

RAPPORT DE RECHERCHE



Maisons de ballots de paille et de mortier:
projet de démonstration



LA SCHL : AU CŒUR DE L'HABITATION

La Société canadienne d'hypothèques et de logement (SCHL) est l'organisme national responsable de l'habitation au Canada, et ce, depuis plus de 60 ans.

En collaboration avec d'autres intervenants du secteur de l'habitation, elle contribue à faire en sorte que le système canadien de logement demeure l'un des meilleurs du monde. La SCHL aide les Canadiens à accéder à un large éventail de logements durables, abordables et de qualité, favorisant ainsi la création de collectivités et de villes dynamiques et saines partout au pays.

Pour obtenir des renseignements supplémentaires, veuillez consulter le site Web de la SCHL à l'adresse suivante :
www.schl.ca

Vous pouvez aussi communiquer avec nous par téléphone, au 1-800-668-2642, ou par télécopieur, au 1-800-245-9274.

De l'extérieur du Canada : 613-748-2003 (téléphone);
613-748-2016 (télécopieur).

La Société canadienne d'hypothèques et de logement souscrit à la politique du gouvernement fédéral sur l'accès des personnes handicapées à l'information. Si vous désirez obtenir la présente publication sur des supports de substitution, composez le 1-800-668-2642.

PROJET DE DÉMONSTRATION
MAISONS DE BALLOTS DE PAILLE
ET DE MORTIER

Préparé pour la
Division de la mise en oeuvre des projets
Secteur des propositions, de la recherche et des programmes
Société canadienne d'hypothèques et de logement

par

Louis Gagné
Rubert (Québec)

Avril 1986

Directeur de projet de la SCHL : Paul Skvor

La Société canadienne d'hypothèques et de logement, l'organisme du logement du gouvernement du Canada, a pour mandat d'appliquer la Loi nationale sur l'habitation.

Cette loi a pour objet d'aider à améliorer les conditions d'habitation et de vie au Canada. C'est pourquoi la Société s'intéresse à tout ce qui concerne l'habitation, l'expansion et le développement urbains.

Aux termes de la partie V de la Loi, le gouvernement du Canada autorise la SCHL à consacrer des fonds à la recherche sur les aspects socio-économiques et techniques du logement et des domaines connexes, et à en publier et diffuser les résultats. La SCHL a donc l'obligation légale de veiller à faire largement connaître tout renseignement de nature à améliorer les conditions d'habitation et de vie.

La présente publication est l'un des nombreux moyens d'information que la SCHL produit grâce au concours du gouvernement fédéral.

AVERTISSEMENT

La Société canadienne d'hypothèques et de logement a confié à Louis Gagné cette étude en vertu de la partie V de la Loi nationale sur l'habitation. L'analyse, les interprétations et les recommandations du consultant ne reflètent pas nécessairement le point de vue de la Société ou de ses divisions ayant collaboré à l'étude et à sa publication.

TABLE DES MATIERES

A. INTRODUCTION

B. TECHNIQUE DE CONSTRUCTION DES MURS EN BALLOTS DE PAILLE ET MORTIER

1. La paille comme matériau de construction
2. Technique
 - a) Objectif
 - b) Mortiers
 - c) Ballots de paille
 - d) Outils et équipe
3. Caractéristiques
 - a) Structure
 - b) Résistance au feu
 - c) Propriétés isolantes
 - d) Humidité

C. MAISON DE CHELSEA

1. Caractéristiques
2. Structure
3. Humidité
4. Coût des matériaux et main-d'oeuvre
 - a) Ventilation du coût des matériaux
 - b) Main-d'oeuvre

D. MAISON DU LAC BERNARD (LA PÊCHE)

1. Caractéristiques
2. Structure
3. Humidité
4. Coût des matériaux et main-d'oeuvre
 - a) Ventilation du coût des matériaux
 - b) Main-d'oeuvre

E. CONCLUSIONS

1. Exemple pratique
2. Réalisations techniques et progrès à venir
 - a) Coffrages
 - b) Ballots modifiés
 - c) Crépi de béton projeté
3. Observations

A. INTRODUCTION

Ce rapport décrit la construction de deux maisons dont les murs extérieurs sont faits de ballots de paille et de mortier. Cette méthode fut d'abord employée pour la construction de ma propre maison, puis promue à cause de ses avantages, notamment le faible coût des matériaux de construction, les techniques de construction simples, les caractéristiques de résistance au feu exceptionnelles, la solidité structurale et le degré d'isolation élevé.

En 1982, la SCHL accordait, en vertu de son Programme d'encouragement à la technologie du bâtiment résidentiel, une subvention dans le but de démontrer l'application de la technique des murs porteurs en ballots de paille et mortier à la construction résidentielle. Le projet consistait notamment à ériger un mur type et à le faire mettre à l'épreuve par des consultants indépendants chargés d'en établir, selon des procédés reconnus, la résistance thermique, la capacité portante, l'infiltration d'humidité et la résistance au feu. Les résultats des essais respectaient ou dépassaient les exigences correspondantes de la construction résidentielle.

Cette technique procurera des avantages particuliers aux autochtones et aux collectivités du Nord. La possibilité d'y recourir a fait l'objet d'un examen dans le rapport intitulé A Feasibility Study of an Alternative Building Method in Native Communities. La SCHL a subventionné cette étude dans le cadre du Programme de subventions de recherche.

La construction des deux maisons décrites ici a été financée et réalisée par deux particuliers intéressés à construire leur propre maison selon la technique des ballots de paille et du mortier. La Division de la mise en oeuvre des projets de la SCHL a subventionné ma participation à la construction et à la rédaction de ce rapport.

Il vise à documenter et à décrire les techniques, les détails d'exécution, ainsi que le coût des matériaux et de la main-d'oeuvre, en vue de permettre à des tiers de juger de l'à-propos de l'emploi de cette méthode de construction. Le comportement technique de ces maisons sera soumis à des essais sur les lieux et à un contrôle à long terme.

Étant donné que cette méthode en est encore au stade expérimental, chaque nouvelle construction marque le perfectionnement des outils et des techniques. Le rapport décrit également les progrès réalisés jusqu'à ce jour.

B. TECHNIQUE DE CONSTRUCTION DES MURS EN BALLOTS DE PAILLE ET MORTIER

1. La paille comme matériau de construction

Au Canada, la paille ne constitue pas un matériau de construction courant, mais en Europe et dans la plupart des autres parties du monde, elle s'emploie depuis des millénaires. En Asie, en Afrique et en Amérique du Sud, la paille mélangée à l'argile sert à fabriquer des briques et des murs en adobe.

Des toits de chaume très élégants et très coûteux se construisent encore dans la plupart des pays européens; leur pente est d'ordinaire très prononcée, et la paille entrant dans leur composition est serrée en place avec un frappe-devant. S'ils sont bien réalisés, ces toits dureront plus de cent ans (voir figure).

2. Technique

a) Objectif

Cette technique consiste à construire une structure de béton autour des ballots de paille, à l'aide de coffrages destinés à former des joints de béton horizontaux et verticaux. La consistance épaisse du mélange de béton et de paille assure un liaisonnement avant la prise du mortier, permettant d'enlever les coffrages tout de suite après. Ce sont ces mêmes éléments, en plus de la fermeté des ballots, qui m'ont permis de monter un mur de huit pieds en une journée. Fait très important à signaler, les ballots stabilisent la structure pendant la cure, mais une fois le béton pris, ils peuvent tous être retirés sans nuire à la structure (voir figure).

Une fois les murs érigés, les ballots servent d'isolant mural et de support d'enduit.

b) Mortiers

Structure: La structure est essentiellement fabriquée de béton, soit d'un dosage de gros gravier et d'une faible proportion de chaux comparativement au ciment. La paille vient ensuite s'ajouter pour assurer le liaisonnement voulu pendant la cure du mortier.

Le mortier se compose de quatre parties de ciment pour une partie de chaux, mélangées à du gravier grossier dans une proportion de 3 pour 1. Le mélange, qui n'a besoin que d'une faible quantité d'eau pour rester épais, est ensuite saturé de paille. À noter qu'une sursaturation de paille entraîne l'agglutination, alors qu'une sous-saturation tend à faire briser les joints sur les côtés au moment du décoffrage.

Étant donné l'importance primordiale des proportions d'eau et de paille, il faut compter sur des conseils judicieux pour maintenir un dosage équilibré.

Enduit: Le crépi est constitué de sable fin tamisé mélangé à des proportions égales de chaux et de ciment dans un rapport de 3 pour 1. Sa consistance doit être onctueuse pour bien s'appliquer sur les murs.

Peinture de lait de chaux: Cette peinture, composée de trois parties de chaux pour une partie de ciment blanc, doit rester presque à l'état liquide. Il faut mouiller les murs avant de l'appliquer.

c) Ballots de paille

Je me suis servi de ballots mous et déformés pour la construction des maisons, mais les travaux s'en sont trouvés considérablement ralentis. En effet, l'emploi de ballots mous oblige à enfoncer dans la structure beaucoup plus de béton qu'il n'en faut, vu leur tendance à se contracter lorsque le béton est comprimé entre eux.

Des ballots déformés rendent le crépissage plus long et les surfaces plus difficiles à égaliser. Il est recommandé de choisir, dans la mesure du possible, des ballots de bonne qualité, bien comprimés et non déformés afin d'accélérer le travail.

Enfin, l'ajustement aux angles et aux baies de fenêtre oblige à défaire les ballots, mais la section taillée à la longueur voulue aux angles n'a pas à être ficelée puisque la structure de mortier la retient en place.

d) Outils et équipe

Voici les outils nécessaires: des pelles, une petite bétonnière, une brouette et des coffrages destinés à réaliser les joints de mortier.

Les coffrages d'angle, formés de deux éléments (500 mm/244mm) fixés perpendiculairement, se placent de niveau, contreventés aux quatre angles et reliés par une corde pour bien aligner les murs. En outre, ils servent à couler des poteaux corniers en béton structural au fur et à mesure de la construction des murs.

L'équipe idéale compte trois ouvriers, c'est-à-dire un malaxant le mortier, un autre le transportant dans la brouette et le plaçant à la pelle dans les coffrages mis en position par un troisième, qui s'occupe de la construction du mur.

3. Caractéristiques

a) Structure

La capacité portante des murs tient surtout à la structure en béton, mais également au mortier appliqué en surface. Comme l'illustre la figure , les ballots peuvent être retirés de leurs alvéoles de béton sans nuire à la structure. Les ballots et les ficelles les attachant n'influent pas sur la capacité portante des murs (voir tableau 1 et figure 2).

b) Résistance au feu

La résistance au feu du mur en ballots de paille et mortier se révèle exceptionnelle et résulte du caractère complémentaire des matériaux.

Les ballots contiennent assez d'air pour bien isoler mais, vu leur compacité, n'en contiennent pas assez pour permettre la combustion.

Chaque ballot est isolé dans son propre alvéole de mortier (béton) de sorte que le feu ne peut donc pas se propager dans les murs.

Enfin, le volume des murs leur permet d'absorber beaucoup de chaleur.

La figure illustre le mur type ayant servi aux essais de résistance au feu menés à petite échelle par la Section d'étude du feu du CNRC, et le tableau 1, tiré de son rapport, indique les résultats obtenus.

c) Propriétés isolantes

Les ballots de paille proprement dits ont une valeur de résistance thermique de R50, mais leur emploi dans une structure de béton ramène la résistance du mur à R36.

Encore une fois, le caractère complémentaire de ces deux matériaux si différents convient à leur destination. En effet, la combinaison des propriétés isolantes des ballots de paille avec la densité de la structure de mortier confère à la construction une masse thermique qui conserve la chaleur. La valeur isolante élevée des ballots minimise les pertes de chaleur, et la structure de béton massive absorbe beaucoup de chaleur et en dégage constamment. C'est le troisième hiver que je passe dans ma maison de ballots et de mortier; aussi ai-je souvent été témoin de ce phénomène.

Un poêle à bois ordinaire à combustion rapide assure le chauffage de ma maison. Aussi, les grandes fenêtres, peu étanches, accélèrent le renouvellement d'air. Le matin au lever, le feu est éteint depuis déjà cinq heures, et s'il vente et fait froid en hiver, la température intérieure se situe à environ 16 °C. Malgré l'air froid à l'intérieur, je ne le ressens pas parce que les murs ont absorbé de la chaleur.

Par contre, pendant une absence de deux à trois jours, je laisse une seule plinthe de 1 2000 W chauffer toute la maison. Par temps très froid, la température à l'intérieur restera à environ 16 °C. Toutefois, après ce temps, les murs auront dégagé la chaleur absorbée et seront à la même température que l'air ambiant. À mon retour, je peux élever la température rapidement à 28 °C avec mon poêle à bois, mais j'ai toujours l'impression d'avoir froid parce que les murs sont toujours à 16 °C. Je ne réussis à réchauffer la maison qu'au bout de deux jours.

Alors ce genre de mur conserve l'énergie absorbée, mais met un certain temps à la récupérer s'il la perd.

d) Humidité

Les relevés d'humidité ont eu lieu il y a environ trois ans. L'humidité relative se situait en moyenne à 13 p. 100, teneur très faible pour un mur puisque l'humidité dans une maison voisine les 35 p. 100.

L'hiver dernier, la SCHL a encore vérifié la teneur en humidité des murs. Elle a fait installer des sondes dans le mur nord-ouest, le mur est et la salle de bain. Sur les neuf sondes, seulement deux, placées au bas vis-à-vis la semelle, ont enregistré la présence d'humidité, soit 11 et 8 p. 100.

Ces tests, effectués à intervalle de trois ans, démontrent clairement la tendance des murs à s'assécher et à rester secs.

RECOMMANDATIONS

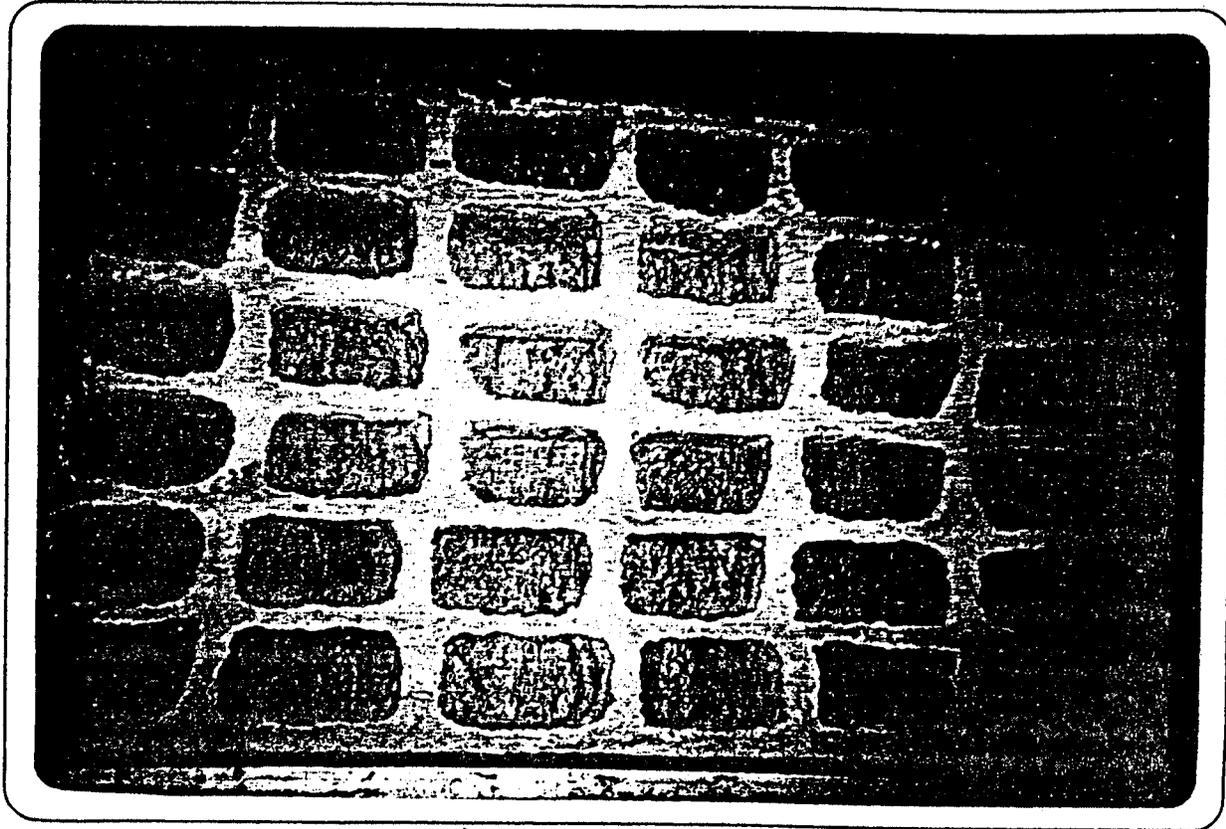
Pour contrer les méfaits de l'humidité dans les murs, il faut prendre certaines précautions. Les recommandations suivantes découlent des problèmes survenus pendant la construction des maisons, qui seront exposés un peu plus loin dans le rapport.

- 1) Dans le cas de murs de sous-sol en ballots de paille et mortier, il faut faire en sorte que les ballots soient tout à fait secs puisque leur état ne se modifiera pas une fois les murs enduits de crépi.
- 2) Il vaut mieux construire le toit avant d'appliquer les couches de mortier à la surface des murs afin de protéger les ballots contre la pluie, sinon les murs s'assécheront beaucoup plus lentement après la projection d'enduit.



B.1

Le toit à pente raide de cette élégante demeure de Normandie, en France, est fait de paille (chaume) très comprimée.



B.2

Les ballots ont été retirés de ce mur prototype.

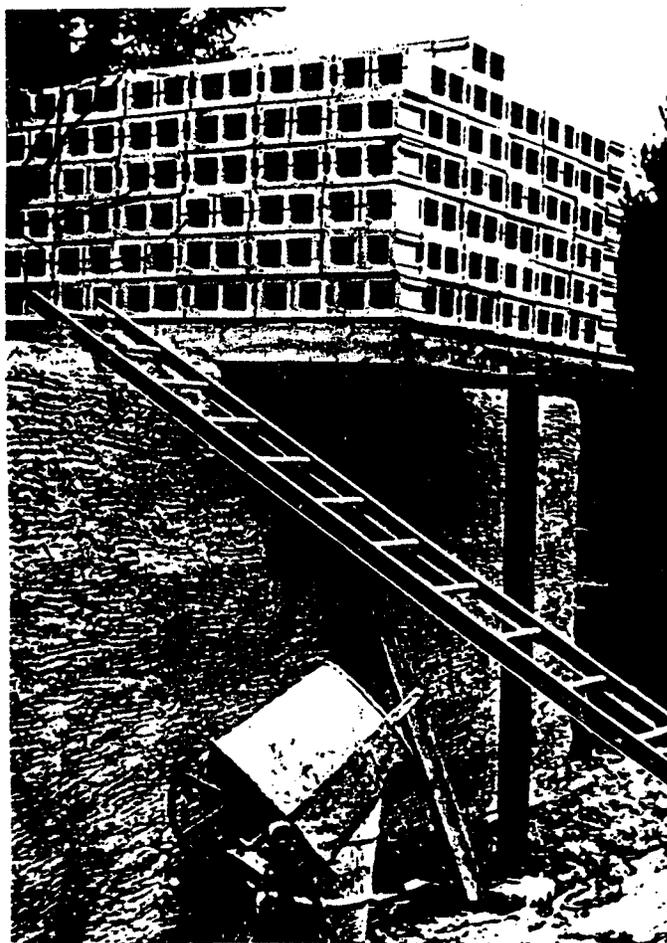
La structure massive du mur apparaît clairement et son irrégularité due à la forme des ballots ne nuit aucunement à la solidité de l'ensemble.

Scanada

TABLEAU I

ESSAI	CHARGE				FLÉCHISSEMENT	
	EN COMPRESSION		TRANSVERSALE		VERTICAL	HORIZONTAL
	Nombre de blocs de cendre	Charge équiv. (kN)	Nombre de blocs de cendre	Charge équiv. (kN)		
1	82	14.48	3	0.53	0	0
2	164	28.96	6	1.06	0	0
3	246	43.44	9	1.59	0	0
4	328	57.92	14	2.12	0	0
5	428	79.11	18	3.19	0	0
Une fois la charge enlevée	0	0	0	0	0	0

Figure 3 Plate-forme pleinement chargée



Échange de chaleur

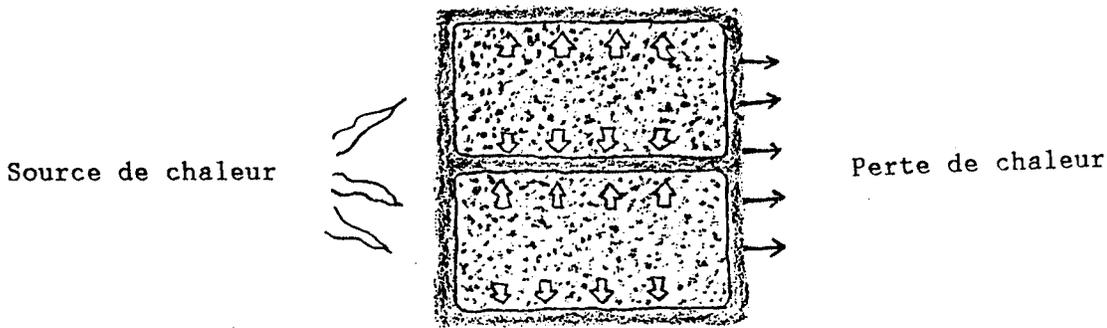


Diagramme - En raison de leur faible résistance à la chaleur, les joints de mortier favorisent l'échange et l'absorption thermiques entre les ballots.

Pendant l'essai de résistance au feu, les thermocouples reliés à la section de mur type n'indiquaient que de minimes écarts dans le mouvement de la chaleur à travers les ballots et les joints de mortier. C'est donc dire que la chaleur est répartie uniformément à l'intérieur du mur.

Figure B.4 Mur type avec thermocouples soumis à l'essai de résistance au feu

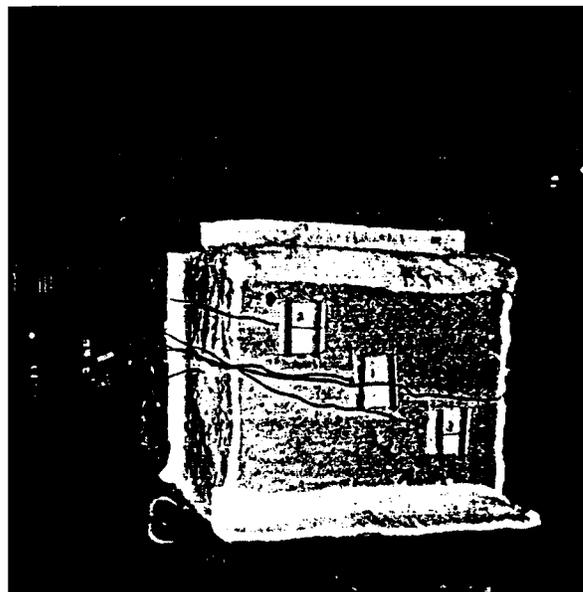


TABLEAU II

Temps (minutes)	Température du four (°C)		Température du prototype (°C)			
	Température du four moyenne	Température du four prescrite	Côté dissimulé			Moyenne
			TC 1	TC 2	TC 3	
0	20.2	20.0	24.6	24.1	23.7	24.1
5	433.8	538.0	24.6	24.2	23.8	24.2
10	672.5	704.0	24.7	24.2	24.0	24.3
15	738.0	759.0	24.7	24.2	23.7	24.2
20	786.1	794.0	24.6	24.2	23.6	24.1
25	804.9	821.0	24.6	24.1	23.5	24.1
30	831.0	843.0	24.5	24.0	23.5	24.0
35	858.8	862.0	24.3	23.8	23.3	23.8
40	863.1	878.0	24.2	23.7	23.2	23.7
45	892.4	892.0	24.3	23.8	23.3	23.8
50	894.2	905.0	24.2	23.8	23.2	23.8
55	911.8	916.0	24.2	23.8	23.2	23.8
60	917.5	927.0	24.3	24.1	23.3	23.9
65	931.6	937.0	24.5	24.5	23.6	24.2
70	935.3	946.0	24.6	24.8	23.7	24.4
75	947.0	954.0	25.0	25.6	24.3	25.0
80	957.7	963.0	25.5	27.1	24.9	25.8
85	966.1	971.0	26.2	29.1	25.9	27.1
90	973.3	978.0	27.3	31.7	28.8	29.3
95	981.0	984.0	29.0	35.1	33.7	32.6
100	987.6	991.0	30.7	38.5	39.4	36.2
105	994.7	997.0	32.1	42.1	44.6	39.6
110	1 000.5	1 002.0	33.7	45.6	49.2	42.8
115	1 005.8	1 006.0	35.1	48.7	52.8	45.5
120	1 010.0	1 010.0	36.5	51.6	55.8	48.0
130	1 017.7	1 017.0	39.1	56.5	55.8	48.0
140	1 025.7	1 024.0	41.5	60.1	62.2	54.6
150	1 034.3	1 031.0	43.7	62.6	63.7	56.7
160	1 042.7	1 038.0	45.7	64.3	64.5	58.2
170	1 057.5	1 044.0	47.8	66.1	65.3	59.7
180	1 056.7	1 046.0	49.9	66.8	65.3	60.7
190	1 068.0	1 059.0	51.7	67.2	65.3	61.4
200	1 075.1	1 066.0	53.3	67.5	65.2	62.0
210	1 080.1	1 072.0	55.0	67.7	65.0	62.6
220	1 086.3	1 079.0	56.6	67.7	64.7	63.0
230	1 096.0	1 087.0	58.1	67.6	64.5	63.4
240	1 102.8	1 093.0	59.2	67.5	64.0	63.6

C. MAISON DE CHELSEA

1. Caractéristiques

Cette maison mesure 13 208 m de longueur sur 9 550 mm de largeur. Les murs du sous-sol et du rez-de chaussée sont fabriqués de ballots de paille et de mortier, alors que l'étage se trouve aménagé dans le vide sous toit à pente prononcée.

L'aire de plancher du sous-sol et du rez-de-chaussée correspond à 111.67 m² (1 202 pi²), celle de l'étage à 69.64 m² (750 pi²), l'aire totale à 292.98 m² (3 154 pi²).

L'intérêt de cette maison réside dans ses murs de sous-sol faits de ballots de paille et de mortier. Leur surface extérieure est enduite de trois couches de mortier et d'une couche de goudron. Un réseau de drainage efficace parcourt le pourtour des semelles.

2. Structure

Lorsque la construction, mise en chantier en octobre 1984, fut interrompue à la mi-novembre, le sous-sol et le plancher du rez-de-chaussée étaient en place. Les parois intérieures n'étaient pas encore enduites de crépi, mais l'extérieur l'était jusqu'à environ deux pieds au-dessus du niveau du sol, la couche de goudron se prolongeant par contre jusqu'au niveau du sol. Le reste des ballots fut entreposé au sous-sol près des murs, puis les quatre fenêtres posées.

Pendant l'hiver, aucune difficulté n'est survenue et le maître d'ouvrage s'est montré surpris de constater que la température du sous-sol se maintenait constamment au-dessus du point de congélation. Même au cours des journées les plus froides, il devait enlever son chapeau et son manteau à l'intérieur vu que la valeur isolante des murs et de la neige sur le plancher emprisonnait la chaleur du sol.

Cet exemple démontre bien l'économie d'énergie réalisable grâce à des murs de sous-sol en ballots de paille et mortier.

Autre fait intéressant à signaler, le sous-sol a été construit en sol argileux, donc susceptible de donner lieu à des mouvements des plus hasardeux, mais même sans chauffage, rien n'a bougé ni ne s'est fissuré.

3. Humidité

Malgré ma recommandation de poser le contreplaqué en saillie sur les murs et d'employer du papier goudronné collé aux joints pour sceller le plancher pendant l'hiver, le maître d'ouvrage tenait à envelopper de plastique les murs et le plancher et à laisser un pouce entre la face intérieure des murs et le contreplaqué. Il comptait ainsi empêcher l'eau de s'infiltrer au sous-sol et dans les murs.

Au printemps, nous nous sommes rendu compte que, malgré le plastique, l'eau s'était infiltrée au sous-sol. L'eau avait dégoutté partout à l'intérieur, mais s'était surtout infiltrée entre la face intérieure du mur et la rive du plancher. Elle était emprisonnée entre les ballots du mur et ceux placés tout contre.

Comme tout autre matériau isolant, les ballots de paille contiennent beaucoup de vides d'air et absorbent l'eau, de sorte que nous avons dû retirer du mur environ soixante-dix ballots trempés.

En enlevant les ballots, nous avons remarqué que la face extérieure du mur et la paille en contact avec celle-ci étaient sèches. L'eau n'était donc pas entrée par le mur. Les parties du mur où il n'y avait pas de ballots empilés étaient demeurées à l'état sec.

Le problème découlait manifestement du mauvais scellement du plancher et de l'emprisonnement de l'eau par les ballots entassés contre le mur.

4. Coût des matériaux et main-d'oeuvre

Il est très difficile d'établir précisément le coût total des matériaux de cette maison, surtout à cause de l'interruption des travaux pendant huit mois. Nous ne disposons de données que pour le rez-de-chaussée.

a) Ventilation du coût des matériaux

Article	Montant	Coût unitaire	Total
Ballots de paille	300	1.50 \$	450 \$
Sacs de ciment et de chaux	140	6 \$	840 \$
Chargements de sable et de pierre concassée	2	140 \$	280 \$
Coût total des matériaux			1 570 \$

b) Main d'oeuvre

Une équipe de trois hommes a mis quatre jours à bâtir les murs surmontés d'une sablière destinée à recevoir le toit.

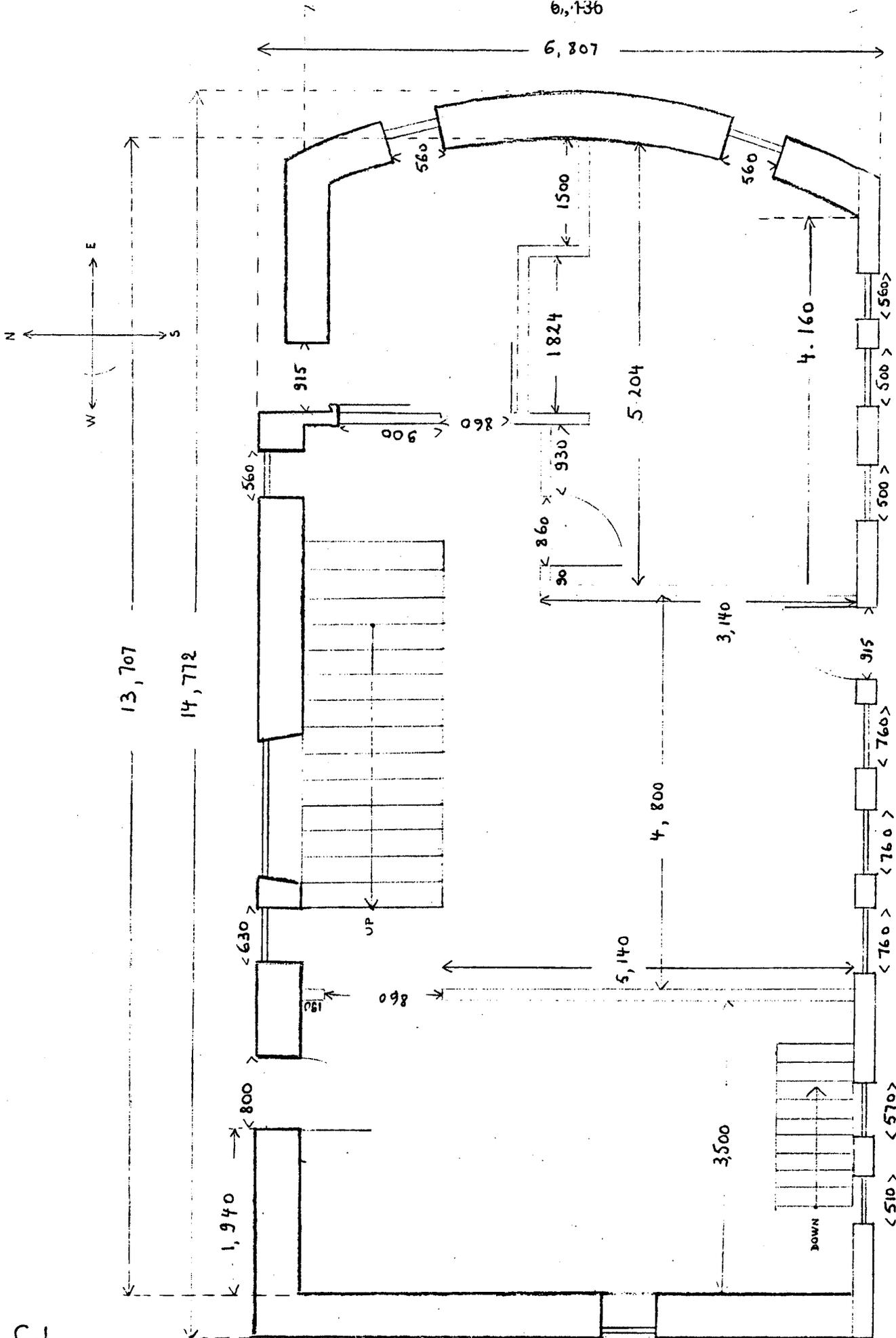
Deux hommes ont mis trois jours à appliquer l'enduit sur les murs intérieurs. En raison de la surface supérieure, la mise en oeuvre d'enduit sur les murs extérieurs a pris quatre jours, l'enduit étant appliqué à partir du niveau du sol.

Par conséquent, il a fallu sept jours de travail à deux hommes pour appliquer deux couches de mortier sur les parois intérieures et extérieures des murs.

D'ordinaire, une peinture de ciment blanc et de lait de chaux s'applique sur la deuxième couche de mortier; le maître d'ouvrage y a toutefois préféré une troisième couche de stucco blanc.

5. Plans de la maison et détails d'exécution des murs

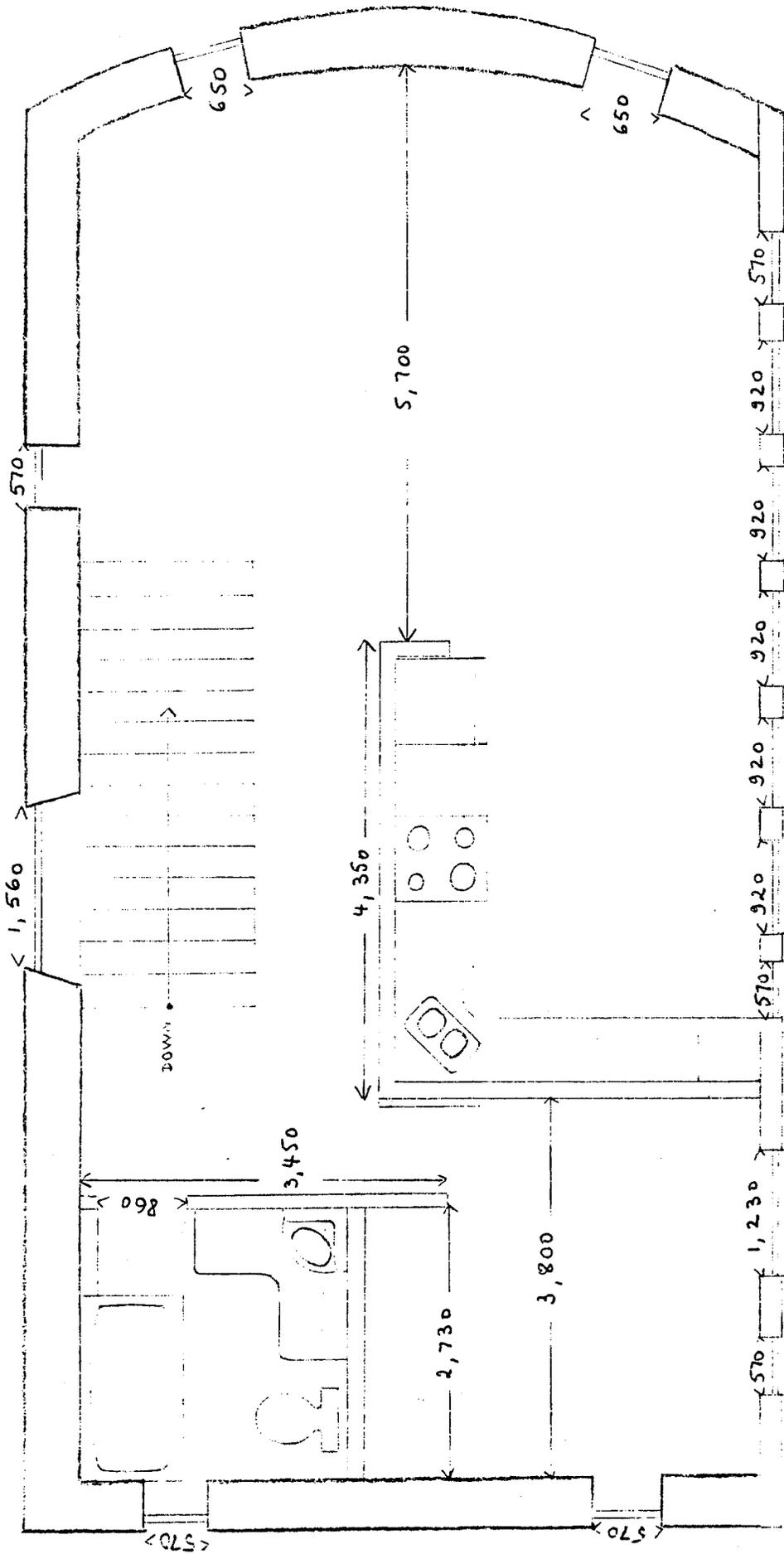
C.1.



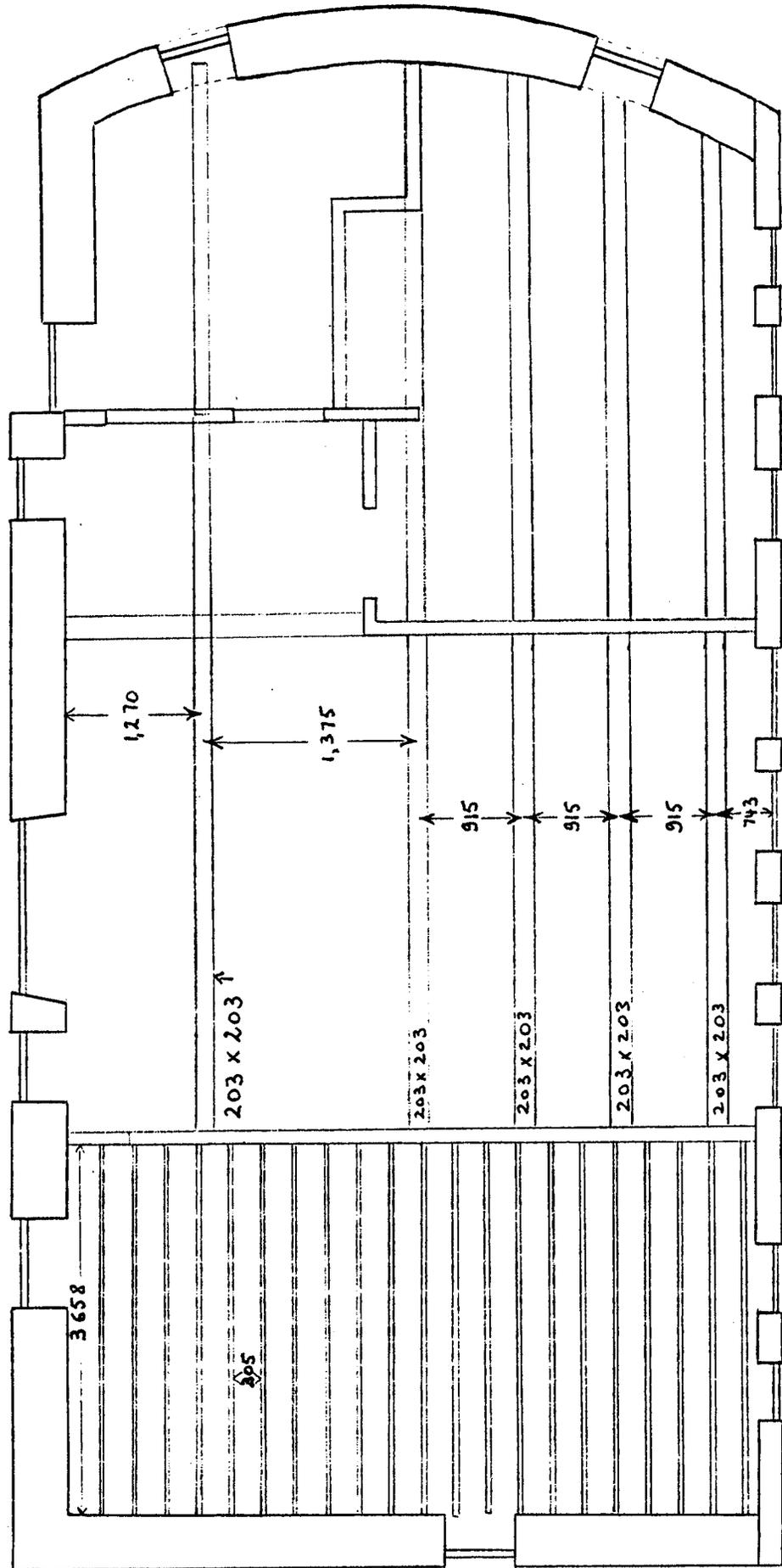
C.1

Échelle: 1/60

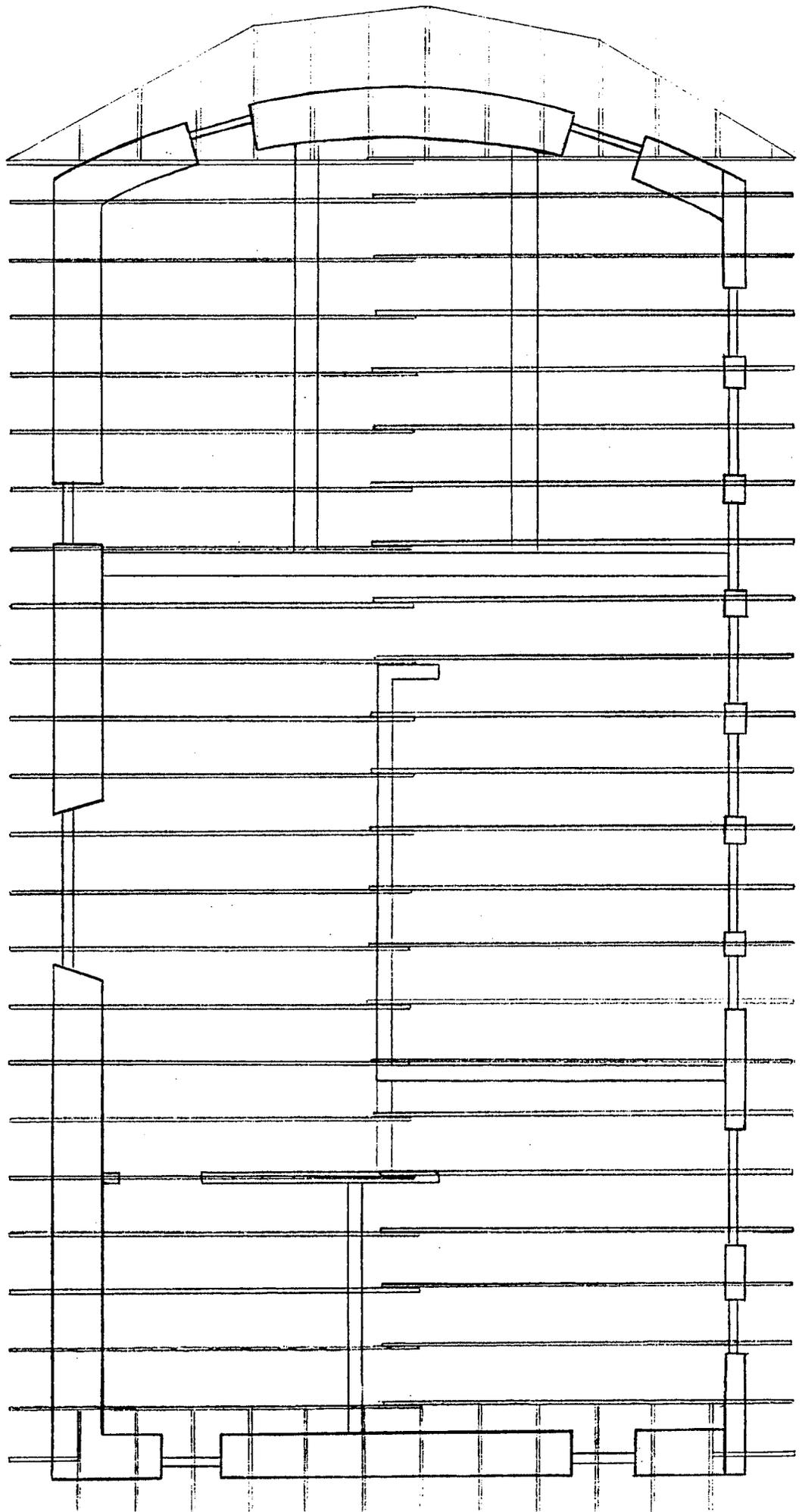
C.2



C.3

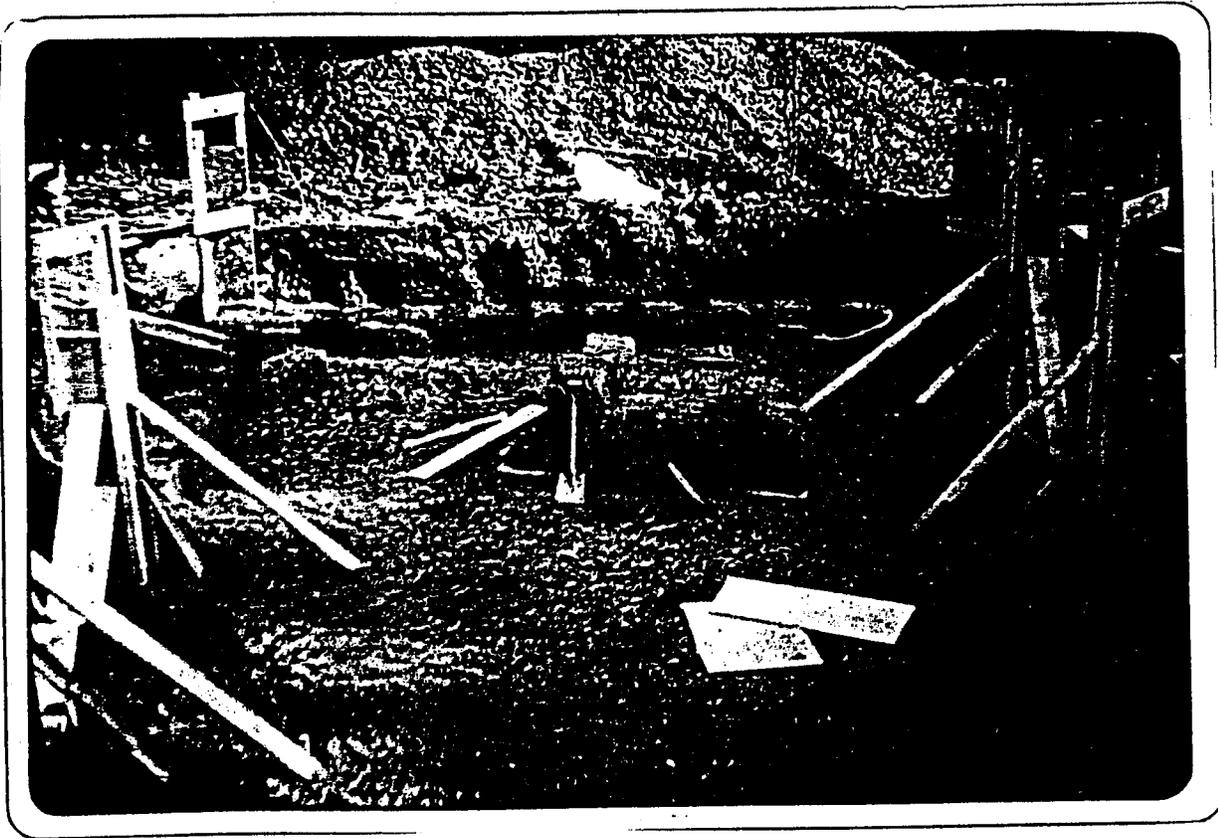


Chevron de 50.8 mm/304.8 mm à intervalle de 610 mm

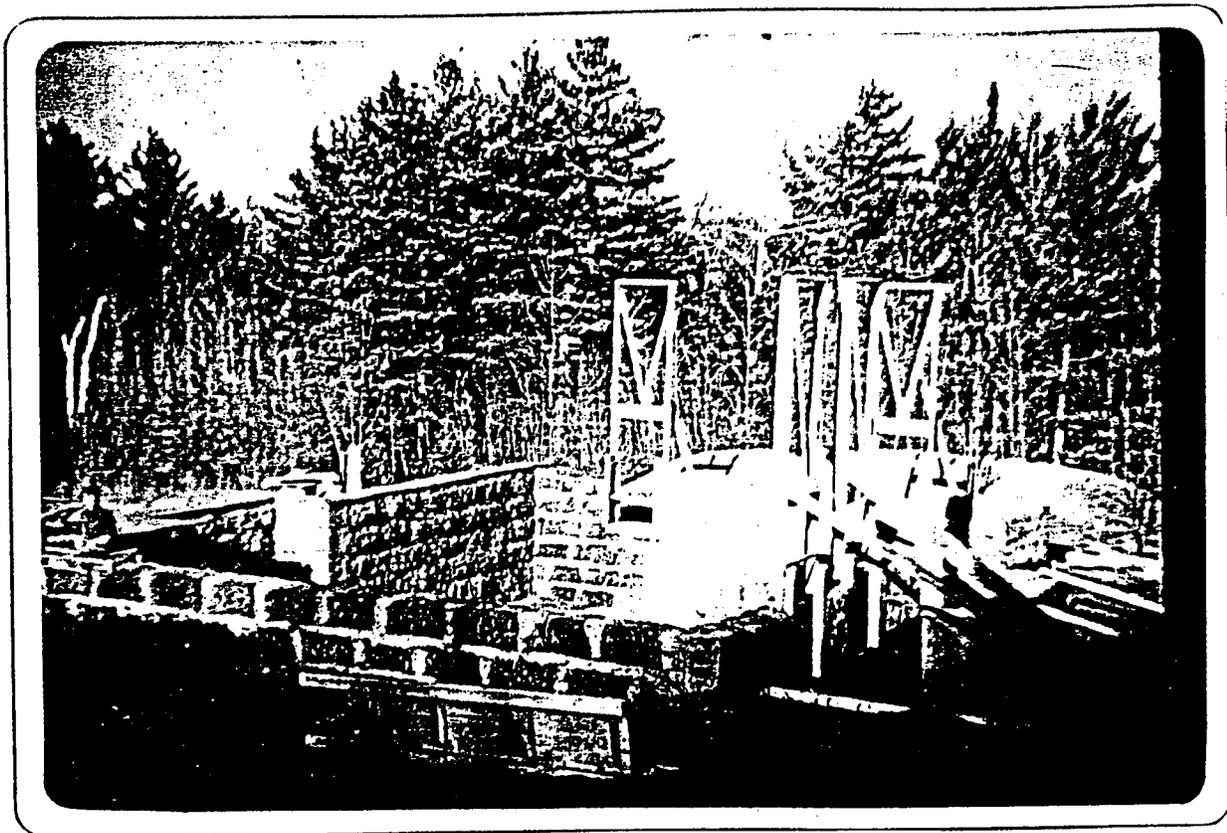


C.4.

C.5 Première assise du mur de fondation; coffrages d'angle bien placés et contreventés.



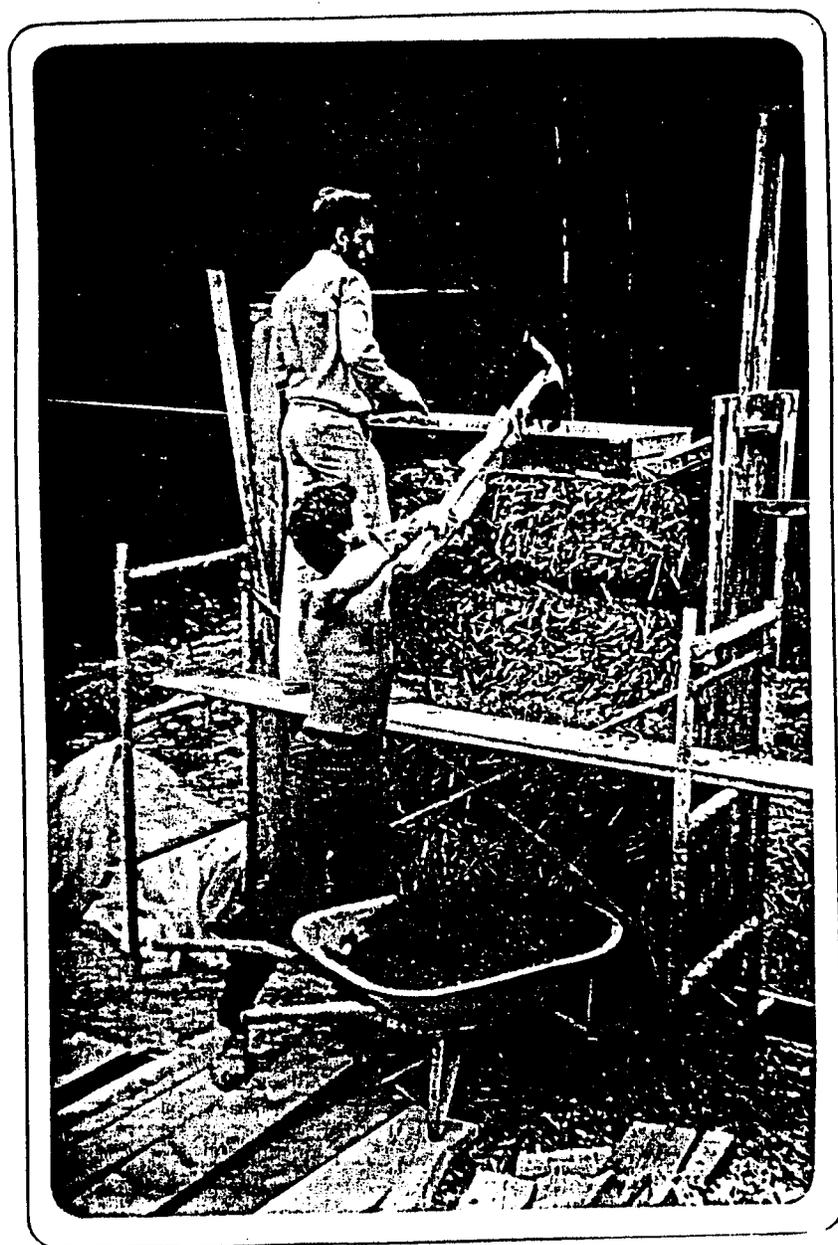
C.6 Les six rangs de ballots du mur de fondation sont achevés.
Les bâtis des fenêtres des trois niveaux sont en place.



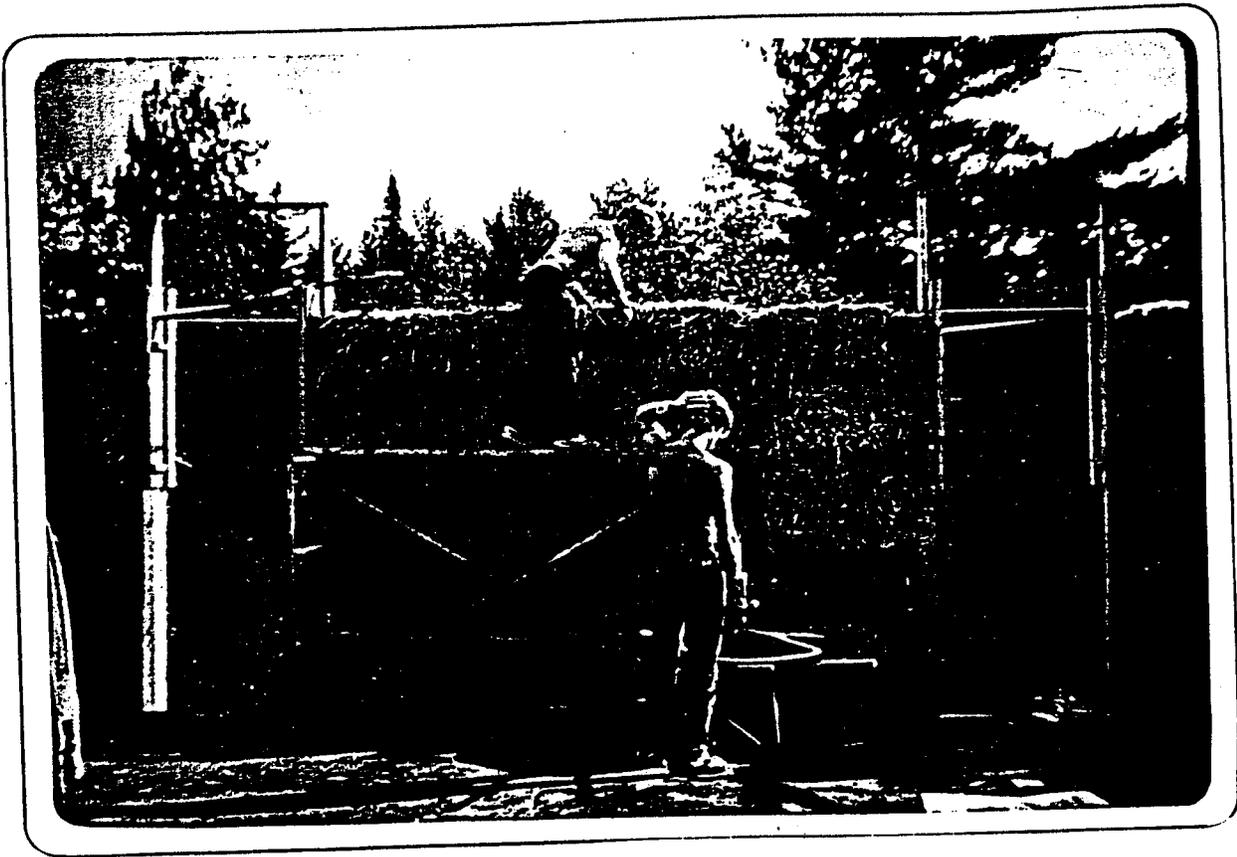
C.7 Mise en place de niveau du coffrage destiné à former les joints horizontaux..



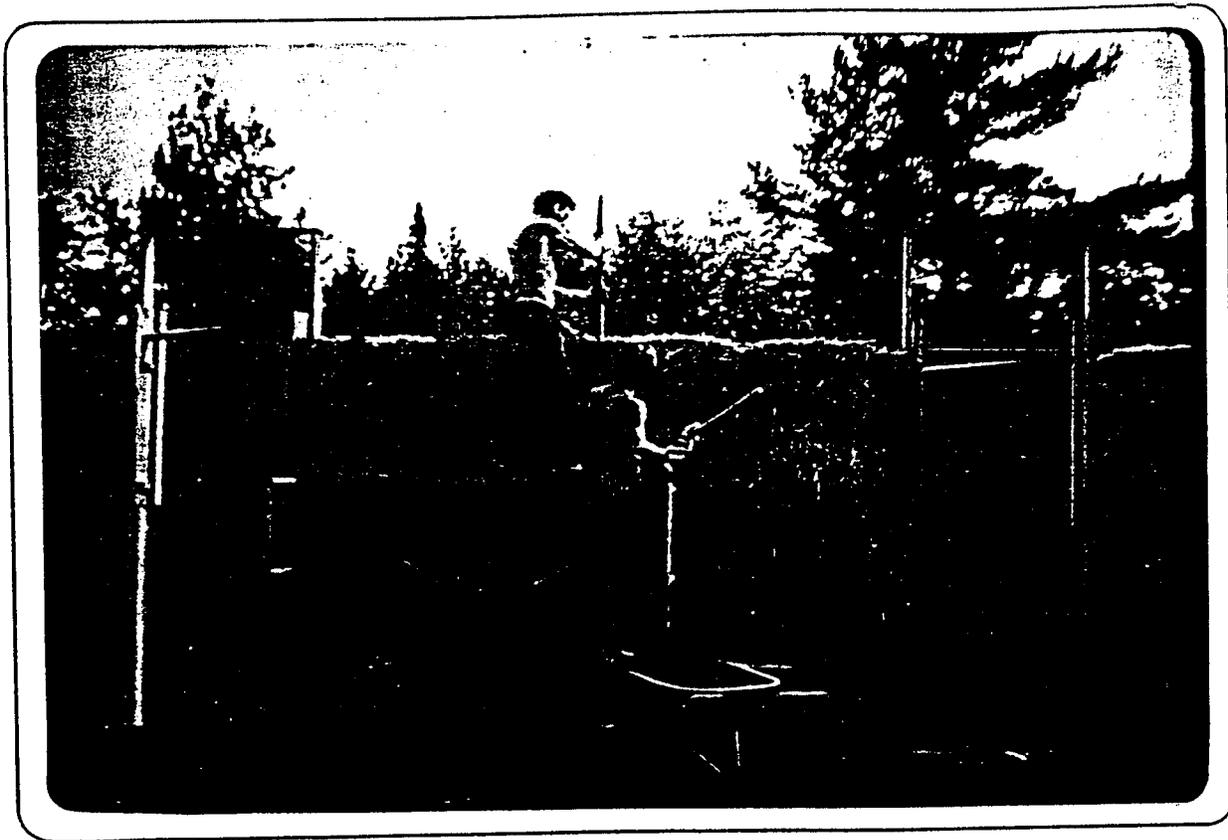
C.8 Remplissage du coffrage de mortier pour former le joint horizontal.



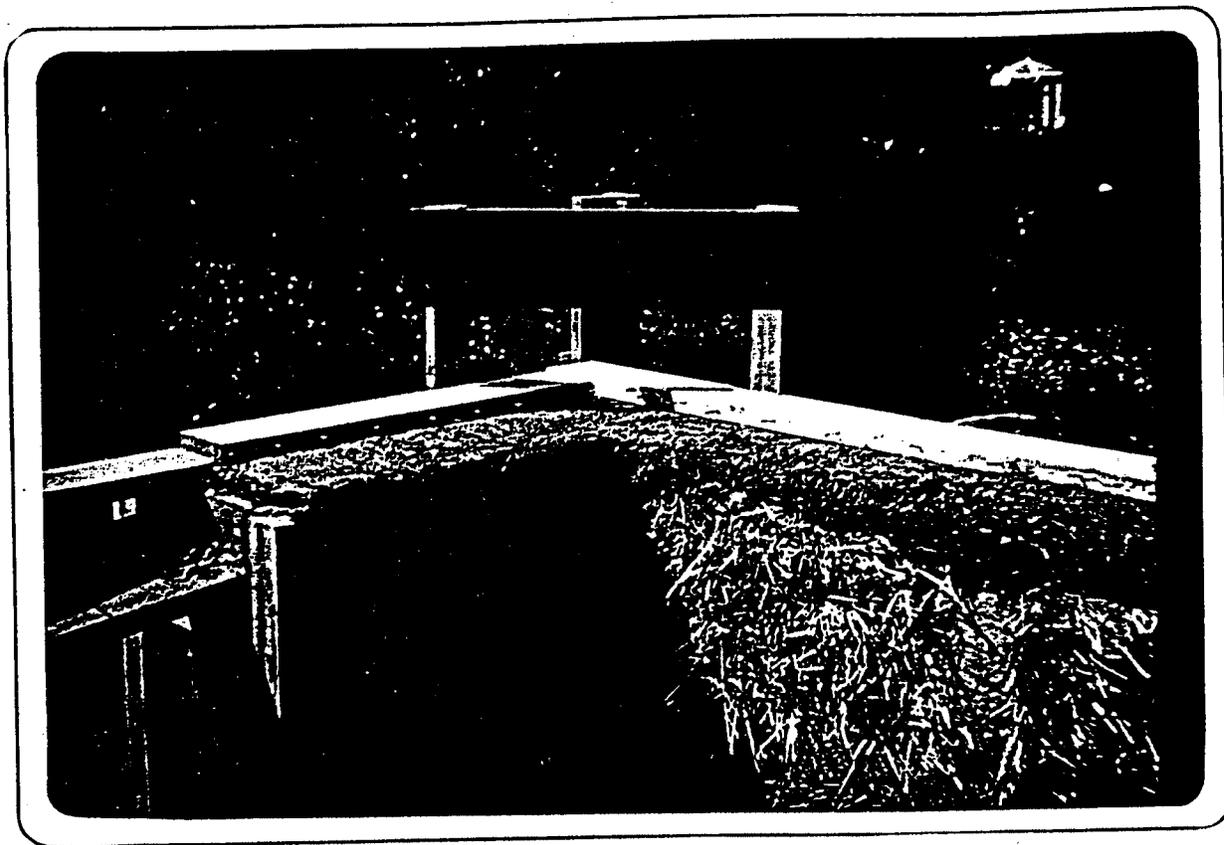
C.9 Mise en place de l'étau du coffrage destiné à former les joints verticaux.



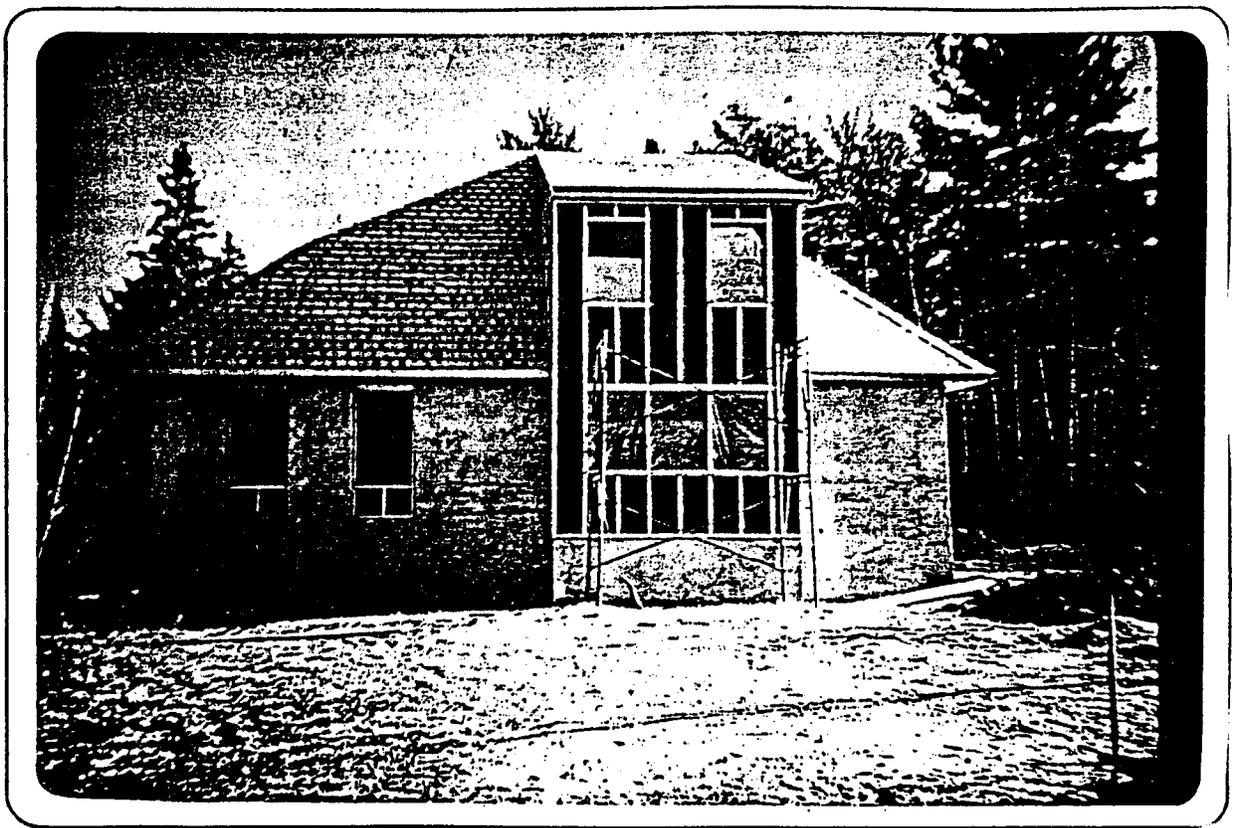
C.10 Enfouissement du mortier entre les ballots pour former le joint vertical.



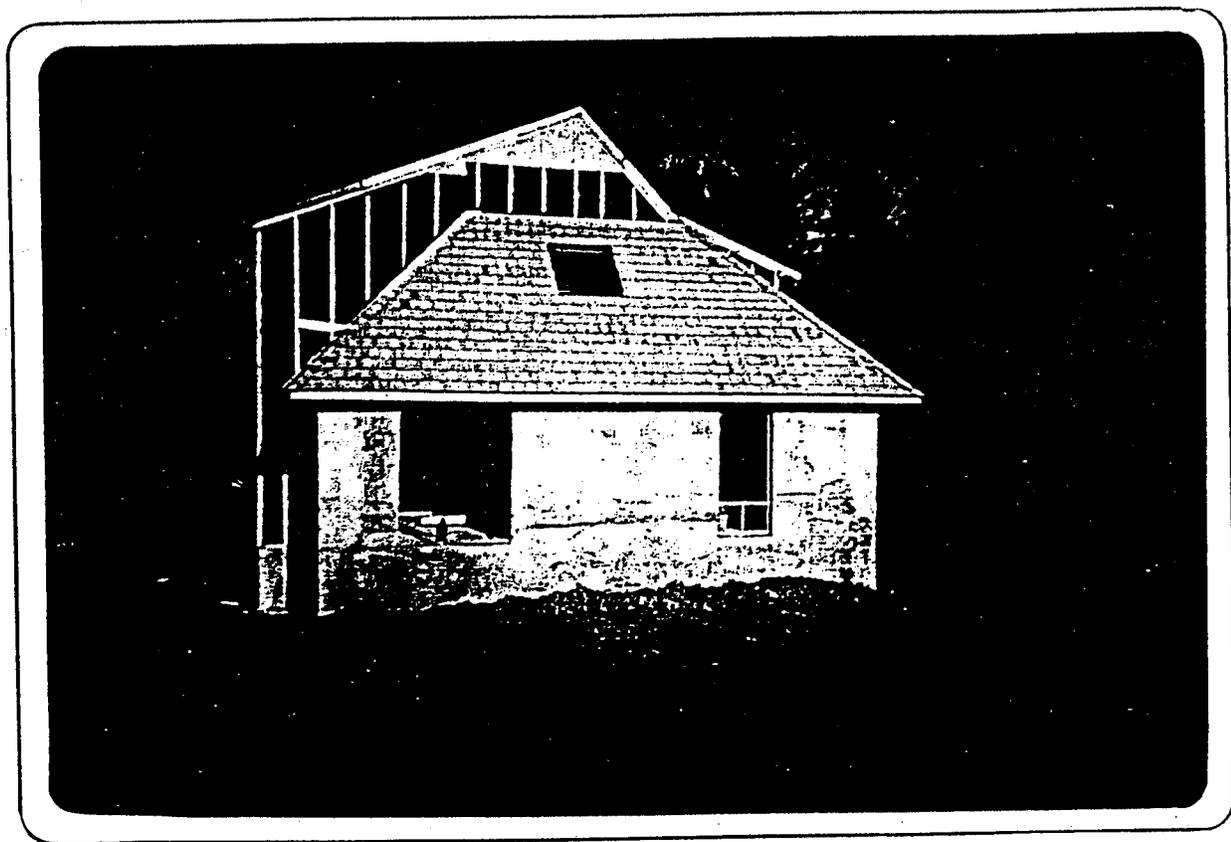
C.11 Les murs du rez-de-chaussée sont terminés, et une sablière cloutée de chaque côté est placée sur le dernier joint horizontal. Du mortier coulé de part et d'autre de la sablière sert ensuite à l'encastrer dans la structure.



C.12 Les murs ont reçu deux couches de crépi.
Les solives du plancher de l'étage sont assujetties à la sablière
des murs de ballots de paille et de mortier, puis le toit
construit.



C.13 Côté ouest



D. MAISON DU LAC BERNARD (LA PÊCHE)

1. Caractéristiques

La maison, de 13 411 mm de longueur sur 6 706 mm de largeur, comprend un sous-sol pleine grandeur, un rez-de-chaussée et un étage d'une superficie de 75 m² (807.72 pi²) chacun, l'aire de plancher totale correspondant à 225 mm² (2 422 pi²).

Du côté est, marqué par une dénivellation, la moitié du sous-sol est faite de ballots de paille et de mortier. Le mur légèrement incurvé s'élève à 7 620 mm au-dessus du niveau du sol, dont 6 706 mm sont en ballots de paille et mortier.

L'ossature du mur sud, destiné à capter l'énergie solaire, est déjà réalisée, étant donné qu'il sera vitré en grande partie. Les murs nord et ouest sont fabriqués de ballots de paille et de mortier.

2. Structure

Cette maison démontre la possibilité de construire plus de deux étages selon cette technique. La solidité des murs leur permet également de supporter les poutres structurales en bois sur lesquelles reposent les planchers et le toit (figure).

3. Humidité

Certains ballots de l'assise supérieure ont été trempés parce que, pendant une semaine pluvieuse, le vent a déplacé le plastique qui recouvrait le mur.

Ces circonstances nous ont permis d'être témoins d'une expérience intéressante. La moitié du mur était protégée par le toit et l'autre moitié exposée à la pluie. À notre retour, nous avons remarqué des taches d'humidité sur le dessus du mur exposé. Nous avons décidé de pratiquer des ouvertures du côté intérieur afin d'en vérifier l'état. La partie du mur protégée par le toit était complètement sèche, mais la rangée supérieure de la partie exposée était trempée. Nous avons alors ouvert complètement cette rangée du côté intérieur en vue de nous rendre compte clairement de la situation. La teneur en gros gravier du mortier confère une certaine porosité à la structure qui se sature d'eau pendant les jours de pluie si elle n'est pas scellée en surface; l'eau s'y infiltre lentement en suivant les joints de mortier autour des ballots de paille. Le pourtour des ballots était donc trempé, mais le centre était sec. Nous les avons remplacés.

Cette situation me rappelle une expérience que j'ai tenté à l'égard de ma maison à Rupert (La Pêche). Il y a trois ans, j'ai construit un mur relié à ma maison afin d'en vérifier la capacité portante. Pendant deux ans, je l'ai laissé complètement à découvert. J'ai appliqué un enduit sur la partie nord, destinée aux essais, mais non pas sur la partie est. Au cours de cette

période, j'ai observé le mur est se faire tremper et s'assécher sans rendre la paille humide. Par contre, en ouvrant le mur nord, j'ai constaté que la paille était complètement mouillée. Ainsi, l'humidité s'échappe beaucoup moins bien des murs enduits. Il est donc recommandé de coiffer la maison d'un toit avant d'enduire les murs.

Dans une maison à ossature de bois, le même cas s'applique. Quiconque construit un mur, l'isole et le finit avec des plaques de plâtre à l'intérieur sans toutefois le surmonter d'un toit, court à sa perte.

Il est possible de garder les murs au sec, même si les surfaces sont enduites, en veillant à ce que le plastique reste en place ou en protégeant contre l'eau la partie supérieure avec une couche de goudron léger.

4. Coût des matériaux et main-d'oeuvre

a) Ventilation du coût des matériaux

Article	Montant	Coût unitaire	Total
Ballots de paille	367	1.50 \$	550.50 \$
Sacs de ciment	130	5.50 \$	747.50 \$
Sacs de chaux	90	5.95 \$	535.50 \$
Sacs de ciment blanc	3	19.34 \$	58.02 \$
	Sous-total		1 891.52 \$
	Taxe de vente prov.		170.24 \$
	Total		2 061.76 \$
Chargements de gravier	4	30 \$	120 \$
Chargements de sable	3	45 \$	135 \$
	Coût total des matériaux		2 316.76 \$

b) Main-d'oeuvre

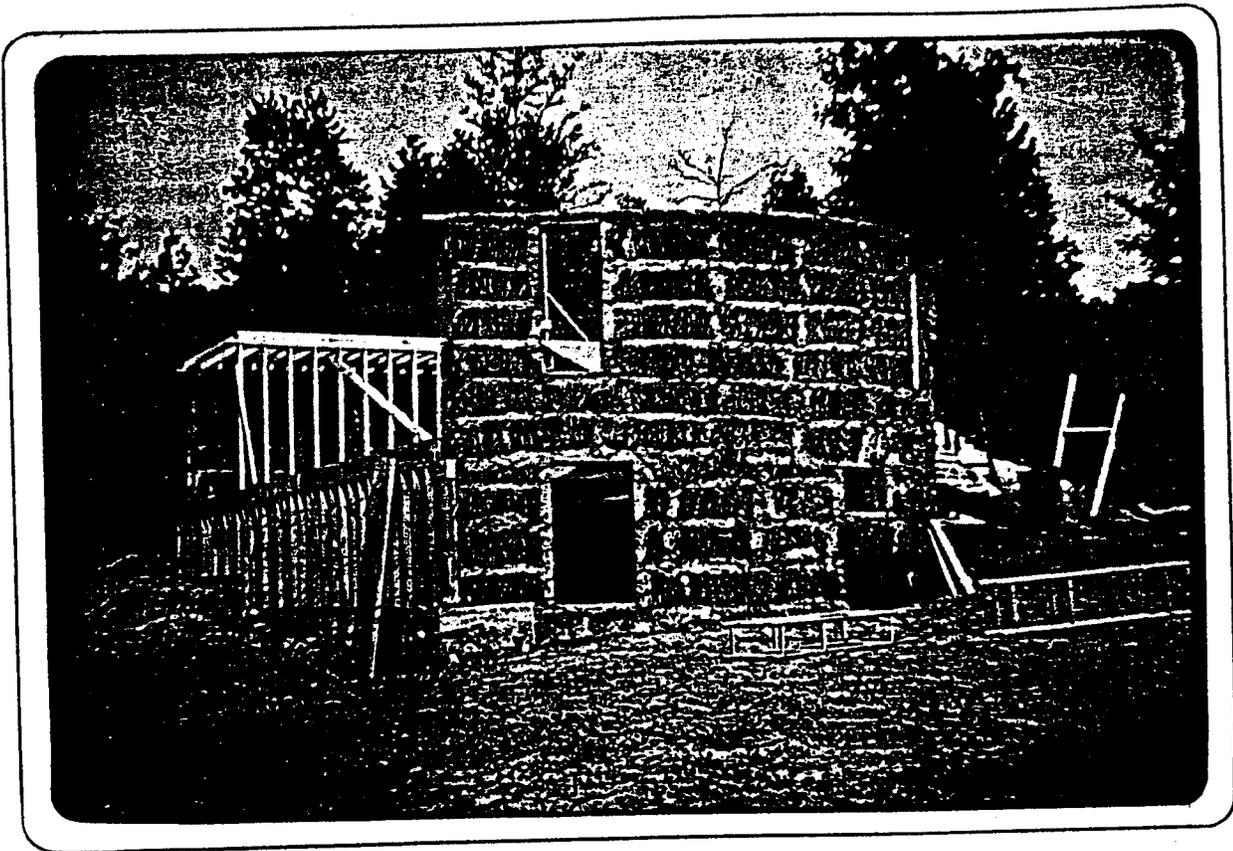
Notre équipe de trois hommes a mis environ dix jours à ériger la structure et dix jours à appliquer les couches de mortier et la peinture de lait de chaux. Nous étions moins rapides qu'à Chelsea parce que nous apprenions à travailler en équipe et avons dû résoudre certains problèmes nouveaux. Par exemple, il fallait construire plusieurs étages au-dessus du sol et trouver un moyen d'amener le mortier rapidement au niveau supérieur. À cet effet, nous avons construit des rampes et nous sommes servi d'une corde

pour monter la brouette. Nous avons construit des échafaudages pour le mur incurvé.

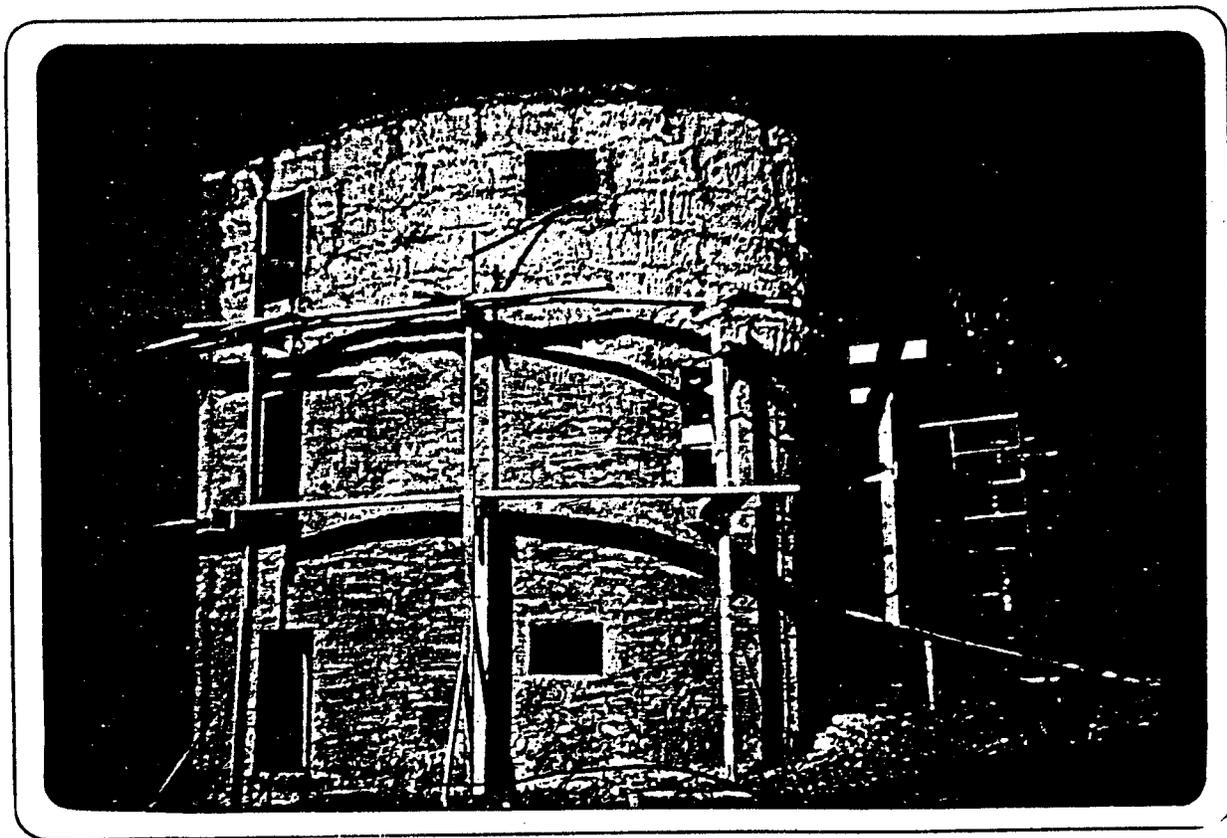
Au cours de la construction de cette maison, nous avons réglé un certain nombre de difficultés et mis à profit l'expérience acquise lors de la construction du rez-de-chaussée de la maison de Chelsea.

5. Plans de la maison et détails d'exécution des murs

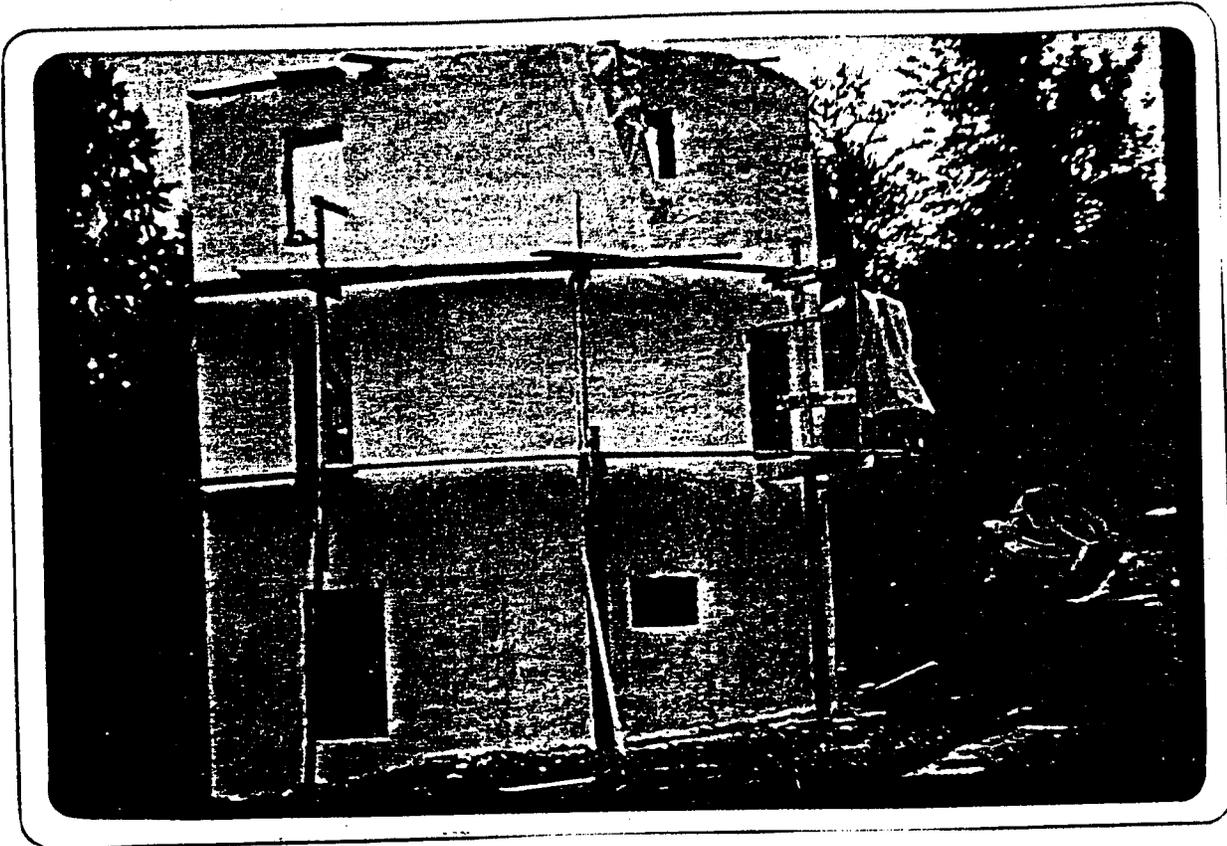
D.1 Mur est incurvé, dont le rez-de-chaussée et la moitié du sous-sol sont faits de ballots de paille et de mortier.



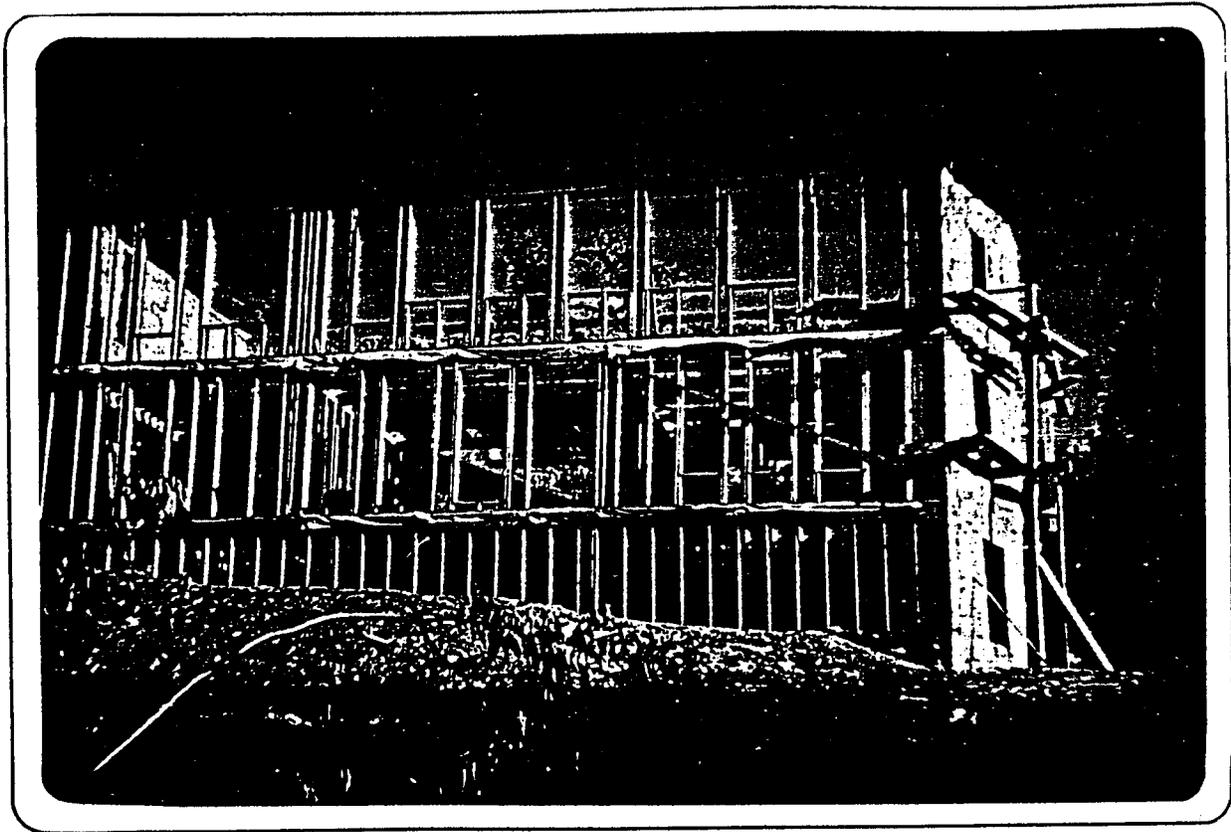
D.2 Môme mur est, dont deux étages et demi sont faits de ballots de paille et de mortier.
La première couche de crépi est appliquée.



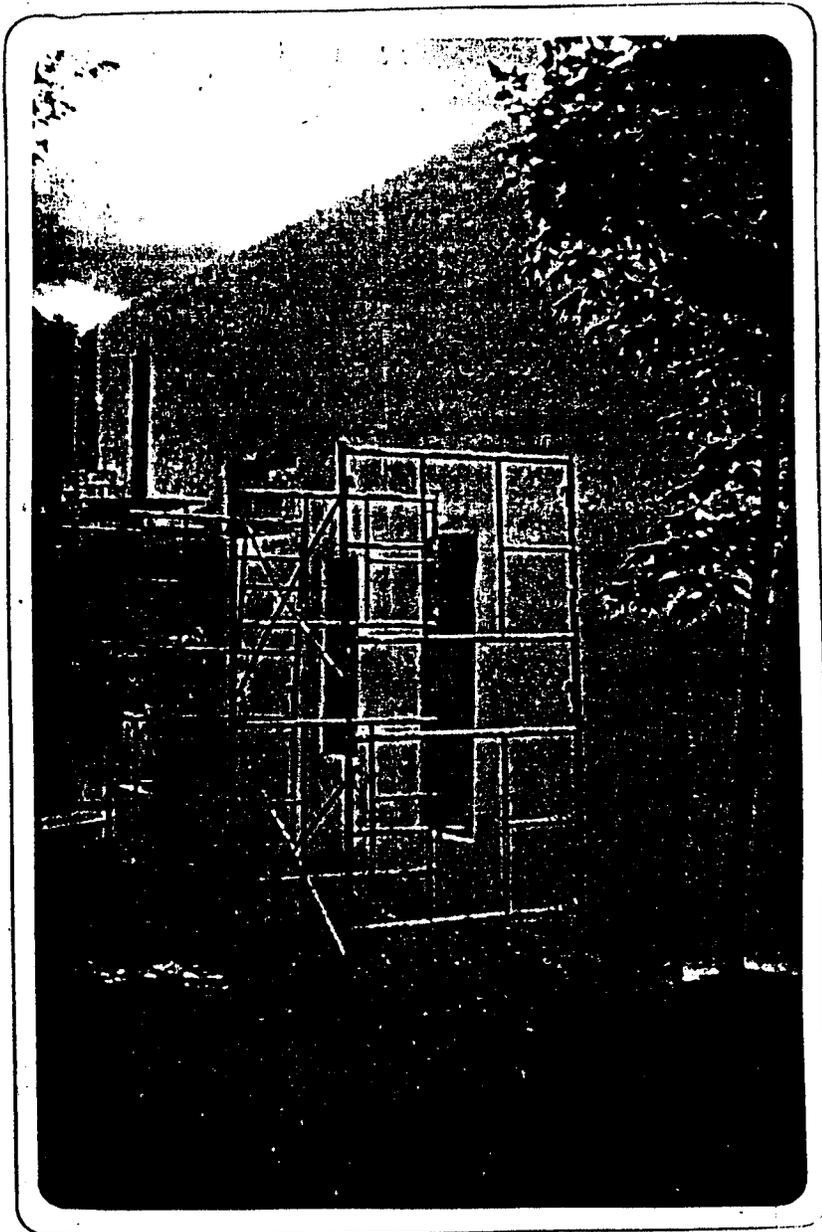
D.3 La surface a reçu la deuxième couche de crépi et une couche de peinture de lait de chaux.



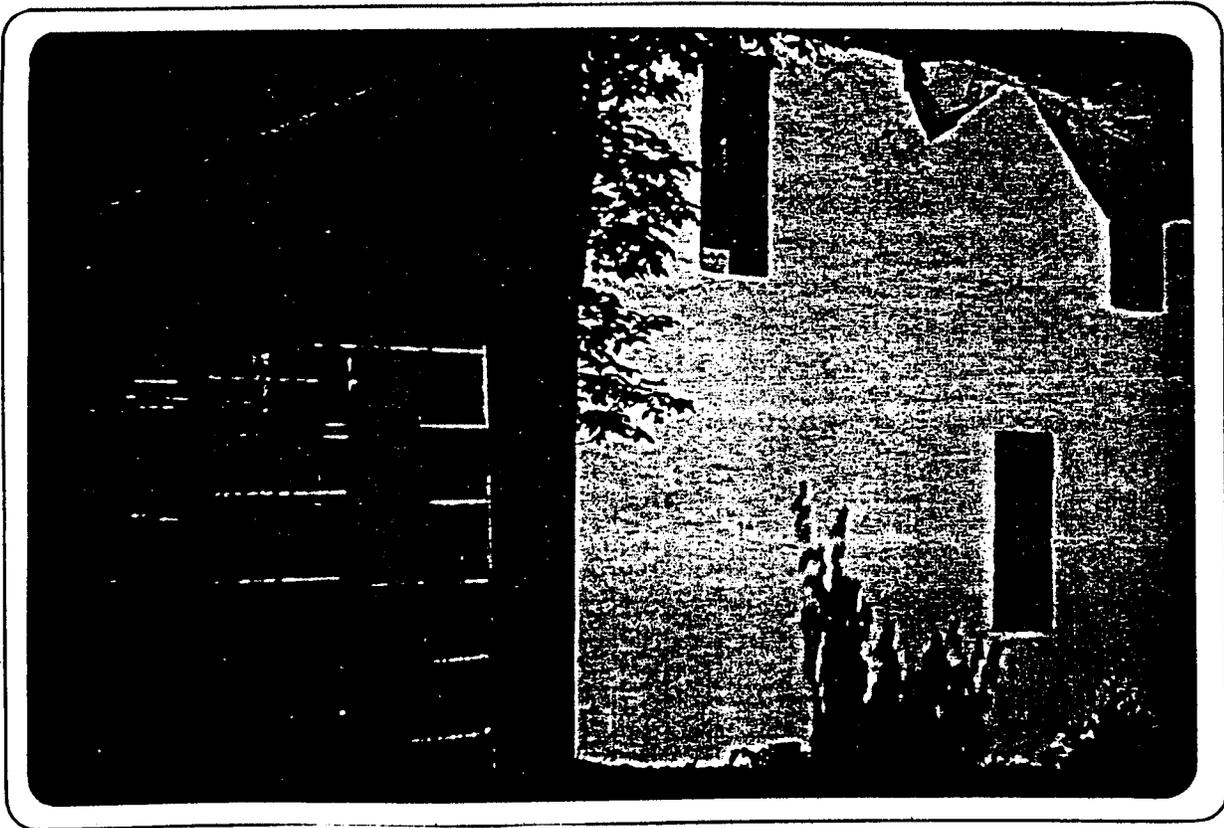
D.4 Ossature du mur sud qui sera presque entièrement vitré pour profiter de l'énergie solaire.



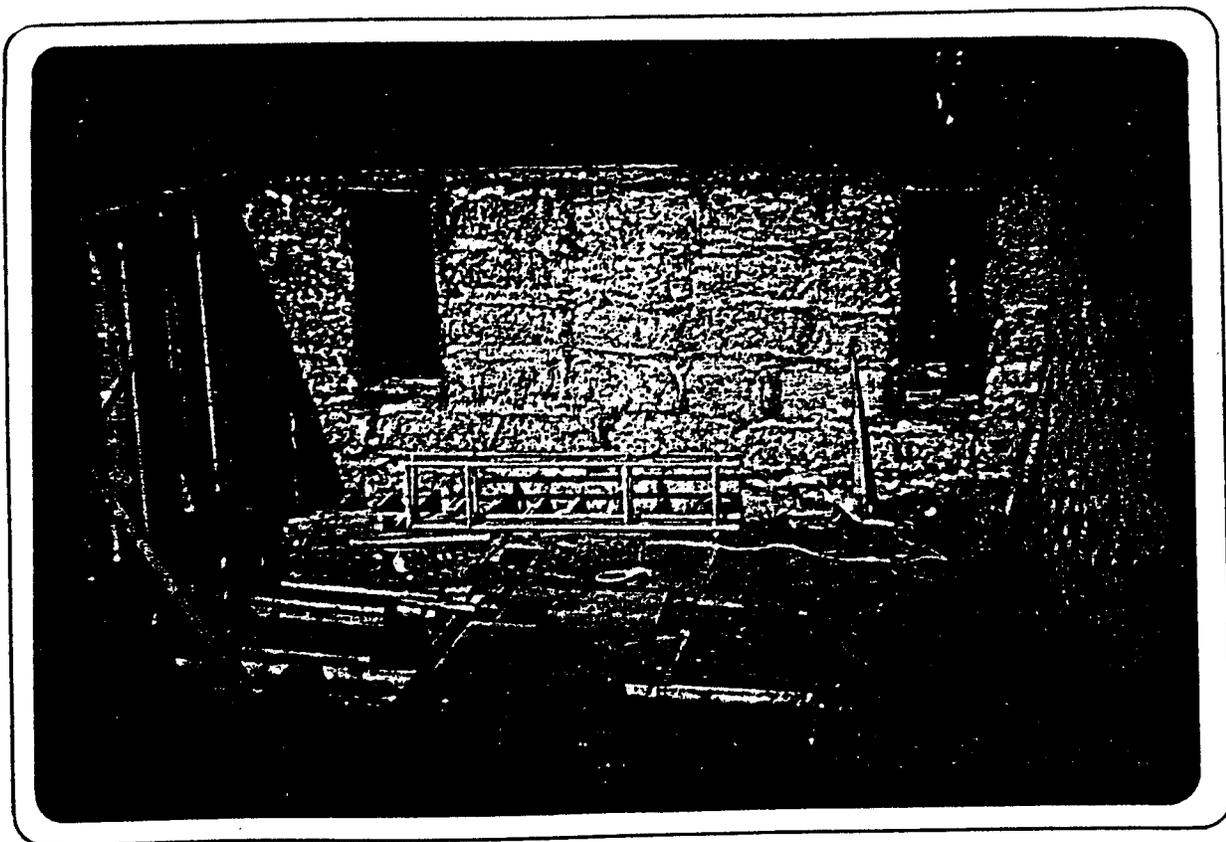
D.5 Mur nord comprenant peu d'ouvertures afin d'optimiser l'efficacité énergétique.



D.6 Mur ouest également construit de manière à optimiser l'efficacité énergétique.

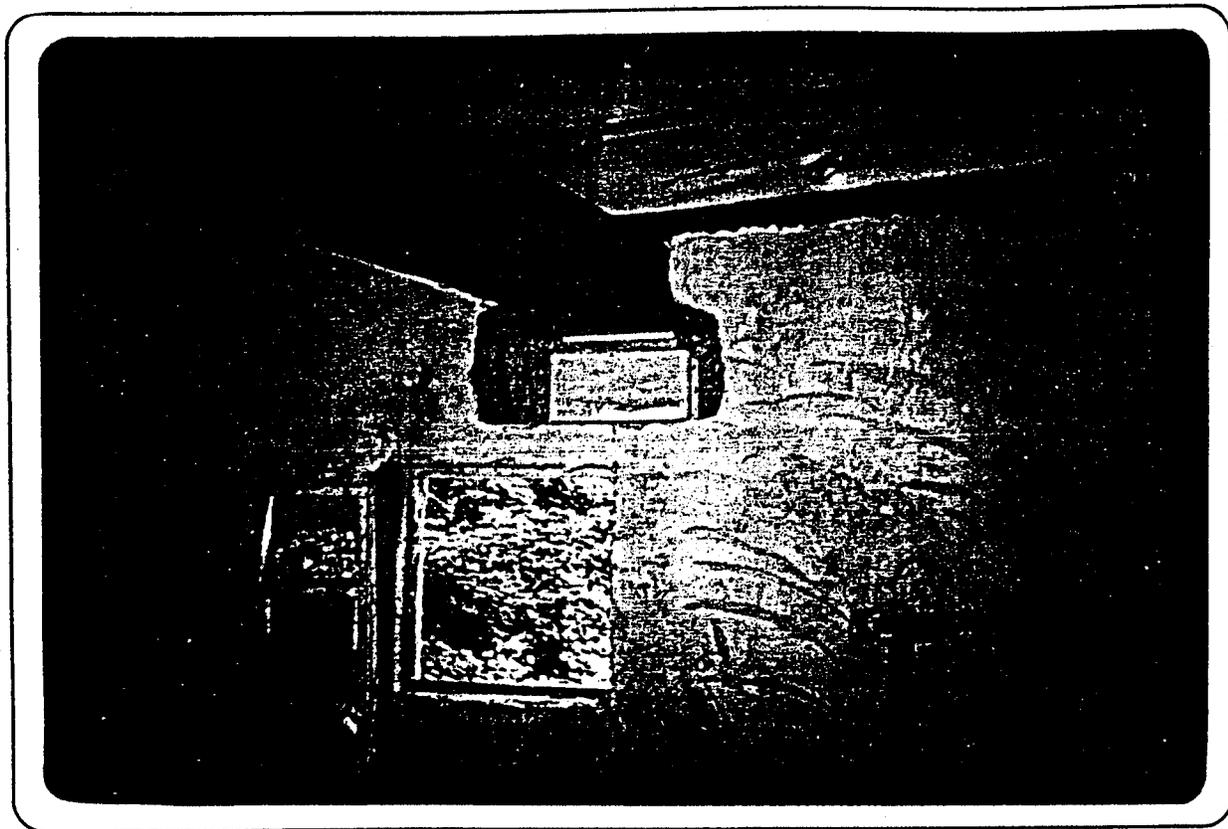


D.7 Murs intérieurs enduits de la première couche de crépi.



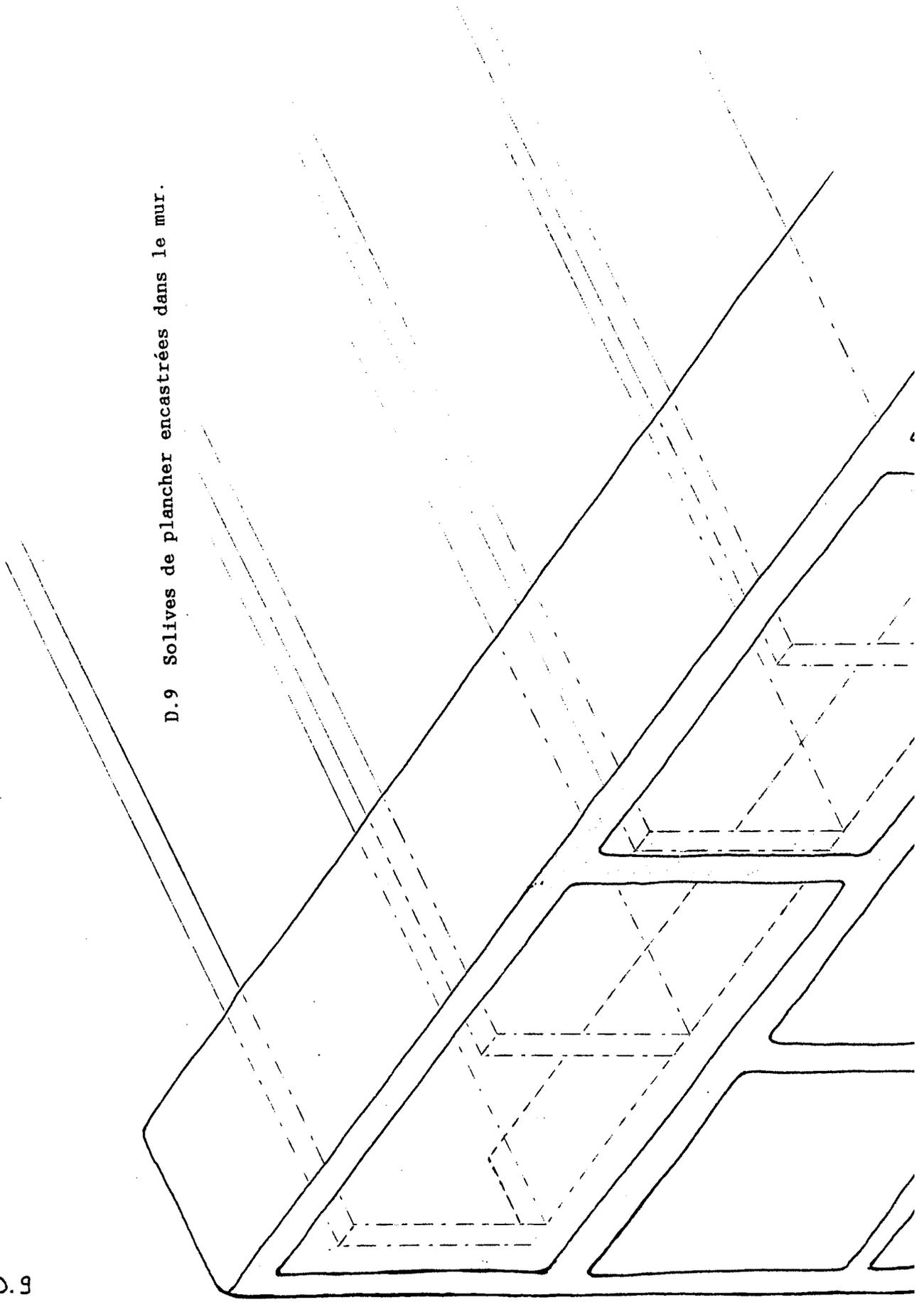
D.8 Poutre structurale en bois supportant les chevrons du toit plat. La poutre est soutenue par la structure du mur de paille et de mortier.

Les poutres supportant le plancher de l'étage reposent également sur la structure des murs de paille et de mortier.



D.9 Solives de plancher encastrées dans le mur.

D.9



E. CONCLUSIONS

1. Exemple pratique

Les deux maisons construites reflètent précisément le coût des matériaux et de la main-d'oeuvre nécessaire.

Dans le cas de la maison du Lac Bernard, il est possible d'établir le prix des matériaux par unité de surface. Le mur de 130.8 m^2 ($1\ 408 \text{ pi}^2$) coûte 2 136.76 dollars, soit 17.71 dollars par mètre carré de surface murale (1.65 dollar/pi^2).

Quant à la maison de Chelsea, la construction de la structure du rez-de-chaussée a duré quatre jours. Les murs comptent 192 ballots, placés en moyenne à raison de 50 par jour. L'équipe de trois hommes a appliqué deux couches de mortier sur les parois intérieures et extérieures des murs, ainsi qu'une couche de peinture de lait de chaux, en six jours.

L'exemple suivant illustre mieux l'efficacité de cette technique; pour bâtir une maison de 120.77 m^2 ($1\ 300 \text{ pi}^2$), une équipe de trois hommes mettrait six jours à ériger la structure et huit jours à appliquer deux couches de mortier et une couche de peinture de lait de chaux sur les parois intérieures et extérieures des murs.

Le coût total des matériaux, y compris des revêtements de finition, s'élèverait à 2 200 dollars.

2. Réalisations techniques et progrès à venir

a) Coffrages

Pendant la construction de la maison de Chelsea, les coffrages d'angle ont fait l'objet d'améliorations, mais la principale réalisation réside dans les coffrages destinés aux joints de mortier horizontaux et verticaux.

Le coffrage vertical se compose de deux panneaux de contreplaqué de 350 mm^2 comprenant deux rangées de clous sur les côtés destinés à les maintenir en place sur les ballots avant de fixer l'étau. Malgré la rapidité acquise, l'opération était trop laborieuse. Un an plus tard, au Lac Bernard, j'ai mis au point un étau doté d'une plaque d'acier de 300 mm sur 350 mm qui s'installait en une seule opération. Cet outil s'est avéré très efficace, et le temps de réalisation d'un joint de mortier vertical s'en est trouvé réduit de moitié.

Le coffrage horizontal utilisé pour la maison de Chelsea, de $1\ 500 \text{ mm}$ de longueur sur 500 mm de largeur, est constitué de planches de 20 mm sur 125 mm . Les quatre angles comportent des rails métalliques dotés d'un écrou coulissant à ailette ajustant l'épaisseur du joint de mortier. Ce genre de coffrage nous a également permis de procéder plus rapidement, mais le fait