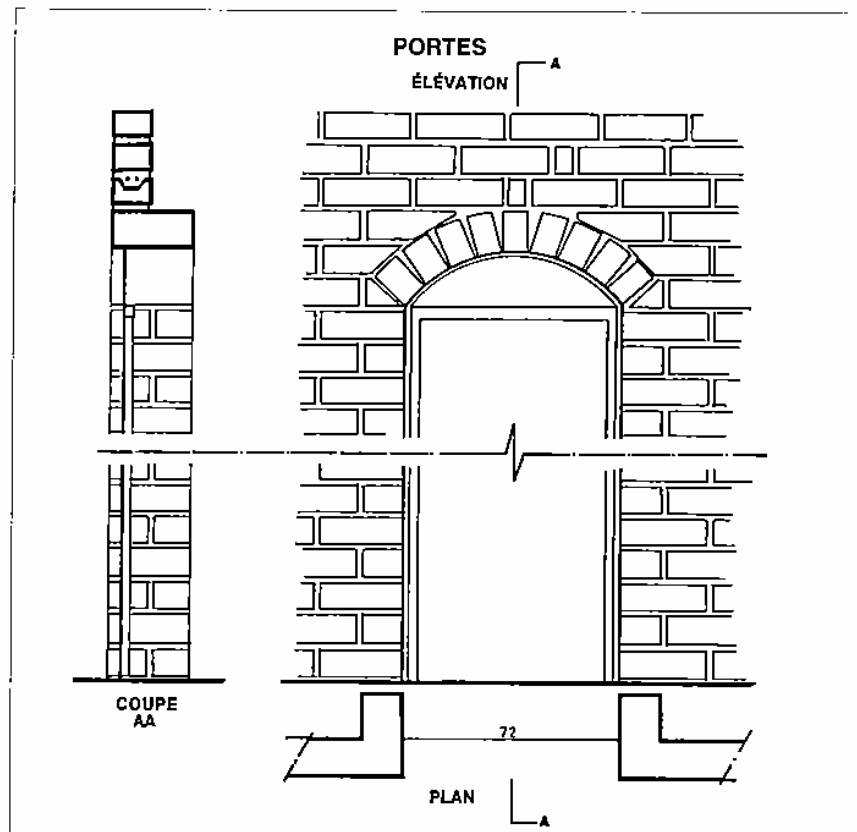
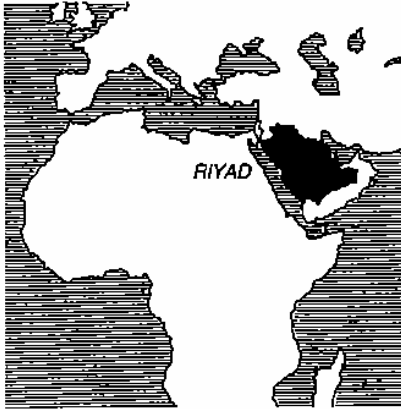


Fig. 316 : Plan, élévation et coupe verticale sur un tableau de porte en bois.

ARCHITECTURE DE BATIMENTS PUBLICS



Culture et architecture : nouveau droit de cité de la terre

Les villes de l'Arabie Saoudite contemporaine traduisent les grands traits du "style international". Et pourtant, dissimulés dans le voisinage de quartiers d'immeubles de bureaux ou d'hôtels internationaux qui rappellent les "down towns" américaines, existent encore parfois de vieux quartiers, autour d'anciens palais et mosquées, qui restituent discrètement l'image de ce qu'était, il y a quelques décennies, l'architecture saoudienne. Les plus anciens édifices de Riyad, telle la citadelle militaire de Al Masmak ou, toute proche, la vieille cité historique de Diraiyah, à quinze kilomètres au nord-ouest de la capitale, sur le Wadi Hanifa, les maisons de Najd sont en terre. De même, l'architecture des régions de Najran et Assir, au sud, qui traduit un art de bâtir en terre ancien parfaitement maîtrisé. Le droit de cité de cette architecture de terre dans un environnement résolument moderne est aujourd'hui lié à la mise en valeur d'un patrimoine culturel auquel les Saoudiens prêtent une attention nouvelle.

ARABIE SAOUDITE

PAVILLON DE LA COMMISSION ROYALE DE JUBAIL ET YANBU A JANADRIYAH

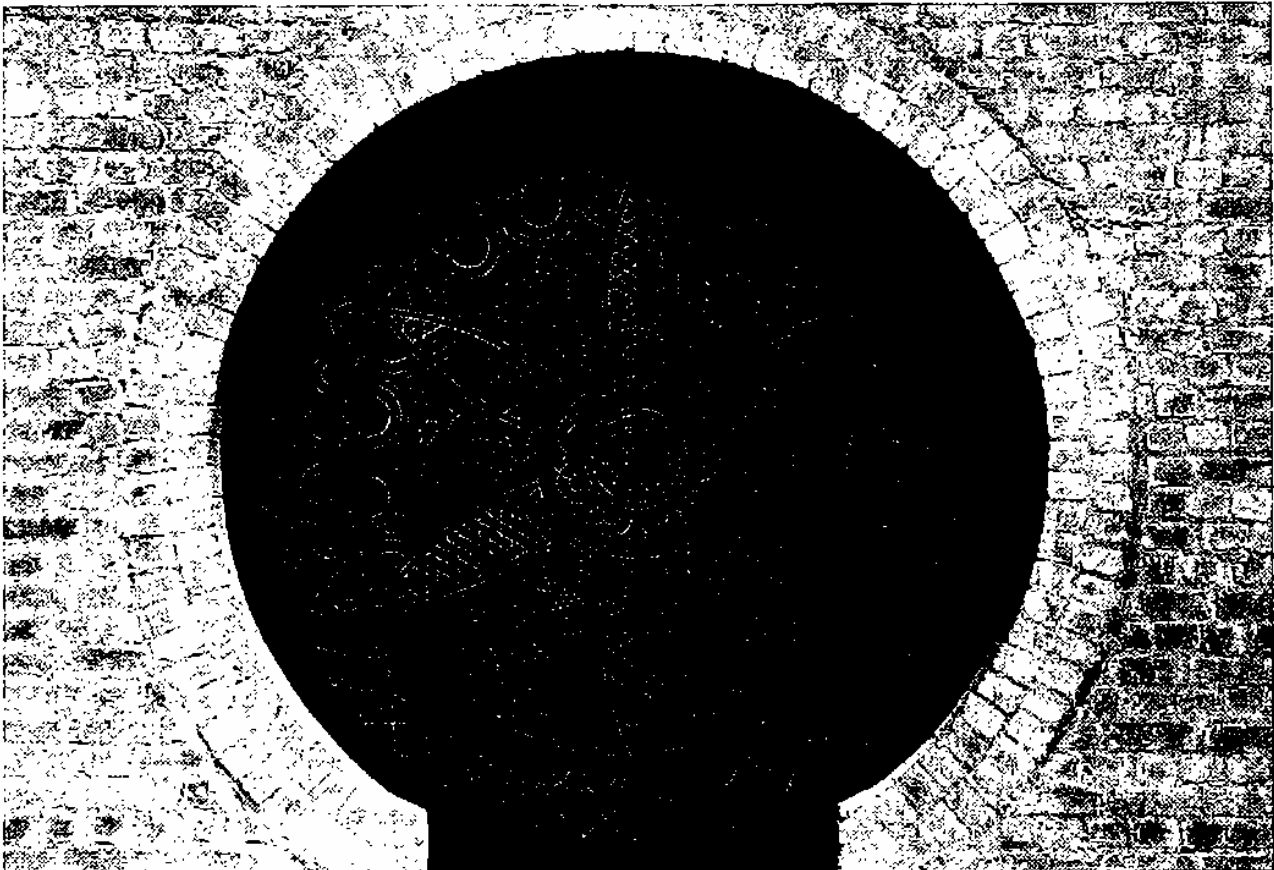


Fig. 317 : Vue détaillée de la magnifique porte d'entrée du pavillon d'exposition, entièrement peinte d'arabesques.

PAVILLON D'EXPOSITION EN ARABIE SAOUDITE

Un pavillon pour le Festival national traditionnel

Le Festival national traditionnel de Janadriyah (à proximité de Riyad) est généralement inauguré pendant la dernière semaine du *shaban*, juste avant le début du *ramadan*. Cet événement contribue à réaffirmer les valeurs traditionnelles que le festival traduit par l'expression d'une multitude d'activités artisanales héritées des générations passées telles que l'ébénisterie, le lissage, le travail du cuir, la poterie, la gravure et la peinture sur menuiseries, la danse, le chant ou le théâtre. Une population nombreuse, originaire de presque toutes les régions d'Arabie Saoudite, se rassemble à Janadriyah pour célébrer ces valeurs et cet artisanat dans un climat de festivité. C'est à l'occasion du festival de l'année 1988, que le secrétaire général de la Commission royale de Jubail et de Yanbu fut invité à réaliser une exposition présentant les produits régionaux de ces deux villes. Il s'agissait d'édifier un petit bâtiment permanent pouvant traduire la tradition architecturale liée au festival. L'idée de réutiliser la tradition de construction en terre tout en l'adaptant aux exigences actuelles de qualité d'exécution qu'offrent les technologies contemporaines fut retenue. Le bloc de terre comprimée stabilisée répondait à ce critère et un accord de projet fut engagé en décembre 1987, dans le cadre d'une collaboration entre l'ambassade de France à Riyad et la Commission royale de Jubail et Yanbu.

FICHE TECHNIQUE DESCRIPTIVE DU PROJET

Un pavillon d'exposition d'une superficie couverte de 200 m².

Construction.

- Maître d'ouvrage : Commission royale des villes de Jubail et de Yanbu.
- Maîtrise d'œuvre : Ibrahim Aba-Alkhail, architecte à Riyad, en collaboration avec CRATerre-EAG.
- Réalisation : CRATerre - EAG avec le concours d'entreprises et de maçons saoudiens.
- Collaboration : université Joseph Fourier de Grenoble, université du Roi Abdulaziz et université des pétroles et minéraux du Roi Saud (analyses des matériaux).
- Avec l'appui du département des Affaires internationales du ministère français de la Culture, de la Communication et des Grands Travaux, de l'ambassade de France à Riyad (service culturel) et du Centre national d'art et de culture Georges Pompidou.

- Fondations : en longrines de béton armé
- Dalle : en béton armé.
- Maçonnerie des murs : en blocs de terre comprimée stabilisée au module de 29,5 x 14 x 9 cm. Murs porteurs de 29,5 cm d'épaisseur appareillés en boulisse et double rang de panneresse. Piliers en 45 cm d'épaisseur pour départ des arcs intérieurs ou pour support des poutres linteaux en béton armé sur le patio intérieur. Acrotères de toiture en 14 cm d'épaisseur.
- Toitures : en système mixte de toitures terrasses, avec solution constructive d'entrevous en blocs de terre comprimée et poutrelles de béton armé, et en coupoles (aux quatre angles du bâtiment), sur pendentifs, en blocs de terre comprimée. Etanchéité en bitume et mortier de ciment grillagé.

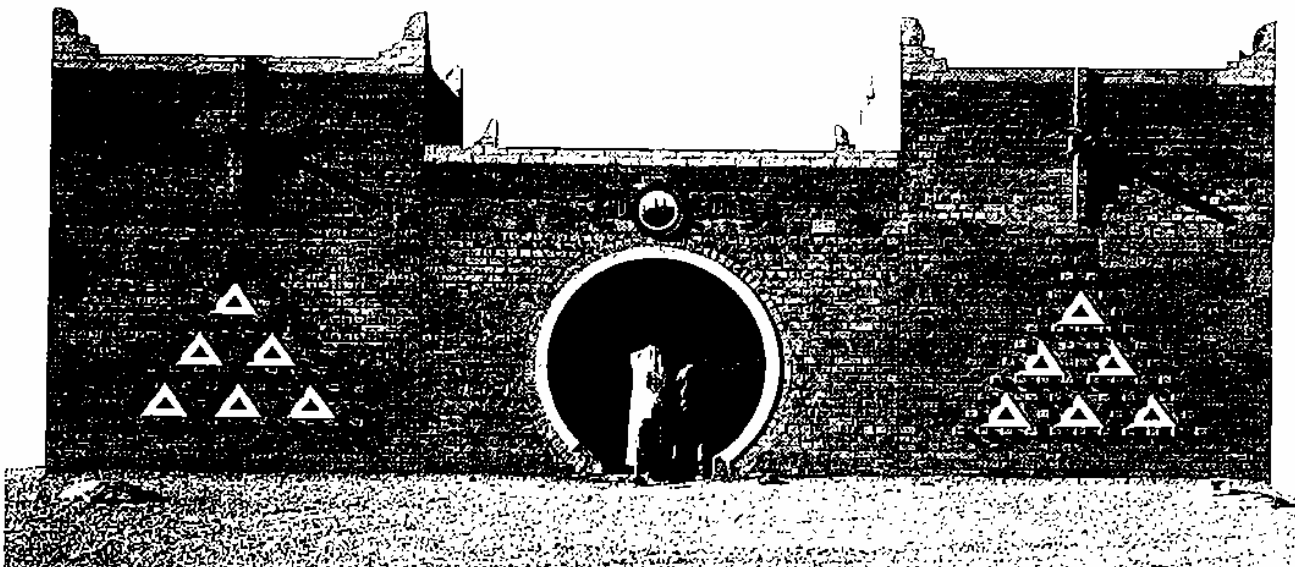


Fig. 318 : Vue de la façade principale du pavillon d'exposition avec sa porte d'entrée monumentale et les aérations d'inspiration traditionnelle.

ARCHITECTURE DE BATIMENTS PUBLICS

Conception architecturale

Les exigences architecturales du projet sont modestes - pas plus de 200 à 250 m² - et peu compliquées. Elles portent sur la conception d'un espace d'exposition et son éclairage adapté. Il faut aussi prévoir une climatisation, les solutions d'inspiration "naturelle" étant préférées à un équipement mécanique. Le programme insiste sur la conception d'un bâtiment conforme à l'expression d'une tradition architecturale pouvant être valorisée dans le cadre du Festival de Janadriyah, en mettant l'accent sur l'utilisation des matériaux et des décorations issus de la tradition, sans pour autant tomber dans une imitation des formes et des techniques traditionnelles de construction.

Le parti architectural exploite finalement le principe d'un plan général de forme carrée distribuant une succession d'espaces d'exposition autour d'une cour à ciel ouvert (patio) qui peut être utilisée pour le cheminement des visiteurs et pour des expositions extérieures. Ce parti, tourné vers l'intérieur, s'accorde tout à fait avec la tradition architecturale saoudienne. Il offre en outre la possibilité de mettre en œuvre une ventilation naturelle en jouant sur la convection de l'air chaud et le mouvement de l'air activé entre des petits fenestrons en façades extérieure et la cour ouverte. La masse des murs, des toitures terrasses et des coupôles offre une résistance thermique adaptée à une climatisation naturelle.

PLAN DU PAVILLON D'EXPOSITION

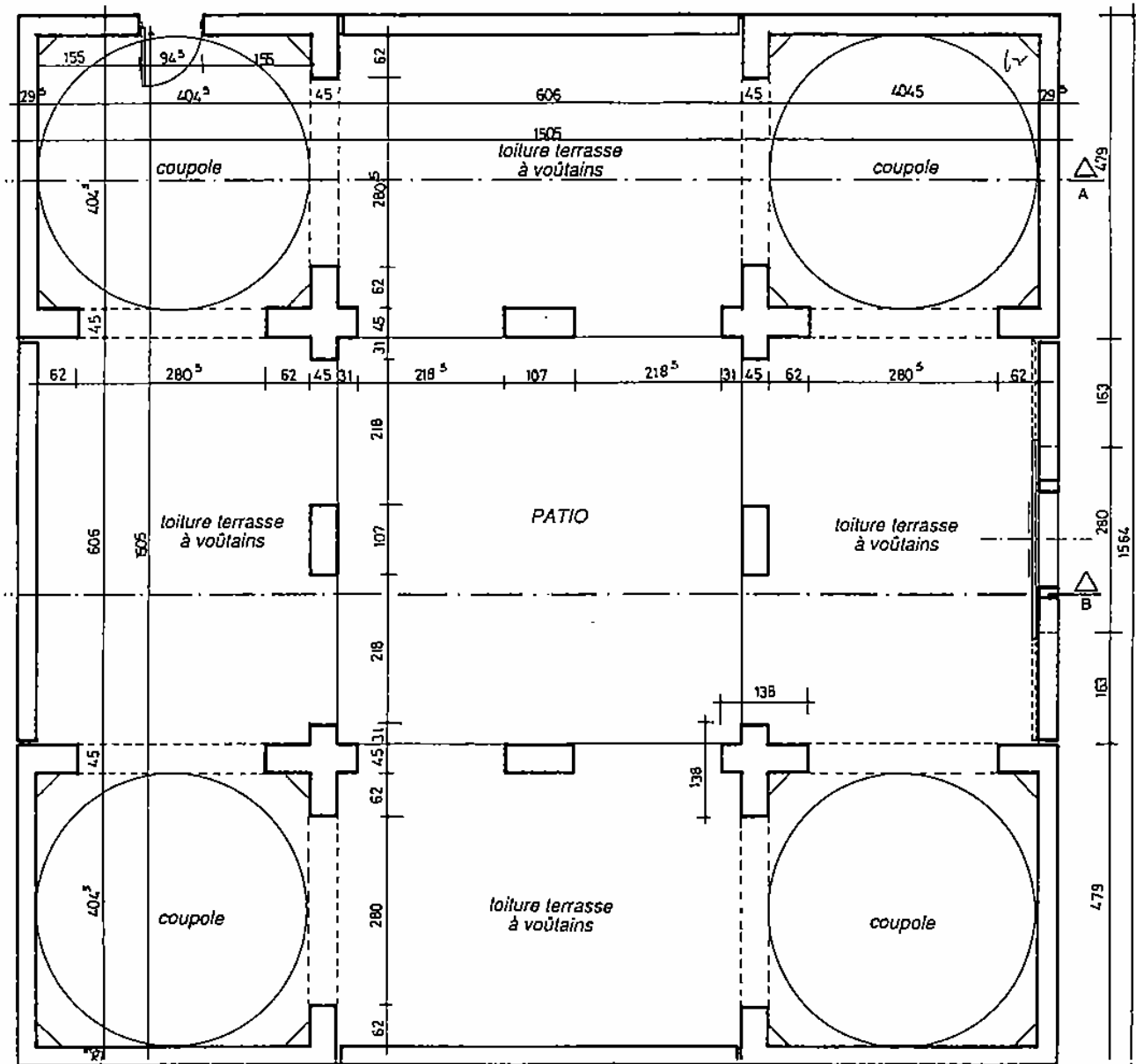
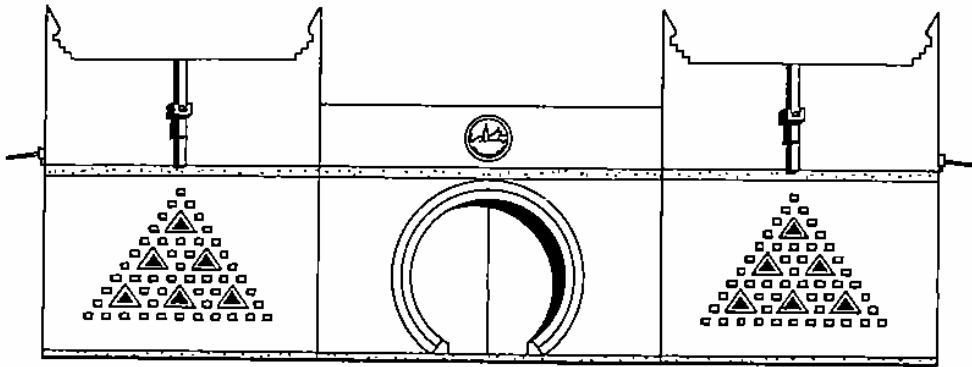


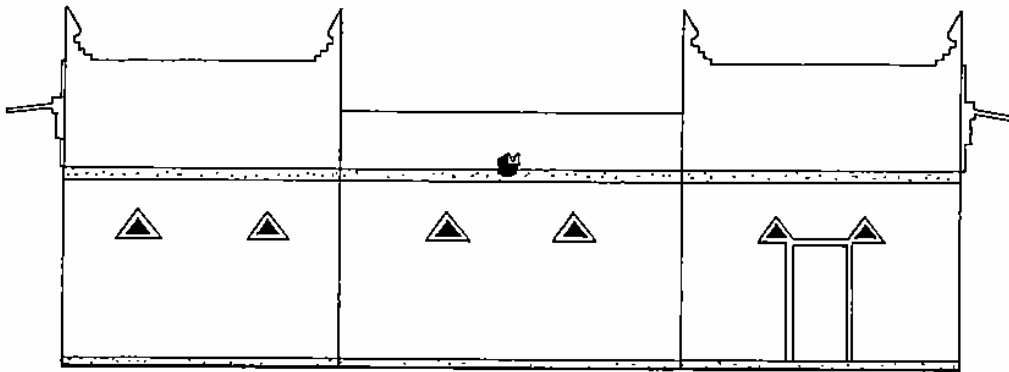
Fig. 319 : Plan du pavillon d'exposition, de forme carrée, avec quatre coupôles aux angles reliées par des espaces à toitures en entrevous autour d'une cour intérieure.

PAVILLON D'EXPOSITION EN ARABIE SAOUDITE

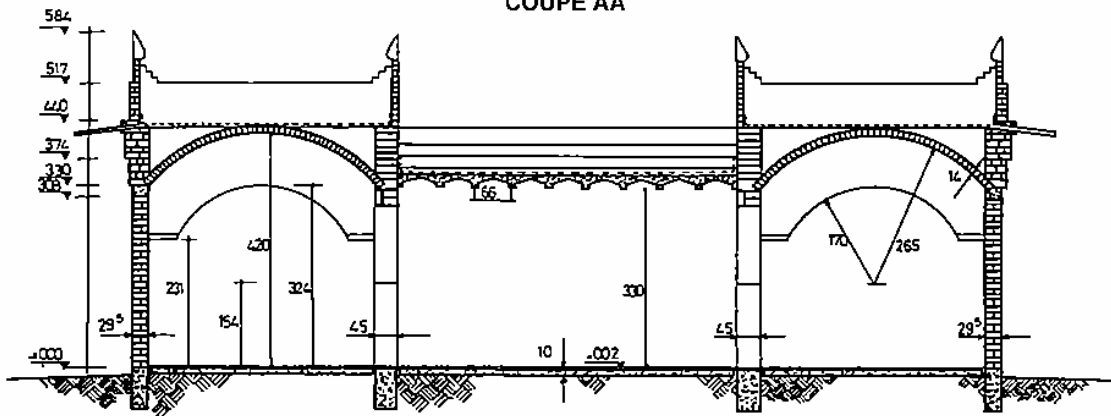
FAÇADE PRINCIPALE



FAÇADE LATÉRALE



COUPE AA



COUPE BB

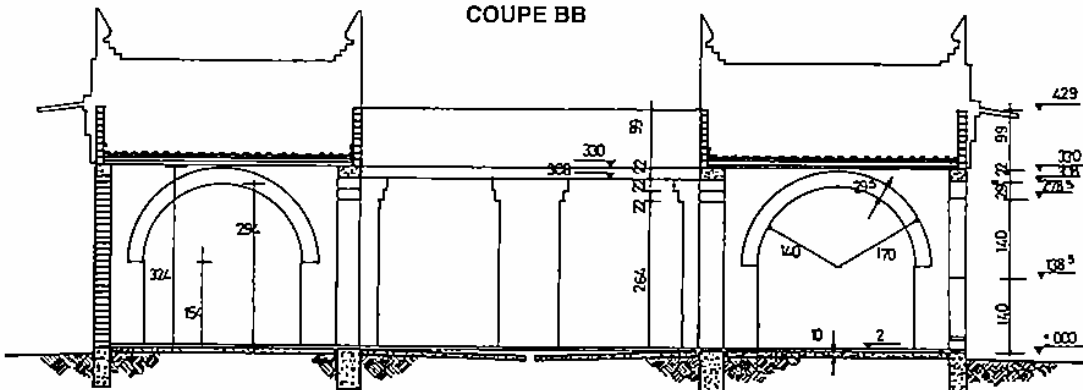


Fig. 320 : Elévation des façades du pavillon et coupes sur galeries d'exposition (AA) et cour (BB) montrant les solutions de toitures plates et en coupôles.

ARCHITECTURE DE BATIMENTS PUBLICS

CALEPINAGE DU PLAN : ASSISES IMPAIRES DE BLOCS

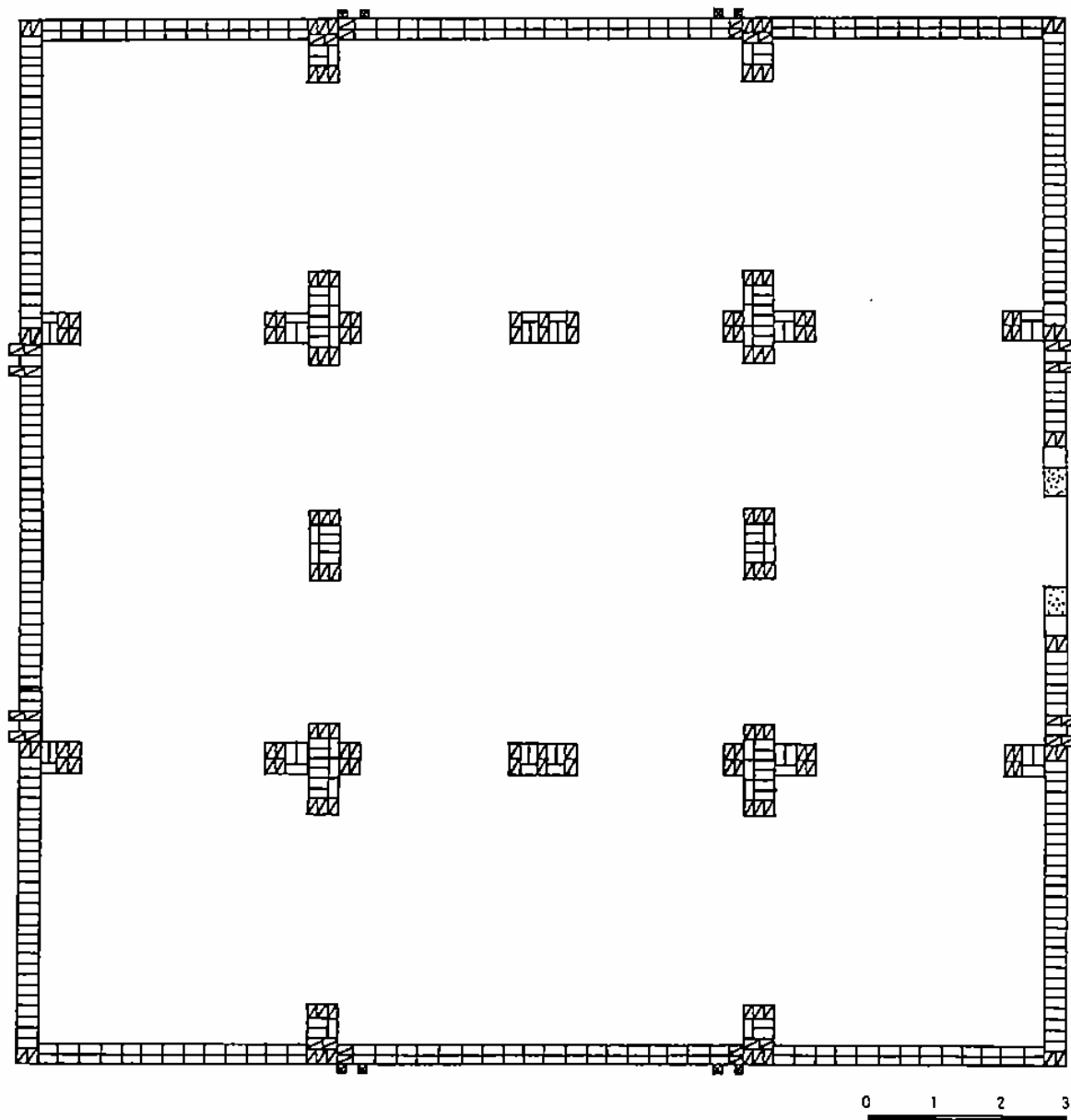


Fig. 321 : Calepinage de l'appareillage des murs et des piliers d'arcs et coupoles, pour les assises impaires.

ASSISES DU PILIER

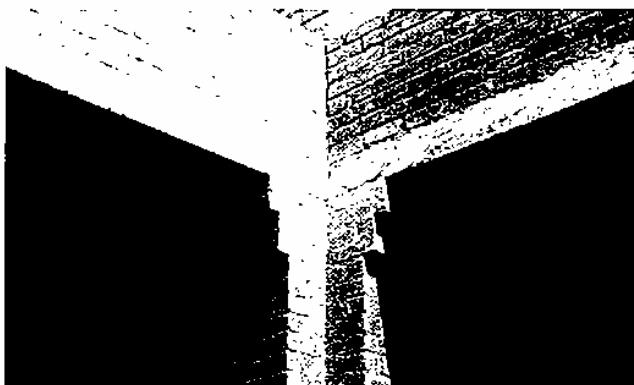


Fig. 322 : Vue sur un des piliers d'angle, côté cour intérieure.

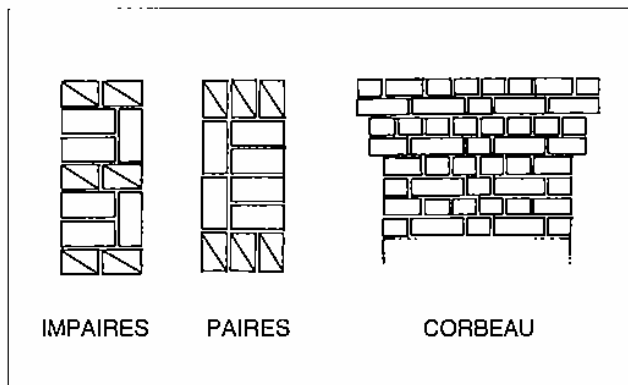


Fig. 323 a : Appareillage du pilier et du corbeau (façade cour).

PAVILLON D'EXPOSITION EN ARABIE SAOUDITE

CALEPINAGE DU PLAN : ASSISES PAIRES DE BLOCS

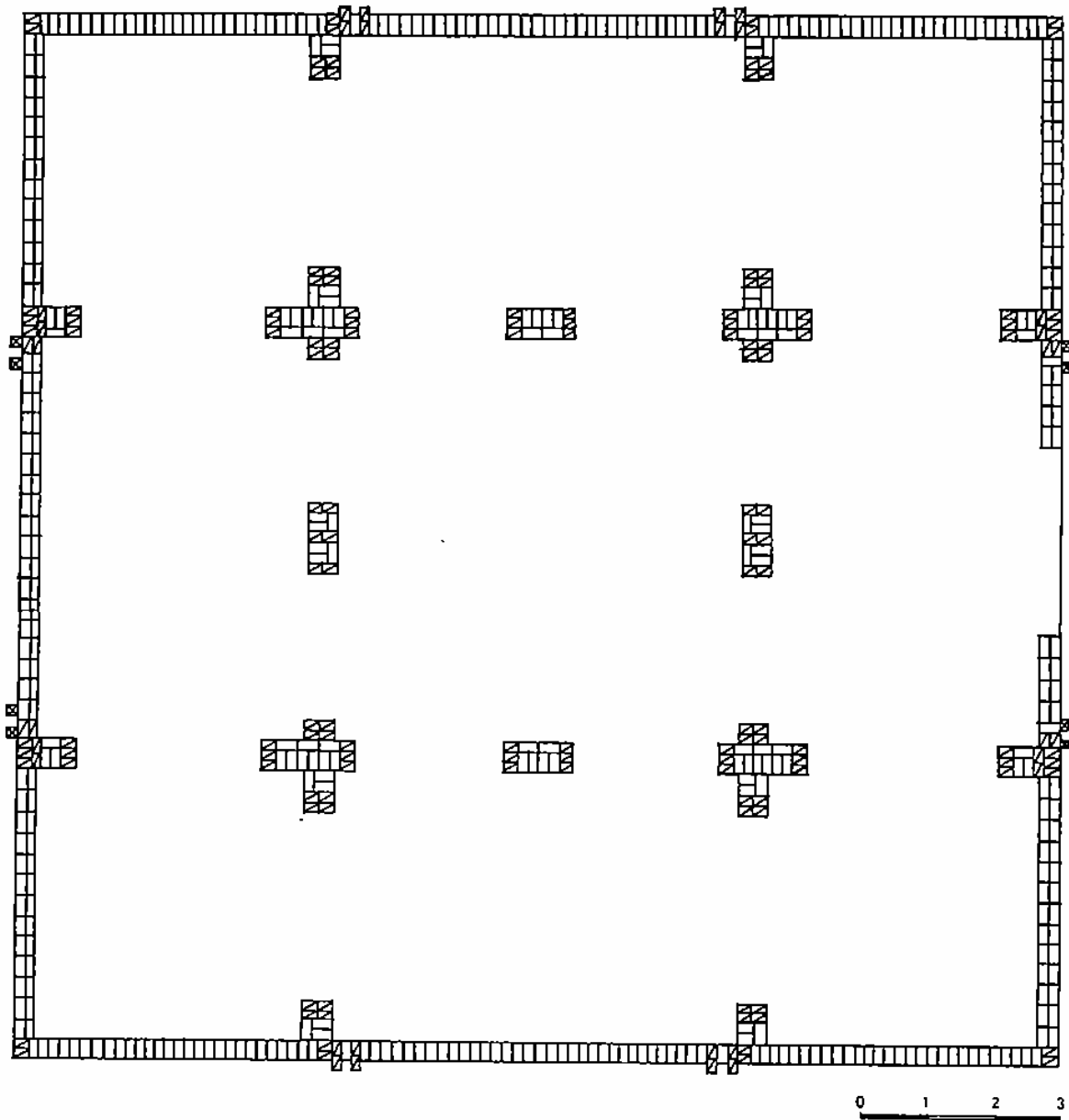


Fig. 324 : Calepinage de l'appareillage des murs et piliers d'arcs et de coupôles pour les assises paires.

ASSISES

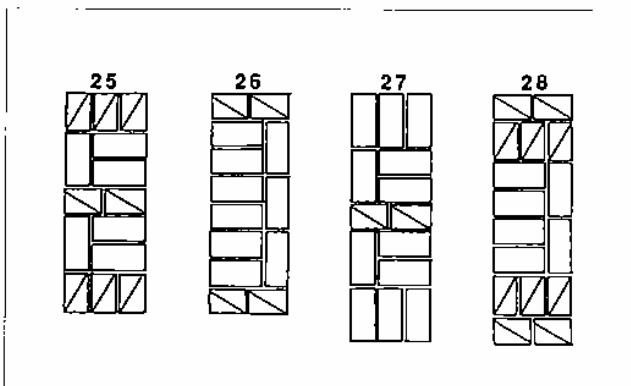


Fig. 323 : Appareillage des piliers et corbeaux.

Les piliers massifs de 45 cm d'épaisseur et de 1,07 m de largeur qui soutiennent les poutres linteaux en béton au centre de chaque façade intérieure de la cour, sont élevés en 24 assises de blocs, portant leur hauteur à 2,64 m. L'appareillage adopte le principe de la pose en boutisse et panneresse, en symétrie opposée d'assise à assise et utilise les blocs 3/4 pour les parements de côté des piliers. L'appareillage des corbeaux, au-dessus des piliers, en quatre assises (25 à 28) utilise le même principe avec davantage de blocs 3/4 pour le dernier rang, le plus large, sous la poutre de béton.

Fig. 323 b : Appareillage du corbeau.

ARCHITECTURE DE BATIMENTS PUBLICS

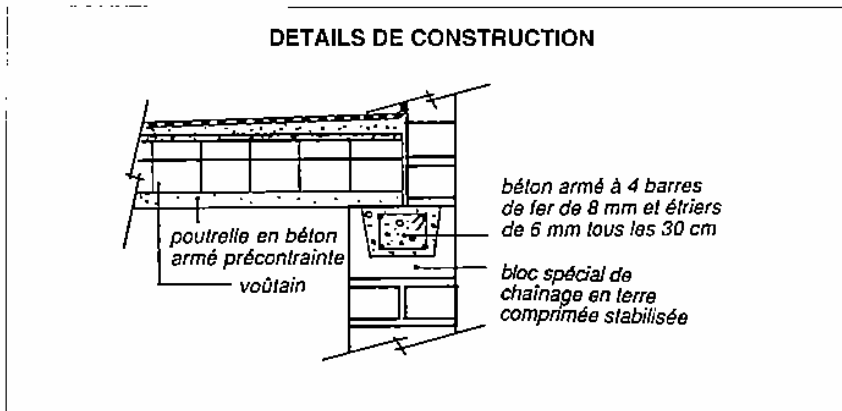


Fig. 325 : Détail de conception du chaînage.

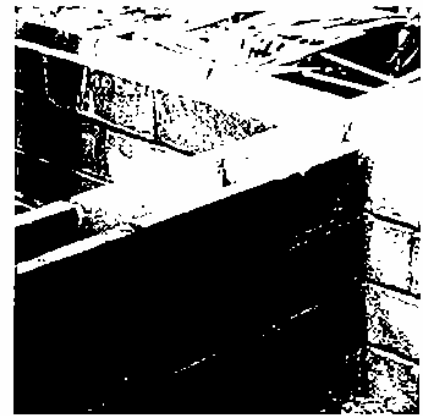


Fig. 328 : Blocs spéciaux de chaînage à gorge.

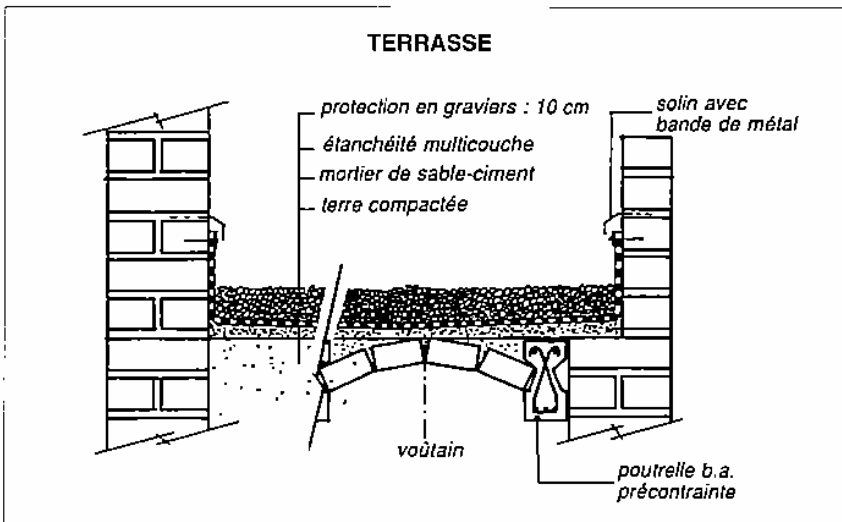


Fig. 326 : Détail d'étanchéité des toitures plates.

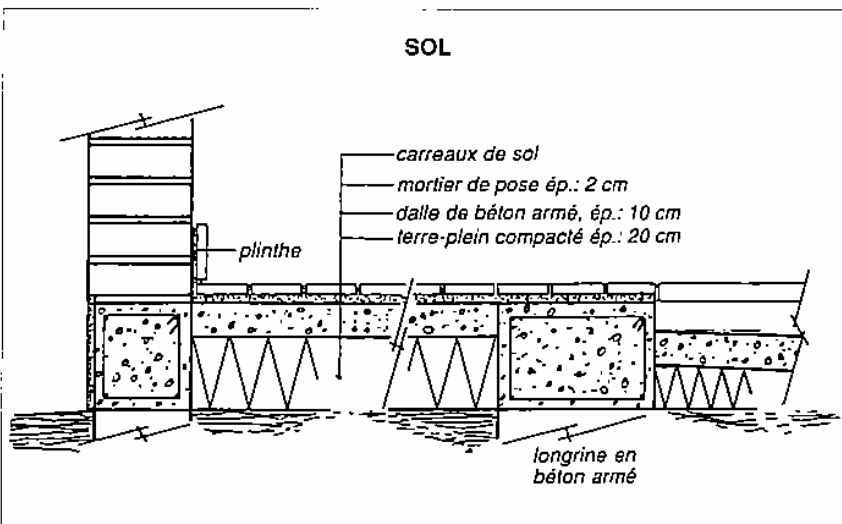


Fig. 327 : Détail d'exécution des fondations.

Chaînage

La conception du système de toiture en entrevous pour les toitures terrasses plates et en coupôles aux quatre angles du bâtiment, lourdement chargées de terre compactée stabilisée, induit des poussées sur les murs et oblige à réaliser un chaînage. Cela pour pallier tout risque de fissuration structurale et diriger la descente des charges et poussées dans les murs, verticalement. Des blocs spéciaux de chaînage ont été réalisés, à gorge longitudinale permettant d'inclure un chaînage classique en béton armé à deux nappes de fers de 8 mm de diamètre et étriers en fers de 6 mm tous les 30 cm.

Etanchéité des toitures

Elle est réalisée classiquement en terre damée stabilisée suivie d'une couche de mortier de ciment, d'un feutre bitumeux et du gravier roulé. Les reins des coupôles ont été comblés jusqu'à ramener la surface de la toiture à l'arase de leur sommet pour recevoir le même complexe d'étanchéité.



Fig. 329 : Détail de l'étanchéité multicouche.

PAVILLON D'EXPOSITION EN ARABIE SAOUDITE

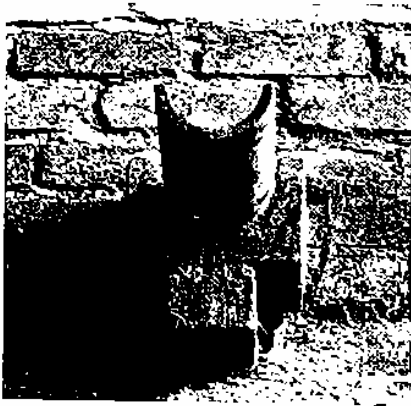


Fig. 330 : Gargouille sur corbeau, en façade.

Evacuation de l'eau

Les toitures en terrasses et en voûtes ou coupôles posent le problème majeur du bon drainage et de l'évacuation des eaux de pluie. Afin d'assurer cette bonne évacuation, le principe adopté consistait à remplir le volume libre, entre les reins des coupôles et les murs, en terre compactée, jusqu'à constituer un nivellement plat à l'arase du sommet des coupôles. Des gargouilles ont été posées pour chacun des systèmes de toiture traités séparément.

Le rejet de l'eau au-delà du mur extérieur est assuré par la grande taille des gargouilles et par leur positionnement sur un corbeau, en façade, avec une solution de bloc spécial épousant la courbure des gargouilles, qui améliore leur stabilité et allonge d'autant leur longueur. Un soin tout particulier a été apporté au recouvrement d'étanchéité des gargouilles, en parement intérieur, côté toiture, avec une protection multicouche et au mortier de sable-ciment.



Fig. 331 : Merlons aux angles du bâtiment.

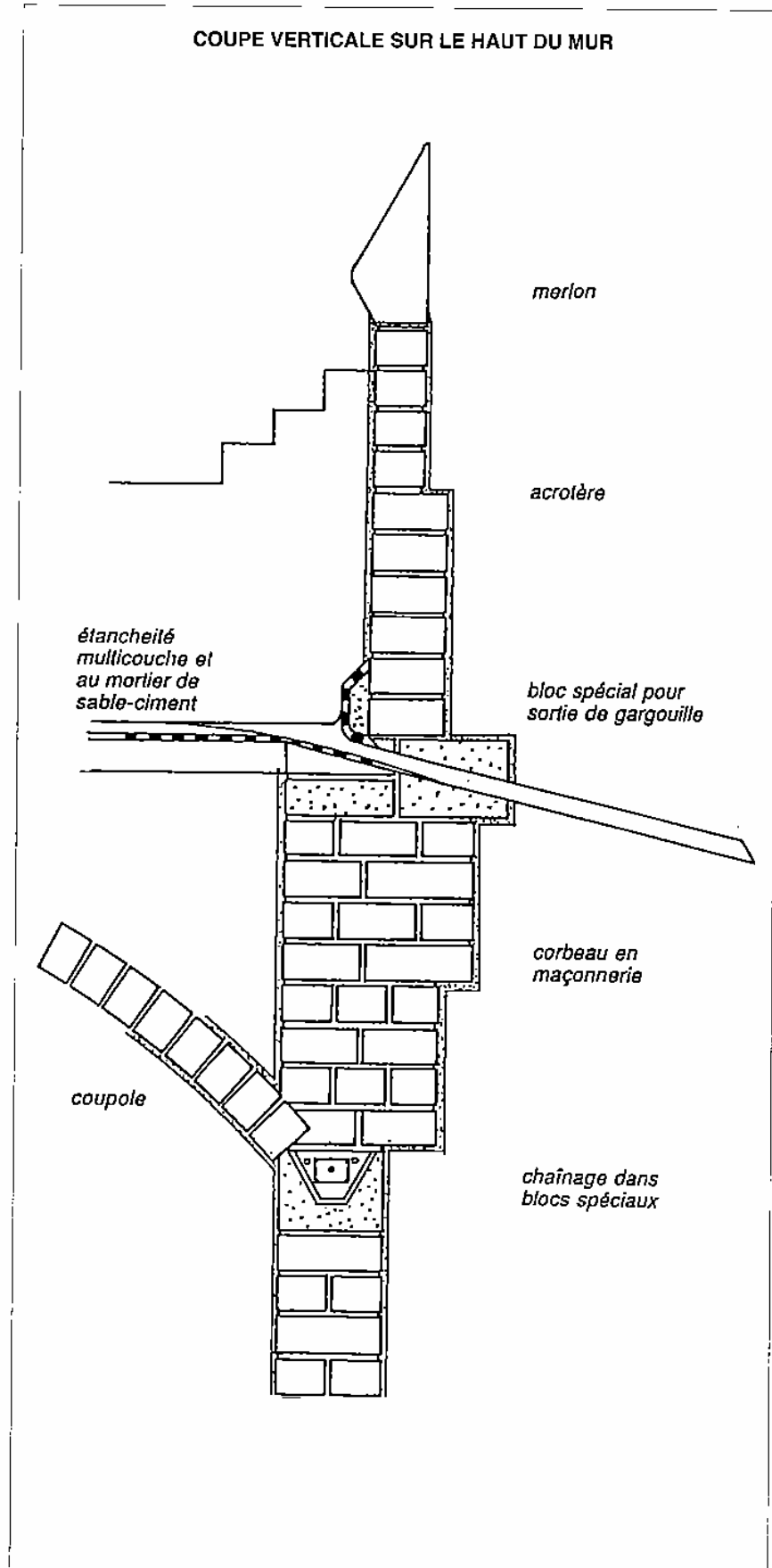


Fig. 332 : Coupe verticale sur le mur extérieur du chaînage au merlon.

ARCHITECTURE DE BATIMENTS PUBLICS

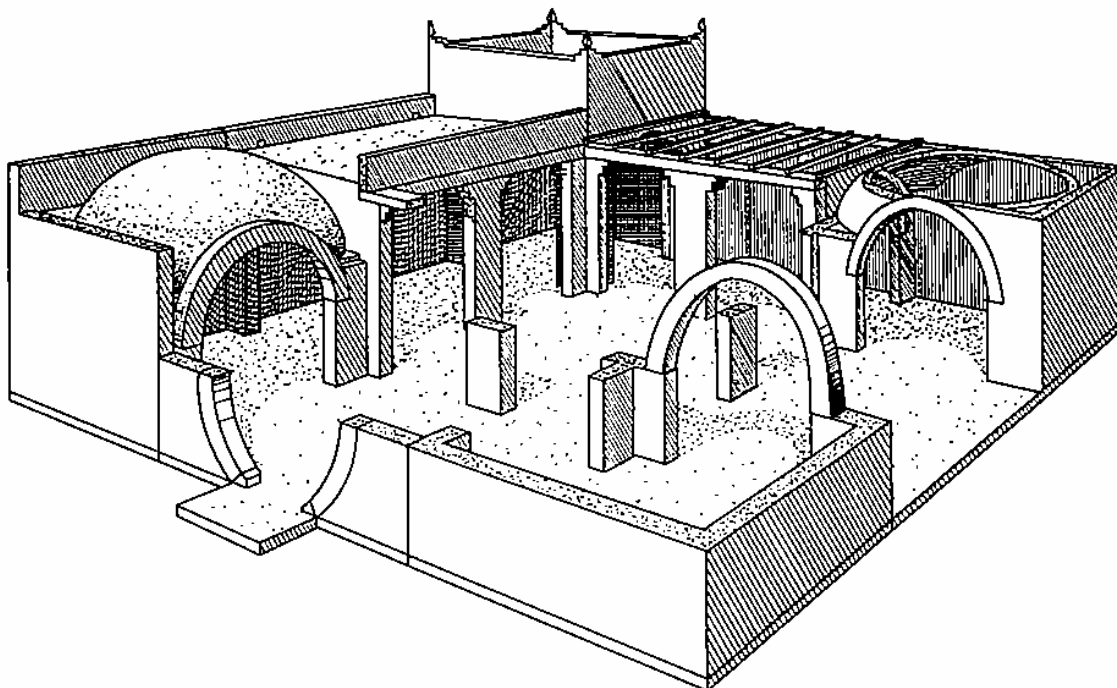


Fig. 333 : Perspective "éclatée" de la structure de maçonnerie du pavillon.

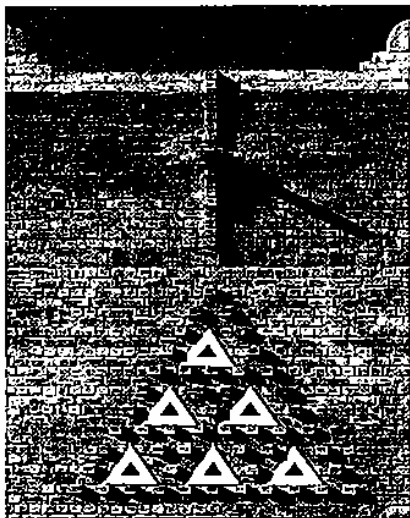


Fig. 334 : Détail de la façade principale.

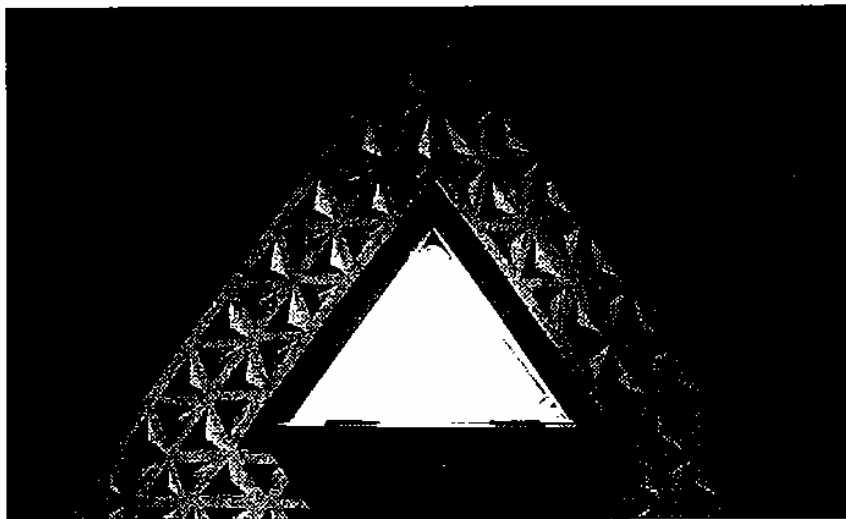


Fig. 335 : Fenestrons de ventilation en parement extérieur.

Fig. 334, 335 et 336.

La conception du système de ventilation naturelle s'est inspirée directement de solutions traditionnelles et a également pris en compte l'aspect esthétique de la finition. Les petits fenestrons triangulaires ménagés en façade principale ainsi qu'un ensemble de fenestrons également triangulaires disposés sous le chaînage sur l'ensemble des autres façades, donnent un apport d'air frais et activent la convection de l'air chaud vers la cour. Tous ces fenestrons sont traités en façade avec un enduisage de leurs tableaux, au plâtre avec des motifs traditionnels. On observera que ce système de ventilation s'est avéré très efficace durant la période d'exposition accueillant un public nombreux.

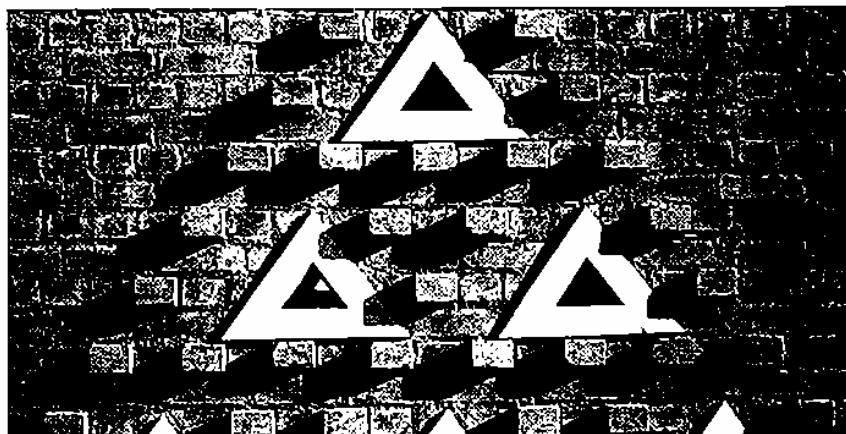


Fig. 336 : Fenestrons de ventilation en parement intérieur avec tissu "humide".

PAVILLON D'EXPOSITION EN ARABIE SAOUDITE

Les finitions du bâtiment

Les finitions du pavillon d'exposition ont été particulièrement soignées. L'éclairage a conjugué l'éclairage artificiel des spots placés sous les entrevous et aux corbeaux de départ des pendentifs de chacune des coupôles avec l'éclairage naturel venant du patio intérieur. Des bandeaux peints de motifs traditionnels inspirés du décor des habitats de l'ancienne cité de Diraiyah (située à 15 km au nord de Riyad) ainsi que le décor des fenestrons triangulaires de ventilation ont apporté une touche traditionnelle, sans excès. Enfin, le grand portail circulaire de l'entrée principale du pavillon a, lui aussi, été richement décoré de motifs géométriques multicolores, en forme d'arabesques, réalisés dans la grande tradition du décor peint saoudien. Cet ouvrage de grande qualité a été réalisé par l'artiste saoudien Ali Al Rezeza qui a également apporté sa contribution à la sculpture de moulages en plâtre disposés autour du portail d'entrée.

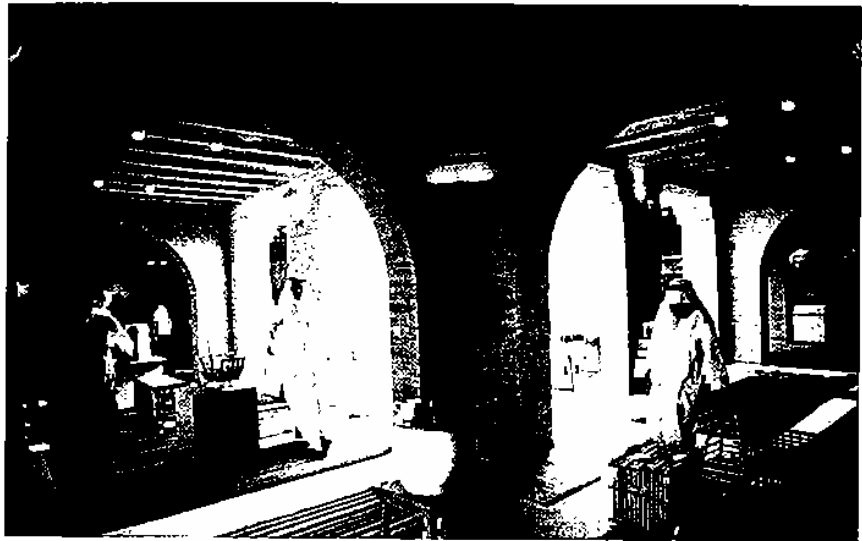


Fig. 337 : Vue des galeries d'exposition à partir de l'une des coupôles.

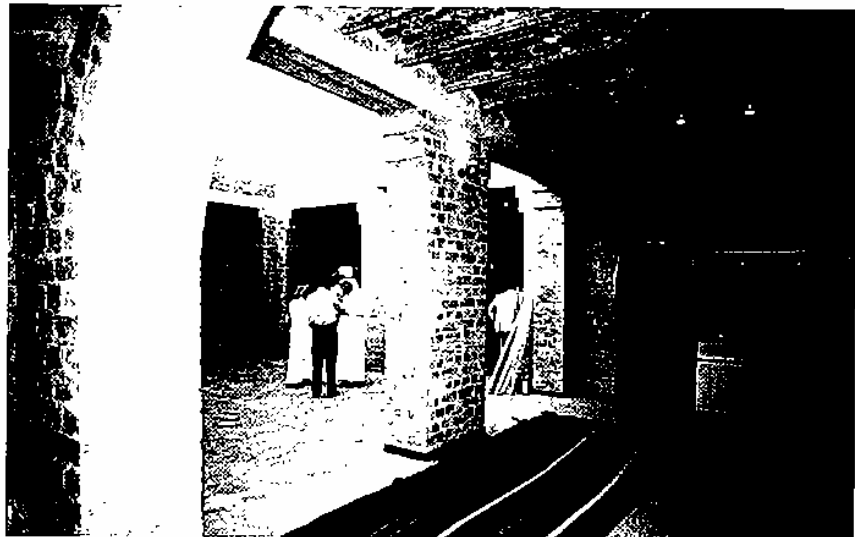


Fig. 338 : Vue des galeries d'exposition à partir de l'une des coupôles.

L'exposition et son impact

Des produits de l'artisanat traditionnel de la région de Jubail et de Yanbu (tissages, poteries, cuirs, outils, armes), d'époques diverses, ont été rassemblés durant la construction du pavillon puis exposés, accompagnés de photographies traitant de l'histoire des deux villes. Une section spéciale de l'exposition, consacrée à l'histoire de la construction du pavillon, a particulièrement intéressé le public. Celui-ci est venu très nombreux, confirmant le bon impact de cette opération de démonstration à caractère culturel et technologique.

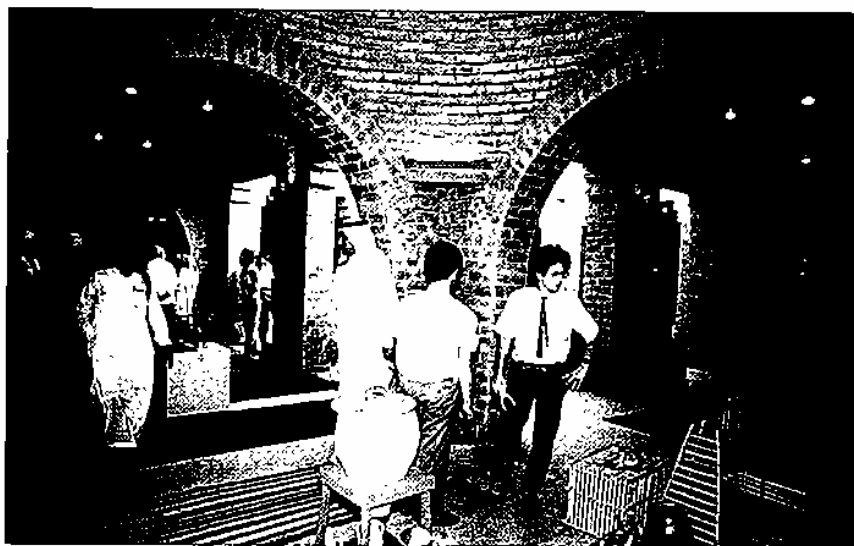


Fig. 339 : Vue des galeries d'exposition à partir de l'une des coupôles.

BIBLIOGRAPHIE

DOCUMENTS SUR LES BLOCS DE TERRE COMPRIMÉE

Bloc de terre comprimée : éléments de base. CRATerre-EAG, Aus der Arbeit von GATE, Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH, Eschborn, Allemagne, 1991.

Bloc de terre comprimée : équipement de production. CRATerre (Houben H., Rigassi V., Garnier Ph.), CRATerre-EAG, Villefontaine, France, CDI-Centre pour le Développement Industriel, Bruxelles, Belgique, 1994.

Blocs de Terre Comprimée : Manuel de Conception et de Construction. CRATerre-EAG, MISEREOR, Aus der Arbeit von GATE, Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH, Eschborn, Allemagne, 1993.

Product Information : Soil Blocks Presses. Mukerji K., CRATerre-EAG, Aus der Arbeit von GATE, Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH, Eschborn, Allemagne, 1988.

Product Information : Soil Preparation Equipment. K. Mukerji, H. Wörner, CRATerre-EAG, Aus der Arbeit von GATE, Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH, Eschborn, Allemagne, 1991.

Product Information : Stabilizers and Mortars. CRATerre-EAG, Mukerji K., Aus der Arbeit von GATE, Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH, Eschborn, Allemagne, 1993.

Recommandations pour la conception et l'exécution de bâtiments en géobéton. J. Simonnet, LBTP, Abidjan, Côte-d'Ivoire, 1979.

Small Scale Manufacture of Stabilized Soil Bricks. R.G. Smith, D.T.J. Webb, Technical Memorandum N° 12, Bureau International du Travail, Genève, Suisse, 1987.

Stabilized Soil Blocks for Building. M.G. Lunt ; Overseas Building Note N° 184, Building Research Establishment, Garston, 1980.

AUTRES DOCUMENTS UTILES

Building with Earth, A Handbook. J. Norton, IT Publications, Londres, Royaume Uni, 1986.

Construire en terre. CRATerre-EAG (P. Doat, A. Hays, H. Houben, S. Matuk, F. Vitoux) éditions Alternatives, Paris, France, 1985.

Earth Building Materials and Techniques : Select Bibliography. CRATerre-EAG, Aus der Arbeit von GATE, Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH, Eschborn, Allemagne, 1991.

Modernité de l'architecture de terre en Afrique. Réalisations des années 80. CRATerre-EAG (H. Guillaud), Grenoble, France, 1989.

Recommandations pour la conception des bâtiments du quartier en terre de L'Isle d'Abeau. CRATerre-EAG (D. Belmans, M. Dayre, P. Doat, H. Guillaud, H. Houben) ; groupe pisé (G. Balas, L. Barthoux, J. Bourgin, G. Buet, P. Decousus, D. Esclatine, P. Landry, Ch. Mégard, H. Pénicaud), AGRA, Plan Construction, Paris, France, 1982.

Traité de construction en terre, L'encyclopédie de la construction en terre. CRATerre-EAG (H. Houben, H. Guillaud), Vol 1, éditions Parenthèses, Marseille, France, 1989.

Un Service de conseil sur la construction en terre

Le Service de conseil sur la construction en terre (EAS) fait partie d'un service de conseil et d'information sur les matériaux et technologies de construction, plus connu comme BASIN (Réseau d'information, documentation et conseil en bâtiment) qui est animé conjointement par quatre institutions européennes (GATE, ITDG, SKAT et CRATerre-EAG).

EAS est assuré par CRATerre-EAG (Centre international de la construction en terre - école d'architecture de Grenoble) qui a une grande expérience dans la production et l'utilisation des matériaux de construction à base de terre.

EAS entretient une base de données sur les documents, technologies, équipements, institutions et consultants, ainsi que sur les projets et programmes concernant la construction en terre. Cette base de données est utilisée pour répondre aux demandes de renseignements et fournir les bases de guides techniques et publications sur ce sujet.

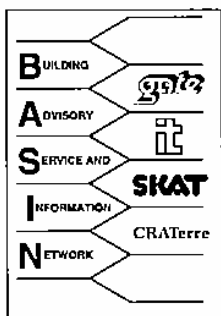
Au sein de BASIN, CRATerre-EAG organise des cours spécifiques sur la construction en terre. EAS mène des programmes de recherche et développement dans le domaine des matériaux de construction et leur application. Les activités comprennent aussi la gestion et l'évaluation de projet.

Pour plus d'informations, contactez :

CRATerre-EAG
Service de conseil sur la construction en terre (EAS)
Maison Levrat
Parc Fallavier
BP 53
F-38092 Villefontaine Cedex
France

Tél. (33) 74 95 43 91
Télécopie (33) 74 95 64 21
Télex 308 658 F

Ce livre est le fruit d'un travail d'équipe, patient et méthodique, mené au sein du laboratoire de recherche CRA Terre de l'école d'architecture de Grenoble sur la technologie du bloc de terre comprimée et ses applications architecturales, au cours de quinze années de recherches scientifiques et techniques étroitement associées à l'expérimentation et au chantier ainsi qu'à l'enseignement universitaire et à la formation professionnelle. Conçu dans l'esprit d'une grande diffusion d'un savoir théorique autant que d'un savoir-faire pratique, ce livre laisse une grande place à l'illustration concrète des applications constructives et architecturales qui constituent le propos central. Il convient de mettre à la disposition d'un plus large public de décideurs de l'aménagement du territoire, d'architectes et d'ingénieurs, d'entrepreneurs et de maçons, les outils utiles et indispensables à cette application architecturale de qualité qui est la seule garante d'une homologation sociale, culturelle et politique de cette technologie. Conçu sur un mode attrayant et répondant à l'ensemble des questions concrètes que peuvent se poser les praticiens de terrain, ce livre veut être, avant tout, le vecteur de l'extension d'une confiance dans une technologie de construction encore historiquement jeune et insuffisamment connue. Il est, ici, question de construction et d'architecture dont la qualité s'évalue sur l'évidence d'une liaison transversale et quasiment organique entre le matériau, la structure, la forme et le détail architectural. Une cohérence qui doit nourrir le parcours de la pensée constructive jalonnant la conception d'un bâtiment jusqu'à sa réalisation. Mais il est aussi question, de la pertinence d'une technologie au regard des retombées économiques et sociales sur les populations locales, ce que confirment quelques-unes des monographies de projets qui sont présentées et qui attestent du soutien au développement social et économique apporté par cette technologie dans des contextes d'application aujourd'hui considérés comme des références. «Un matériau n'est pas intéressant pour ce qu'il est mais pour ce qu'il peut faire pour la société.» Cet aphorisme de John Turner reste d'une actualité flagrante et le bloc de terre comprimée a déjà confirmé, dans bien des situations, sa bonne qualité de réponse en égard à cette vocation sociale. Le lecteur de ce livre s'engage dans un parcours de praticien plus compétent et certainement utile à la société.



Deutsches Zentrum für Entwicklungstechnologien