



# LUND UNIVERSITY

## Matériaux thermiquement isolants pour l'Algérie : béton mousse & panneaux en laine de bois, Rapport phase 1

Bessadi, Lynda; Teggour, Hocine; Johansson, Erik; Åstrand, Johnny

1993

[Link to publication](#)

### *Citation for published version (APA):*

Bessadi, L., Teggour, H., Johansson, E., & Åstrand, J. (1993). *Matériaux thermiquement isolants pour l'Algérie : béton mousse & panneaux en laine de bois, Rapport phase 1*. (Report TVBM (Intern 7000-rapport); Vol. 7047). Division of Building Materials, LTH, Lund University.

### *Total number of authors:*

4

### **General rights**

Unless other specific re-use rights are stated the following general rights apply:

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

Read more about Creative commons licenses: <https://creativecommons.org/licenses/>

### **Take down policy**

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

LUND UNIVERSITY

PO Box 117  
221 00 Lund  
+46 46-222 00 00



# **Matériaux thermiquement isolants pour l'Algérie – Béton mousse & panneaux en laine de bois**

**Rapport phase 1**

*par*

*Lynda BESSADI, CNERIB*

*Hocine TEGGOUR, CNERIB*

*Erik JOHANSSON, Dép. Matériaux de Construction*

*Johnny ÅSTRAND, LCHS*

- Centre National d'Etudes et de Recherches Intégrées du Bâtiment – CNERIB (Algérie)
- Lund Centre for Habitat Studies – LCHS (Suède)
- Département Matériaux de Construction (Suède)

# **Matériaux thermiquement isolants pour l'Algérie – *Béton mousse & panneaux en laine de bois***

**Rapport phase 1**

*par*

*Lynda BESSADI, CNERIB*

*Hocine TEGGOUR, CNERIB*

*Erik JOHANSSON, Dép. Matériaux de Construction*

*Johnny ÅSTRAND, LCHS*

# Sommaire

<b>1 Introduction</b> .....	2
1.1 Historique.....	2
1.2 Motifs.....	3
1.3 Objectifs.....	3
<b>2 Inventaire</b> .....	5
2.1 Alfa .....	5
2.2 Eucalyptus et autres types de bois .....	6
2.3 Résidus de l'industrie de liège .....	7
2.4 Résidus de l'industrie du bois .....	7
<b>3 Essais au laboratoire</b> .....	9
3.1 Béton mousse .....	9
3.1.1 Définition.....	9
3.1.2 Caractéristiques techniques des bétons mousse .....	10
3.1.3 Essais avec béton mousse .....	11
3.2 Panneaux en laine de bois .....	28
3.2.1 Définition.....	28
3.2.2 Essais avec eucalyptus.....	29
3.2.3 Conclusions.....	32
<b>4 Domaines d'application</b> .....	33
4.1 Application en Algérie.....	33
4.1.1 Introduction.....	33
4.1.2 Béton mousse.....	34
4.1.3 Panneaux en laine de bois.....	35
4.2 Essais de toitures .....	36
4.2.1 Objectifs.....	36
4.2.2 Conditions.....	36
4.2.3 Description des toitures .....	37
4.2.4 Essais de chargement.....	39
4.2.5 Avantages et inconvénients des toitures .....	42
4.2.6 Conclusions sur la construction de toitures .....	43
4.3 Exemple de la maison de jeunes à Tameghza .....	44
<b>5 Production</b> .....	46
5.1 Matériaux locaux .....	46
5.2 Béton mousse .....	48
5.2.1 Unité de production.....	48
5.2.2 Matières premières .....	48
5.2.3 Investissement et rentabilité.....	49
5.3 Panneaux en laine de bois .....	51
5.3.1 Unité de production.....	51
5.3.2 Matières premières .....	52
5.3.3 Investissement et rentabilité.....	53
<b>6 Conclusions</b> .....	57
<b>Annexes</b> .....	58
1 : Bibliographie.....	59
2 : Essences appropriées pour la fabrication de panneaux en laine de bois.....	64
3 : Dessin d'un malaxeur pour la fabrication de béton mousse .....	71

# 1 Introduction

## 1.1 Historique

La conception des toitures dans les constructions modernes en Afrique du Nord est souvent à l'origine d'un niveau de confort insuffisant. En général, l'isolation thermique de la toiture est insuffisante, elle entraîne des températures trop élevées en été et trop basses en hiver.

Les simulations par ordinateur effectuées à l'*Université de Lund* en collaboration avec le *CNERIB* (projet «Construction en climat chaud et sec») ont démontré que pour le climat désertique d'Afrique du Nord, les toitures ayant une bonne isolation thermique, associées à des murs à bonne capacité de stockage thermique, procureraient un niveau de confort intérieur satisfaisant aussi bien en été qu'en hiver. Les calculs coïncident bien avec les expériences des 20 dernières années en Algérie et en Tunisie, où l'on a noté une détérioration du niveau de confort intérieur lorsqu'on est passé des constructions traditionnelles à bonne isolation thermique de la toiture et à bonne capacité de stockage thermique des murs à des constructions modernes. Les simulations ont également démontré que seul un complément d'isolation thermique des constructions modernes contribuerait à une amélioration du niveau de confort intérieur.

Un passage à des toitures à bonne isolation thermique nécessite l'utilisation de matériaux de construction thermiquement isolants.

En Algérie, il est actuellement difficile de se procurer des produits isolants de bonne qualité et à bon marché, d'où la nécessité de développer des matériaux thermiquement isolants à base de matériaux localement disponibles faisant appel à des techniques de production et de mise en œuvre simples.

Le précédent projet de recherche algéro-suédois traitant du climat intérieur des bâtiments a été mené à bien. Des études ont été réalisées sur les possibilités d'amélioration du confort intérieur. Ce projet a débouché entre autre sur un avant projet concernant les possibilités d'utiliser les ressources locales en alfa comme composant essentiel d'un matériau isolant.

Cette étude avait pour but, à travers des essais de laboratoire, de développer un matériau thermiquement isolant pour les toitures. Les panneaux étaient produits dans des moules en bois et le matériau de base était les fibres d'alfa agglomérées au ciment.

Les résultats obtenus ont montrés que l'alfa utilisé à l'état naturel présentait une mauvaise adhérence avec le ciment et qu'il fallait procéder à un traitement chimique ou mécanique de la fibre pour améliorer l'adhérence alfa-ciment.

Le prix élevé du traitement de la fibres ainsi que les difficultés rencontrées dans la récolte de l'alfa (cueillette manuelle) ont conduit à étudier d'autres matières premières (par exemple le bois d'eucalyptus) pour développer des matériaux thermiquement isolants.

## 1.2 Motifs

La fonction essentielle d'une construction est de créer un élément intérieur adapté au besoin de l'occupant et de son confort. En Algérie, la nécessité de développer l'isolation thermique n'apparaît qu'actuellement dans les préoccupations des constructeurs.

L'indifférence dont elle était l'objet auparavant s'explique par :

- **le mode de construction** : on construisait de façon massive et les matériaux employés avaient une bonne inertie thermique, les parois réagissaient donc moins vite aux variations de températures extérieures.
- **la notion de confort thermique** : on disposait des sources de chaleur à l'intérieur des constructions et on se contentait de leur rayonnement afin d'assurer un certain confort thermique.

Dans ces domaines des changements importants sont intervenus ces dernières années :

- l'évolution des méthodes de construction fait que les constructions actuelles sont légères et les matériaux utilisés ont une faible inertie thermique.
- l'obtention d'un confort thermique n'est plus résolu par le chauffage ou la climatisation, il nécessite une répartition plus homogène de la température dans les constructions.

De plus, le poids croissant des dépenses en énergie de chauffage et de climatisation préoccupe actuellement les gestionnaires et les usagers et conduit à étudier des dispositions constructives visant à réduire les déperditions à travers les parois.

L'utilisation de parois lourdes dans le domaine de la construction est d'une des solutions classiques pour se protéger des agressions climatiques. Cette solution exige une consommation excessive de matériaux non disponibles en abondance sur le marché algérien. De plus cette solution ne permet pas d'atteindre un niveau de confort satisfaisant surtout dans les régions chaudes où l'inertie des parois doit être associée à une isolation thermique.

Pour faire face à une importation de matériaux ou de techniques non adaptés et contraire aux exigences locales, nous proposons dans cette étude l'intégration de matériaux locaux dans la conception de composants thermiquement isolants.

## 1.3 Objectifs

L'objectif du projet proposé est de développer un matériau thermiquement isolant particulièrement adapté aux toitures en :

- Développant un matériau thermiquement isolant de faible coût à base de matériaux localement disponibles ainsi que sur la base de techniques simples de production. Cela est précédé de la définition des exigences d'isolation thermique, de résistance mécanique et de durabilité en fonction des conditions climatiques locales.

- Développant des méthodes de fabrication de matériaux thermiquement isolants rationnelles et concurrentielles. Ces méthodes doivent être adaptées au contexte local et rendre possible une fabrication à grande échelle pour un coût d'investissement réduit.
- Le développement d'un matériau de construction thermiquement isolant consistera à étudier d'une part les bétons léger à base d'agents moussants qui seront mis en œuvre par coulage ou sous forme d'éléments préfabriqués et d'autre part les panneaux à base de fibres ou copeaux d'origine végétale stabilisés à l'aide d'un liant.

# 2 Inventaire

## 2.1 Alfa

L'alfa est une herbe vivace à rhizome très rameuse formant des souches d'abord compactes et homogènes mais devenant circulaires par le déperissement des rameaux anciens du centre.

Les rameaux périphériques qui dessinent ainsi un cercle s'isolent à mesure qu'ils s'élargissent et deviennent à la longue l'origine de nouvelles touffes.

La feuille d'alfa, variable avec l'âge et l'état de la plante, a une longueur de 50 à 80 cm. Elle est pendant la période de végétation étalée d'une forme laminaire, plane et rubanée, sa face supérieure présente des nervures alors que sa face inférieure est lisse. Sous l'effet de la sécheresse, les deux moitiés de la feuille se rencontrent et forment un limbe dur et sec à pointe fine. La feuille d'alfa est composée essentiellement de fibres cellulosiques, environ 50 %.

L'alfa est une plante rustique, peu exigeante en eau et très bien adaptée aux fortes chaleurs, elle est un élément fondamental dans la lutte contre l'érosion et la désertification. L'alfa croît spontanément dans les régions arides et semi-arides jusqu'à une altitude de 1800 m.

L'Algérie dispose d'une zone steppique couvrant une superficie de 20 millions d'hectares, les nappes alfatières localisées dans ces zones ne couvrent qu'une superficie de 4 millions d'hectares.

Une nappe alfatière de 1 hectare contient de 3000 à 5000 souches et pourrait donner de 0,5 à 1 tonne/an de feuilles d'alfa sèches sans crainte d'épuisement des nappes alfatières.

L'Algérie dispose d'une nappe alfatière dont 65 % présente un intérêt productif c'est-à-dire 2.640.000 ha et pourrait donc fournir de 130.000 à 260.000 t/an de feuilles d'alfa sèches, or elle ne fournit actuellement que 20.000 à 3.000 t/an, ce qui représente 10 % de la capacité des nappes alfatières.

Depuis les temps les plus reculés, l'alfa a été utilisé pour ses fibres. L'alfa est aussi bien utilisé en vannerie ou en tapisserie que pour la fabrication de tissus ou de pâte à papier. En Algérie, l'alfa constitue la matière première dans l'industrie de la cellulose pour la confection d'un papier de haute qualité. C'est donc cette industrie qui en est le principal consommateur.

La récolte manuelle de l'alfa auquel on est revenu après l'échec de plusieurs tentatives de mécanisation ne permet pas de faire face aux besoins industriels. De plus le coût de revient du transport de la tonne d'alfa sèche du lieu de récolte aux unités de transformation est très élevé.

Ces facteurs font qu'actuellement les usines ne transforment en pâte à papier que 10 % de leurs capacités installées.

Il serait donc beaucoup plus intéressant d'exploiter l'alfa dans les différentes zones de végétations afin d'éviter les coûts de transport de la matière première et lui donner un débouché utilisant au maximum la fibre à l'état naturel afin de réduire les coûts de transformation.



## 2.2 Eucalyptus et autres types de bois

Forêts et maquis couvrent en Algérie 3,7 millions d'hectares soit un taux de boisement de 14,6 % pour l'Algérie du Nord et seulement 1,5 % si les régions sahariennes arides (90 % du territoire) sont prises en considération. Il s'y ajoute les nappes d'alfa qui totalisent 2,7 millions d'hectares.

Près de 90 % de ces forêts et maquis appartiennent à l'état et aux communes. Les forêts, qui couvrent 1.408.000 ha, se répartissent en deux groupes : le groupe des forêts économiques, qui totalisent 1.249.000 ha comprend les pineraies de pin d'alep (881.000 ha), les suberaies (229.000 ha), les chênes zéen et afares (48.000 ha), les cèdres (16.000 ha), le pin maritime (32.000 ha), et les eucalyptus (43.000 ha) qui ont été introduits dans le Nord et surtout l'Est de l'Algérie. Le second groupe, constitué par le chêne vert, le thuya et le genévrier, ne couvre que 219.000 ha.

Il existe en Algérie plus de 150 espèces d'eucalyptus recensées qui furent introduits depuis 1860 lors de différentes opérations de reboisement.

Les eucalyptus sont des arbres à feuilles persistantes et à croissances très rapides capables de se développer dans des conditions diverses. Les eucalyptus permettent l'assainissement des marécages et la protection contre les vents dominants.

L'inventaire national recense 43.235 ha pour une possibilité annuelle récoltable de 144.000 m<sup>3</sup>. Ces reboisements ont été effectués surtout dans l'Est du pays : Annaba-16.310 ha, Guelma-3.940 ha, Skikda-2.845 ha, Tizi Ouzou-6.070 ha. Les essences principalement utilisées sont *E. Camaldulensis* et *E. Globulus*. De façon très limitée ont été introduits *E. Grandis*, *E. Gomphocephala*, *E. Leucosylon*. Bien que des eucalyptus aient été installés dans le semi-aride les meilleurs résultats sont obtenus dans l'humide et le sub-humide doux et chaud.

Des surfaces importantes recensées ont pratiquement disparu : *E. Grandis* détruit par le *Phoracanta semi-punctata* (un insecte qui attaque certaines espèces d'eucalyptus), notamment près de 6.000 ha dans la région de El-Taref et *E. Grandis* inadapté dans la région où il a été introduit. D'autre part de nombreuses surfaces ont été plantées dans le but de protection sur terrains dégradés et leurs productions sont faibles, voire inférieures à 3 m<sup>3</sup> par hectare et par an, notamment en exposition Sud.

L'espèce dominante est actuellement *E. Camaldulensis*. Dans les meilleurs sols l'accroissement total atteint 13,8 m<sup>3</sup> par hectare et par an. Une partie des surfaces a atteint l'âge de 30 ans ce qui est notablement élevé pour une espèce à traiter en taillis, à révolution de plus ou moins dix ans avant renouvellement.

La production locale qui s'est établie en moyenne des 5 dernières années à 140.000 m<sup>3</sup> de bois rond a fourni 28 % de bois d'œuvre, 46 % de bois de trituration, 19 % de bois de chauffage et 7 % de perches et piquets. Le pin d'Alep y a représenté plus de 60 % et l'eucalyptus près du quart.

Malgré la demande insatisfaite, cette production n'a représenté que 11 % des possibilités totales d'exploitation qui se chiffrent à 1.200.000 m<sup>3</sup> par an. Pour l'eucalyptus cela pourrait concerner 145.000 m<sup>3</sup>.

## 2.3 Résidus de l'industrie de liège

Le liège est constitué par l'écorce d'un chêne particulier : le chêne-liège ayant la particularité de reconstituer son écorce après son démasclage.

Les résidus de liège c'est l'ensemble des produits provenant de la transformation industrielle du chêne-liège. Cette transformation du chêne-liège en un produit fini nécessite diverses opérations d'usinage engendrant certains types de déchets :

- granulats de liège expansé,
- farine de liège expansé.

Le chêne liège couvre une superficie de 480.000 ha, il forme un bloc de 400. 000 ha sur le littoral Est de l'Algérie et quelques massifs totalisant 80.000 ha autour d'Alger et Oran. La récolte annuelle de liège est estimée à 13.000 tonnes, elle entièrement récoltée et transformée par les unités de l'entreprise nationale des lièges (ENL), réparties dans le Nord-Est de l'Algérie; 1 unité à Collo, 1 unité à Annaba, 2 unités à Jijel, 2 unités à Bejaïa.

La quantité de résidus de liège engendrés par l'ensemble des unités de liège peut être évaluée en étudiant la quantité de résidus engendrée par certaines de ces unités qui sont celles de Bejaïa et de Annaba. La quantité de résidus engendrée par ces deux unités sont :

- Granulés de liège (2 à 4 mm) : Bejaïa – 644 t/an, Annaba – 260 t/an.
- Poudre de liège (inf. 2 mm) : Bejaïa – 1883 t/an, Annaba – 520 t/an.

Les unités de Annaba et Bejaïa représente le 1/3 de l'ensemble de la production nationale. La quantité de résidus de liège totale engendrée par l'ensemble des unités en supposant que celles-ci tournent à un rendement de 100 % est : granulés – 1900 t/an, poudre – 5600 t/an. Ces résidus de liège ne sont pas utilisés et sont régulièrement jetés à la décharge publique.

Les déchets de liège sont des sous-produits du liège, ils ont par conséquent les mêmes caractéristiques de légèreté, d'imperméabilité et d'élasticité. Il pourraient donc tenir un rôle dans la production d'un produit pour l'isolation.

## 2.4 Résidus de l'industrie du bois

Les déchets de bois sont l'ensemble des produits et matériaux dont l'origine se situe à tous les stades de l'industrie du bois : l'exploitation forestière, les industries de première transformation et les industries de deuxième transformation du bois.

L'exploitation forestière entraîne la production de déchets qui sont : les souches, les branchages, les sciures, les chutes et les écorces. Le volume total de ces déchets représente environ 60 % du volume total d'un arbre.

Les industries de première transformation du bois réceptionnent le bois brut issu de l'exploitation forestière et fabriquent des semi-produits de menuiserie. Les déchets engendrés par l'industrie de première transformation du bois sont: les chutes, les écorces et les sciures.

Les industries de deuxième transformation du bois utilisent les semi-produits de menuiserie pour la fabrication produits finis. Les déchets produits par les industries de deuxième transformation du bois sont: copeau de rabotage, farine de ponçage, les chutes et les sciures.

A défaut d'informations précises, on ne peut juger la quantité exacte des déchets de bois engendrés par l'industrie forestière, les industries de première transformation du bois et les industries de deuxième transformation du bois. Néanmoins, nous pouvons calculer la quantité des déchets engendrés par l'ensemble des industries de seconde transformation de bois en étudiant la quantité engendrée par une entreprise nationale de menuiserie générale et de préfabrication (ENMGP), qui représente 54 % de l'ensemble des industries du territoire national.

La quantité théorique totale des résidus engendrés par l'ensemble des industries de seconde transformation du bois, en supposant que celles-ci tournent à un rendement de 100 %, sont annuellement de l'ordre de :

- Chutes de bois – 140.000 m<sup>3</sup> (2.500 t)
- Copeaux de bois – 200.000 m<sup>3</sup> (16.100 t)
- Sciures de bois – 7.900 m<sup>3</sup> (1.600 t)

Les résidus de bois engendrés par les industries forestières sont en assez faibles quantités d'une part, car la plupart des bois utilisés sont des bois d'importation, et difficilement récupérables d'autre part.

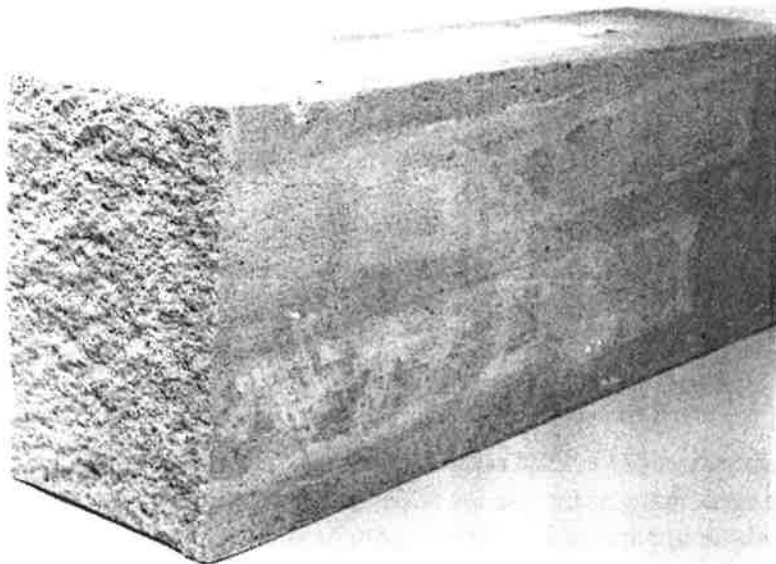
Les résidus de bois engendrés par les industries de première de bois sont également en assez faibles quantités puisque ces industries ne transforment que le bois disponible en Algérie d'une part et qu'elles recycle elles même ses déchets de bois en produisant des panneaux de particules.

Les résidus de bois des industries de seconde transformation sont en assez grande quantité et comportent très peu de débouchés, ils sont soit brûlés soit jetés à la décharge.

# 3 Essais au laboratoire

## 3.1 Béton mousse

### 3.1.1 Définition<sup>1</sup>



*Fig. 3.1.1. Poutrelle en béton mousse (80 × 15 × 10 cm) ayant été coupé au milieu, ce qui montre la structure poreuse.*

Les bétons mousse sont des bétons dans lesquels des bulles d'air sont introduites par l'intermédiaire d'une mousse qui est elle-même produite par agitation d'un agent moussant.

Des recherches effectuées dans ce secteur, on retient la mise au point de trois types de béton mousse :

- les bétons mousse classiques avec certaines variantes améliorées;
- le béton colloïdal léger;
- les bétons mousse associés à des granulats légers.

---

<sup>1</sup>Source : «Améliorations des bétons mousse» par P. Cormon, *Le Bâtiment Bâti*, décembre 1982.

Le béton mousse possède des propriétés d'isolation thermique et acoustique ainsi qu'une bonne résistance au feu et au gel. Le béton mousse peut être produit aussi bien sur site pour l'isolation des murs et des planchers qu'en usine pour la préfabrication d'éléments de construction. Le béton mousse peut être obtenu avec des densités variant de 0,2 à 1,8 t/m<sup>3</sup> en fonction des domaines d'utilisation.

Les bulles sont introduites soit par addition d'un entraînement d'air au cours du malaxage soit par brassage d'une mousse aqueuse fabriquée séparément. Avec un agent entraîneur d'air, la quantité de bulles va dépendre dans une certaine mesure de la quantité de mousse, de la durée de malaxage, de la composition du mortier et de l'intensité du mélange.

Les agents moussants sont classés en deux grandes catégories :

- Les agents moussants protéiques qui sont le plus souvent des produits albumineux provenant de déchets de boucherie. Leur couleur brunâtre et leur odeur particulière les rendent très reconnaissables.
- Les agents moussants synthétiques qui sont dans la majorité des cas des «détergents» (alkylaryl sulfonate de couleur jaune clair et transparent)

Ces différents agents moussants étendus avec de l'eau à 1/40 donnent des mousses relativement denses.

Pour faire varier la masse volumique du béton mousse, on agit sur la proportion de vides donc de mousse à introduire dans le mélange (de 20 % du volume total à 70 % au maximum)

Les bétons mousse les plus lourds, de 1200 à 1800 kg/m<sup>3</sup>, intéressent surtout les préfabrifications alors que les plus légers de 300 à 600 kg/m<sup>3</sup>, concernent essentiellement les marchés de la réhabilitation et de l'isolation thermique.

### 3.1.2 Caractéristiques techniques des bétons mousse

Les résistances à la compression des bétons mousse dépendent beaucoup de la nature de l'agent moussant. Il faut également noter que les résistances des mortiers de mousse protéique, à égalité de masse volumique apparente à l'état sec, sont plus élevées que celles des mortiers de mousse synthétique.

Les bétons mousse avec granulats légers sont plus résistants que les bétons mousse seuls à masse volumique égale. Cette catégorie de bétons intéresse les ouvrages devant être à la fois isolants et suffisamment porteurs. C'est le cas par exemple de certaines formes isolantes, de murs de maisons individuelles, de chapes, de route etc...

D'une manière générale, les granulats les plus légers sont très intéressants car ils permettent une amélioration des performances mécaniques des bétons mousse les plus légers.

Finalement, il faut qu'il y ait une certaine homogénéité entre les masses volumiques apparentes du mortier mousse et des grains que l'on introduit.

Par ailleurs, on ne note pas dans le béton mousse de granulats légers, d'influence de l'agent moussant sur la résistance à la compression ni d'influence de la méthode choisie pour produire les bulles d'air (mousse préparée à l'avance et fabrication dans le malaxeur).

Densité (kg/m <sup>3</sup> )	300	400	500	600	800	1200	1600
Conductivité thermique (W/m°C)	0,10–	0,11–	0,13–	0,15–	0,20–	0,35–	0,5–
	0,12	0,15	0,19	0,23	0,30	0,51	0,8
Résistance à la compression (MPa)	0,3–	0,4–	0,5–	0,7–	1,5–	2,5–	4,5–
	0,9	1,1	2,0	3,2	5,5	8,0	15,0
Résistance à la flexion (MPa)	0,2–	0,2–	0,2–	0,3–	0,4–	0,8–	1,9–
	0,4	0,6	0,8	0,9	0,10	1,5	2,8
Retrait (%)	0,45–	0,30–	0,25–	0,22–	0,20–	0,09–	0,05–
	0,80	0,70	0,60	0,40	0,30	0,15	0,10
Module d'élasticité (GPa)	0,05–	0,8–	0,8–	0,9–	2,0–	3,5–	8,0–
	0,1	1,0	1,5	2,5	3,0	10,0	12,0

Tableau 3.1.1. Caractéristiques des bétons mousse (sans granulats).

Les bétons mousse compte tenu de leur grande porosité, absorbent beaucoup d'eau et rapidement; cependant, ils présentent la faculté de reperdre cette eau aussi très rapidement.

L'un des inconvénients importants des bétons mousse est l'importance de leur retrait qui peut atteindre plusieurs millimètres par mètre. Il faut noter que comme pour tous les bétons légers, le retrait s'effectue très rapidement dans le temps.

Le fait d'ajouter des granulats légers dans du béton mousse réduit de manière notable le retrait.

### 3.1.3 Essais avec béton mousse

Des essais de béton mousse ont été réalisés parallèlement à une étude bibliographique, ce qui a permis d'avoir une bonne vue d'ensemble des caractéristiques du produit et des méthodes de fabrication.

L'agent moussant utilisé pour les essais de laboratoire est un agent moussant protéique, fourni par Isoleringbetong AB (Suède). L'agent moussant qui a une couleur jaunâtre, est un savon résineux à base de protéine de soja. La même société fournit également un malaxeur. Celui-ci s'est toutefois révélé trop puissant pour des essais à petite échelle en laboratoire, et c'est pourquoi on a utilisé un petit malaxeur (destiné en fait au malaxage de mortier de ciment), tant à l'Université de Lund qu'au CNERIB. Ces petits malaxeurs se sont révélés tout aussi efficaces que le malaxeur original.

L'agent moussant est introduit avec l'eau de gâchage dans le malaxeur et mélangé pendant une minute puis le ciment est rajouté et le malaxage continu pendant quatre minutes.

Les premiers tests ont consisté à contrôler comment un ciment ayant différentes surfaces spécifiques et différents taux d'alcali aurait une influence sur les caractéristiques techniques du béton mousse testé. A l'Université de Lund, ont été testées quatre sortes de ciment suédois :

1. Ciment Portland Standard (surface spécifique d'environ 340 m<sup>2</sup>/kg, taux d'alcali normal)
2. Ciment à haute résistance initiale (surface spécifique d'environ 500 m<sup>2</sup>/kg, taux d'alcali normal)

3. Ciment de basse résistance initiale (surface spécifique d'environ 300 m<sup>2</sup>/kg, taux d'alcali bas)

4. Ciment d'injection (surface spécifique d'environ 600 m<sup>2</sup>/kg, taux d'alcali bas)

Les propriétés considérées comme les plus importantes, dans l'optique de l'utilisation du béton mousse comme isolant de toiture, étaient :

- La conductivité thermique
- Les propriétés de résistance (résistance à la compression et à la flexion)
- Les modifications dimensionnelles (retrait et affaissement)
- La protection d'armatures éventuelles (vitesse de carbonatation)
- Le dégagement d'émissions gazeuses.

Les essais au laboratoire ont été effectués au CNERIB avec un ciment algérien dans le but d'évaluer l'influence de différents paramètres ainsi que l'ajout de granulats légers sur la densité recherchée du béton mousse et sur ses propriétés physico-mécaniques.

Ces paramètres sont :

- le niveau de remplissage du malaxeur,
- le temps de malaxage,
- le pourcentage d'agent moussant,
- l'ajout de granulats de liège.

Le dosage des différents constituants a été déterminé sur la base du tableau suivant :

- la densité humide est la densité du mortier avant coulage;
- la densité sèche est la densité des éprouvettes à 28 jours; toutes les éprouvettes ont été conservées dans l'ambiance du laboratoire.

### Dosages des constituants

Les éprouvettes furent fabriquées pour les densités 300, 400 et 500 kg/m<sup>3</sup>, selon la formule du tableau 1. La fabrication se révéla extrêmement fiable pour ce qui est d'obtenir la bonne densité, bien que les tests aient été réalisés pour de faibles densités. La densité humide lors du mélange était d'environ 100 kg/m<sup>3</sup> au-delà de la densité sèche, c'est-à-dire de la densité à 28 jours.

Densité sèche (kg/m <sup>3</sup> )	Densité humide (kg/m <sup>3</sup> )	Eau (kg)	Ciment (kg)	e/c	Agent moussant (kg)
300	400	170	225	0,76	4,9
400	500	194	303	0,64	3,3
500	600	224	374	0,60	2,5

Tableau 3.1.2. Les dosages des constituants pour un grand malaxeur de chantier.

La quantité d'agent moussant nécessaire pour obtenir la densité souhaitée, pour un rapport eau-ciment ( $e/c$ ) donné, variait en fonction du type de ciment. Pour les ciments d'une grande surface spécifique, on a eu besoin de 10 à 25 % d'agent moussant de plus que pour le ciment standard, et pour le ciment de basse résistance initiale (petite surface spécifique), on en a utilisé environ 15 % de moins.

La quantité d'agent moussant nécessaire est également fonction de la température et de la qualité de l'eau. Si on augmente la température du ciment, de l'eau et de l'agent moussant jusqu'à 50 °C lors du mélange, la consommation d'agent moussant augmente de 20 à 50 %. Une eau calcaire exige plus d'agent moussant qu'une eau douce.

### Conductivité thermique

Quelque soit le type de matériau, il y a un rapport évident entre la conductivité thermique, qui est une mesure de l'isolation thermique et la densité. La conductivité thermique dépend aussi de la teneur en eau dans le matériau; dans un climat sec, la conductivité thermique sera plus basse et donc l'isolation thermique meilleure.

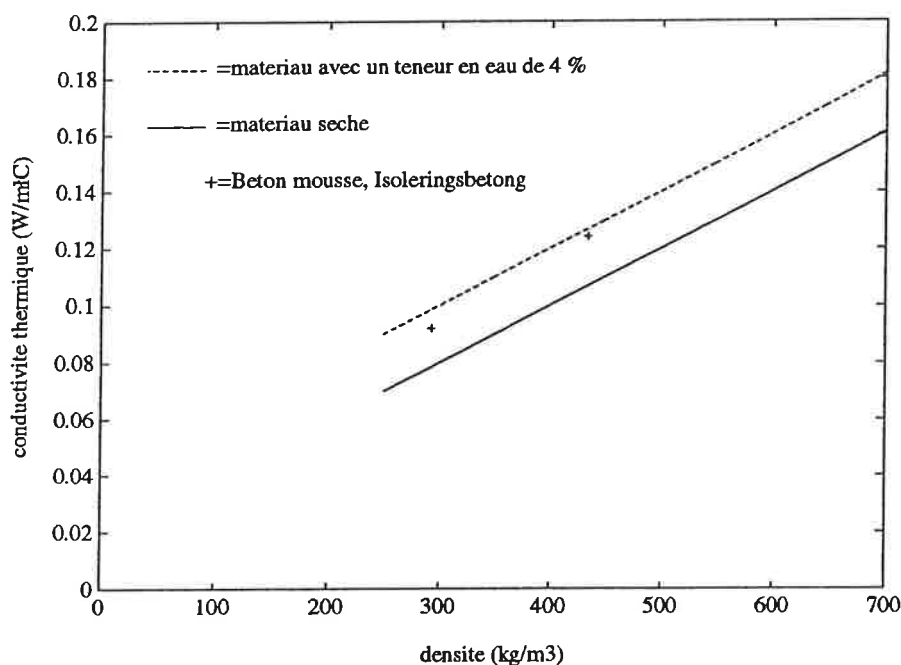


Fig. 3.1.2. Conductivité thermique en fonction de la densité du béton mousse fabriqué en Algérie (éprouvettes non séchées). La courbe de dessus indique le taux applicable en pratique en Suède, la courbe de dessous indique les taux pour matériau sec.

La conductivité thermique pour béton mousse a été mesurée au CNERIB. Les dimensions des éprouvettes étaient  $27 \times 27 \times 5$  cm et celles-ci avaient été conservées à l'air environ quatre mois. Les mesures ont été réalisées selon la méthode de la boîte chaude gardée. On a pu fixer la conductivité thermique en mesurant le flux thermique à travers l'éprouvette, voir fig. 3.1.2.



On les compare avec une courbe moyenne pour béton mousse, pour ce qui est du matériau sec et des taux applicables dans la pratique en Suède (matériau avec 4 % de teneur en eau relative).

Etant donné qu'il fait plus sec en Algérie qu'en Suède, les taux de mesure devraient se situer entre ces deux courbes (éprouvettes non séchées). Si les éprouvettes avaient été testées à la suite d'une longue période de séchage, (taux de séchage plus important), les taux se seraient probablement rapprochés de la courbe de dessous.

### Résistance à la compression

La résistance à la compression varie d'une façon relativement importante selon les différents types de béton mousse. La figure 3.1.3 présente une courbe moyenne de résistance à la compression du béton mousse en fonction de la densité (après le tableau 3.1.1).

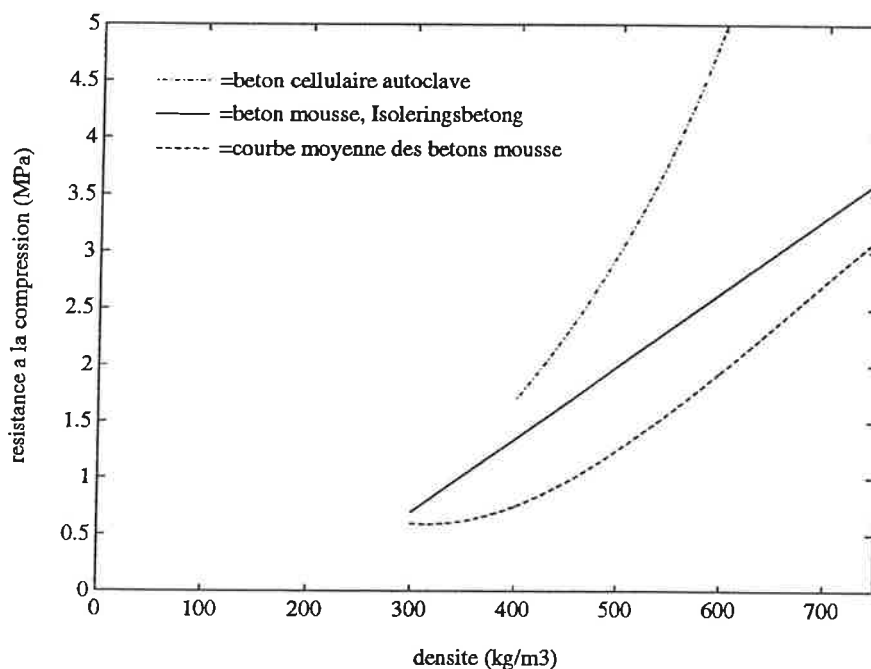


Fig. 3.1.3. Résistance à la compression du Béton mousse d'Isoleringsbetong (Forssberg, 1966) comparé au béton cellulaire autoclavé et une courbe moyenne de béton mousse après le tableau 3.1.1.

La résistance à la compression du béton mousse à 28 jours a été testée pour les quatre sortes de ciments suédois citées ci-dessus pour deux densités : 300 et 500 kg/m<sup>3</sup>. Les tests ont été réalisés avec des cubes de 10 cm d'arête sauf dans un cas, où on a utilisé le malaxeur d'Isoleringsbetong et où les cubes avaient une arête de 15 cm.

A Lund, on a conservé les éprouvettes le premier jour dans des moules sous plastique, puis on les a conservé sous l'eau pendant quatre jours pour finalement les conserver à l'air à 20 °C et dans une humidité relative (HR) d'environ 40 % jusqu'aux essais.

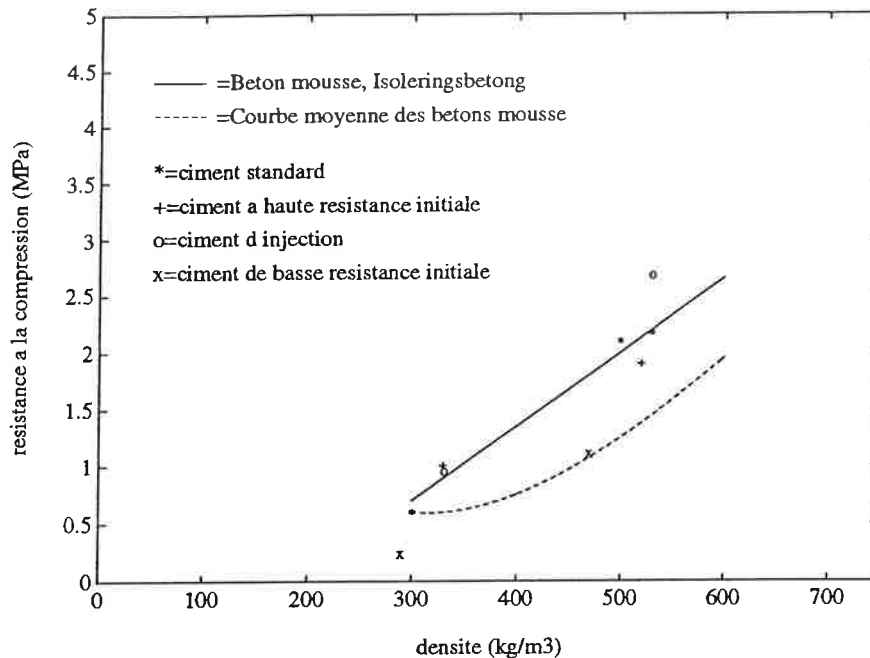
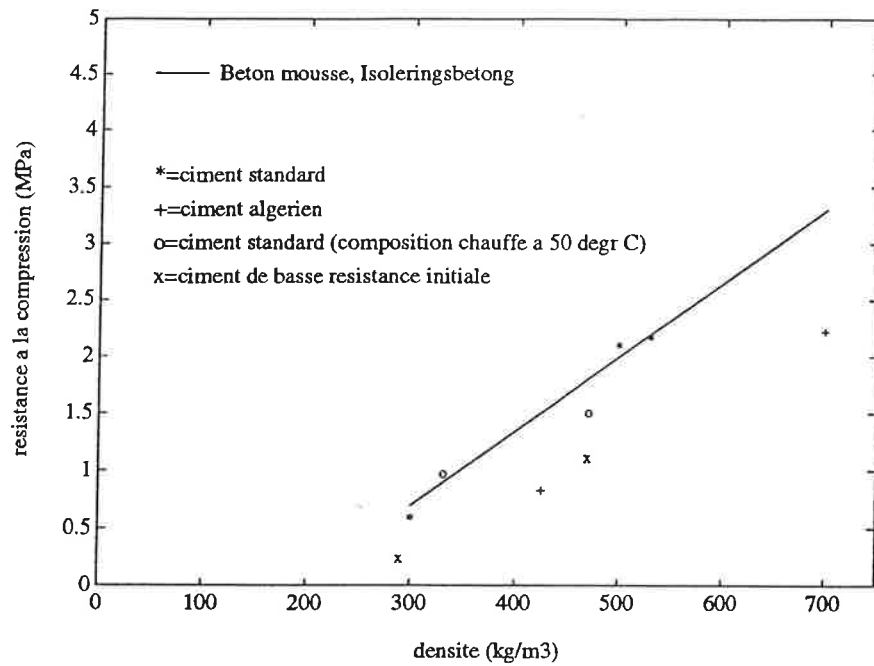


Fig. 3.1.4. La résistance à la compression en fonction de la densité du béton mousse. L'éprouvette avec ciment standard de densité 530 kg/m<sup>3</sup> est fabriquée avec un malaxeur d'Isoleringsbetong. Les coefficients de mesure constituent le coefficient moyen de trois éprouvettes.

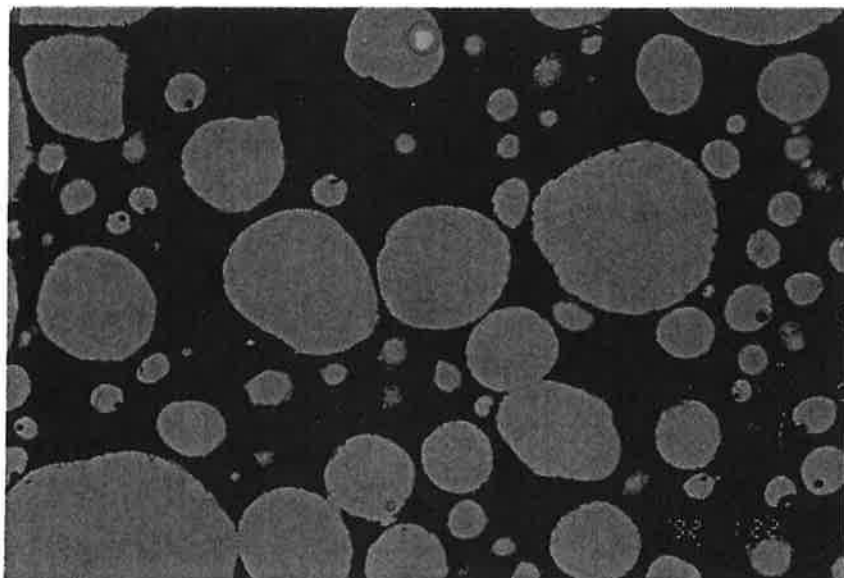
Comme il apparaît sur la fig. 3.1.4, les informations du fabricant concernant le béton mousse d'Isoleringsbetong (Forssberg, 1966) concordent parfaitement avec les résultats obtenus avec le ciment standard. Le ciment à haute résistance initiale et le ciment d'injection suivent également la courbe, exception faite pour une résistance bien plus forte pour le ciment d'injection pour la densité plus forte. Le ciment de basse résistance initiale, par contre, a une résistance bien plus basse que les autres types.

La résistance à la compression du béton mousse fabriqué avec un ciment algérien est indiquée à la fig. 3.1.5. La résistance à la compression est en-deça des informations fournies par le fabricant pour le ciment standard suédois. Il peut y avoir plusieurs raisons. Les éprouvettes algériennes n'ont pas été conservées sous l'eau les premiers jours suivant leur coulage ce qui donne une mauvaise hydratation. Cela peut aussi être dû au fait que la résistance mesurée au bout de 28 jours n'atteint pas son niveau maximal, étant donné que le ciment algérien durcit assez lentement. Finalement on peut dire que le ciment à petite surface spécifique a un effet négatif sur la résistance à la compression.

La résistance à la compression des éprouvettes réalisées à partir d'un ciment standard dont les éléments sont chauffés à 50 °C était plus faible pour une densité de 500 kg/m<sup>3</sup> mais plus forte pour une densité de 300 kg/m<sup>3</sup> que celle avec une température normale, voir fig. 3.1.5.



*Fig. 3.1.5. La résistance à la compression du Béton mousse fabriqué avec du ciment algérien et avec des éléments chauffés (50 °C). On a fait des comparaisons avec la résistance attendue dans des conditions suédoises (ciment standard) ainsi que des résultats d'essais effectués avec du ciment de basse résistance initiale. Les valeurs de mesures constituent les valeurs moyennes de trois éprouvettes.*



*Fig. 3.1.6. Structure cellulaire du béton mousse avec densité d'environ 500 kg/m³ et e/c = 0,60 (grossissement : 20 fois).*

### Résistance à la flexion

La résistance à la flexion a été mesurée pour le béton mousse pour 300 et 500 kg/m<sup>3</sup> pour les quatre types de ciments suédois mentionnés ci-dessus ainsi que pour un ciment algérien, voir fig. 3.1.7. Les éprouvettes avaient comme dimensions 4 × 4 × 16 cm sauf pour une mesure avec du ciment standard où on a utilisé des poutrelles de dimensions 10 × 15 × 80 cm.

On a fabriqué et conservé les éprouvettes de la même façon qu'on avait procédé avec les cubes pour la résistance à la compression. Les valeurs suivent les mêmes schémas que pour la résistance à la compression et sont élevées comparées à d'autres produits (Alexandersson et Skarendahl, 1981; Malmberg et Samuelsson, 1984; Wester, 1987) et sont même un peu plus élevées que pour le béton cellulaire autoclavé, voir fig. 3.1.7.

On a également testé la résistance à la flexion d'éprouvettes où les éléments ont été chauffés à 50 °C ainsi qu'au CNERIB avec du ciment algérien. Les valeurs mesurées ainsi que la valeur de température normale du ciment standard et le ciment de basse résistance initiale, sont indiquées à la fig. 3.1.8. Les valeurs des tests avec du ciment algérien sont largement en-dessous des autres valeurs. Les explications sont variées : voir le paragraphe sur la résistance à la compression ci-dessus.

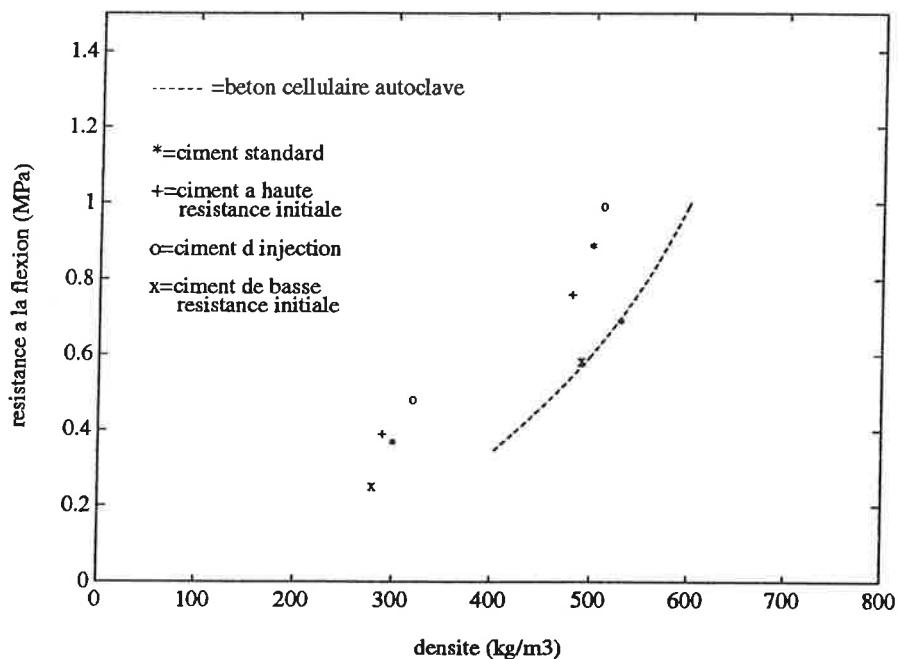


Fig. 3.1.7. Résistance à la flexion mesurée sur le béton mousse avec quatre différents types de ciment. Les valeurs sont comparées avec une courbe de béton cellulaire autoclavé. La valeur différente du ciment standard provient de tests avec éprouvettes 10 × 15 × 80 cm. Les valeurs de mesures constituent la valeur moyenne de trois éprouvettes.

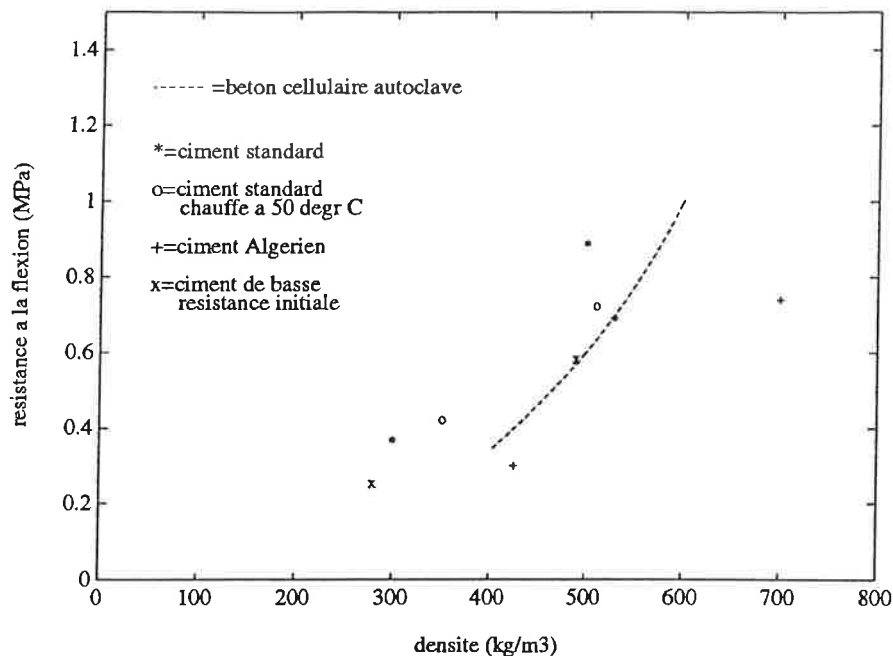


Fig. 3.1.8. Résistance à la flexion mesurée sur béton mousse où les éléments ont été chauffés à 50 °C ainsi que sur du ciment algérien. Les valeurs sont comparées avec la température normale du ciment standard et le ciment de basse résistance initiale. Les valeurs de mesures constituent la valeur moyenne de trois éprouvettes.

### Affaissement

L'affaissement, c'est-à-dire la diminution de volume, a été observé seulement pour des éprouvettes avec du ciment de basse résistance initiale. L'affaissement est probablement dû au lent durcissement initial avec ce ciment. Selon Isoleringsbetong, la mousse conserve sa structure cellulaire pendant environ six heures. Il y a donc affaissement si le ciment n'a pas eu le temps de prendre dans ce laps de temps. Il y a également risque d'affaissement si la température est basse et si le ciment utilisé est trop vieux.

Dans les tests pour lesquels on avait augmenté la température des composants à 50 °C, on a également noté un affaissement, bien que la chaleur accélère la réaction entre le ciment et l'eau. L'affaissement est probablement dû au fait que la chaleur a pour conséquence que la mousse perd plus rapidement sa structure cellulaire.

Le coulage d'un panneau de 240 mm d'épaisseur permet de faire une remarque intéressante. On obtint alors un gonflement, causé par une augmentation du volume d'air dans les cellules, en raison du fort dégagement de chaleur pendant la prise.

## Retrait

Le retrait fut mesuré sur des éprouvettes de dimensions  $7,5 \times 7,5 \times 25$  cm dotées de vis rectifiées aux extrémités. Les modifications de la distance entre les vis furent mesurées avec un comparateur. Les éprouvettes de béton mousse furent fabriquées pour une densité de  $500 \text{ kg/m}^3$  avec du ciment Portland standard, du ciment à haute résistance initiale et du ciment de basse résistance initiale et pour une densité  $300$  avec du ciment Portland standard et du ciment à haute résistance initiale.

Les éprouvettes restèrent dans leurs moules pendant 48 heures recouvertes de plastic, puis furent conservées sous l'eau pendant cinq jours. Elles furent ensuite conservées à l'air à température ambiante. (env.  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ , 35–50 % HR). On commença à mesurer le retrait dès la fin de la conservation sous l'eau.

Le retrait est plus important pour le béton mousse que pour le béton ordinaire puisqu'il n'y a pas de granulat. Le retrait provoque des fissurations, ce qui est souvent un inconvénient. Il est toutefois possible de diminuer considérablement le retrait par une prise en milieu humide les premières semaines suivant le coulage. Une autre manière de limiter le retrait du béton mousse est d'y ajouter du granulat de faible densité (Weigler et Karl, 1980; Cormon, 1982).

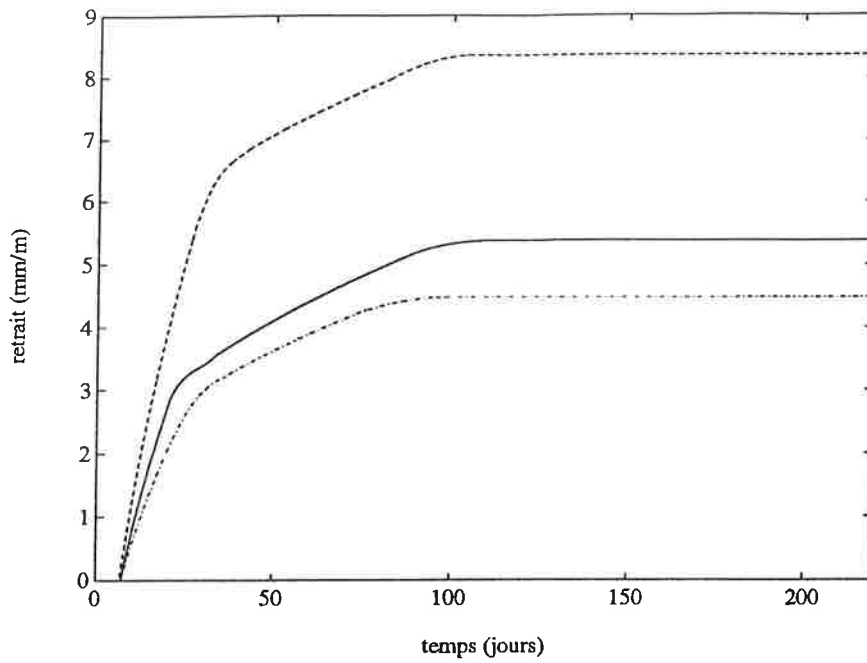
Normalement, le retrait du béton mousse augmente en fonction d'une diminution de densité (Alexandersson et Skarendahl, 1981; ACI, 1986; Nischer, 1983; Walker et Clark, 1988) ce qui correspond bien au béton ordinaire à haute teneur en eau et en air qui provoquent un plus grand retrait. Par ailleurs, on peut considérer qu'on arrive rapidement à la phase finale du retrait du béton mousse et que les variations entre différents types sont importantes (Cormon, 1982).

Les résultats des essais sont indiqués sur les fig. 3.1.9 et 3.1.10.

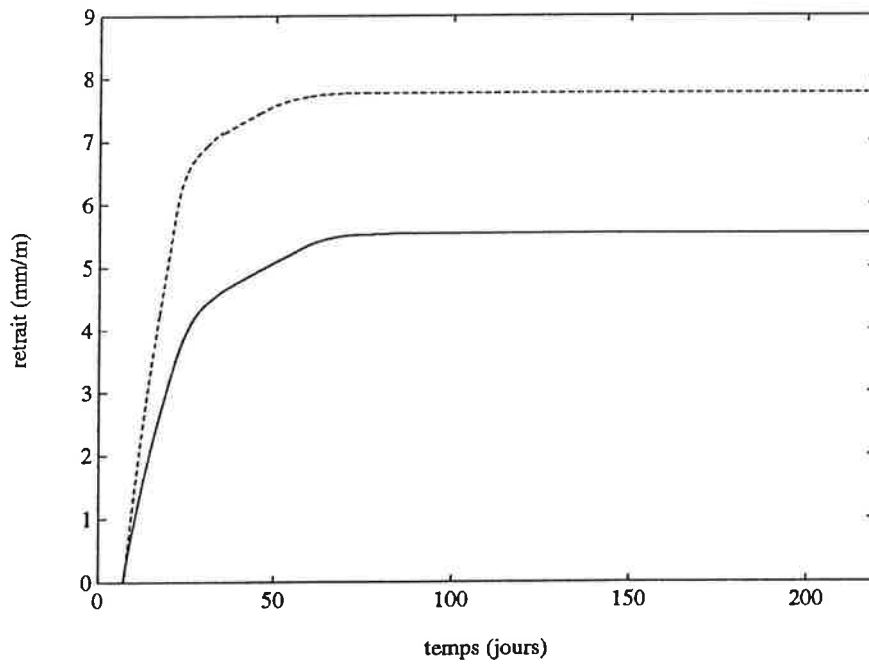
Le retrait du béton mousse est, comme on le voit, important et varie largement en fonction du type de ciment. Le ciment à haute résistance initiale donne des retraits beaucoup plus importants que ceux du ciment standard et presque le double de ceux du ciment de basse résistance initiale. Il est à noter que la densité n'a guère d'influence sur le retrait, que ce soit pour le ciment standard ou pour le ciment à haute résistance initiale. Pour le ciment à haute résistance initiale, plus la densité était faible et plus le retrait était faible !

Selon Alexandersson et Skarendahl (1981), un retrait d'env.  $4 \text{ mm/m}$  est «normal» pour une densité de  $500 \text{ kg/m}^3$ . D'autres études avec la marque Aercrete (Wester, 1987) montrent un retrait de  $6 \text{ mm/m}$  au bout de 60 jours, pour des densités d'environ  $400\text{--}500 \text{ kg/m}^3$  avec du ciment à haute résistance initiale.

Il est évident que les ciments avec grande surface spécifique, type le ciment à haute résistance initiale, donne un retrait bien plus important. Un haut degré d'hydratation peut constituer une explication. Dans du béton mousse avec du ciment standard et du ciment à basse résistance initiale, on peut avoir des grains non-hydratés qui servent de granulat, c'est-à-dire qu'ils freinent le retrait.



**Fig. 3.1.9.** Retrait de béton mousse, densité théorique 500 kg/m<sup>3</sup>, fabriqué avec du ciment Portland standard (ligne en continu) avec du ciment à haute résistance initiale (ligne en tirets) et avec du ciment de basse résistance initiale (ligne en pointillés). Les valeurs relevées constituent les valeurs moyennes de trois éprouvettes.



**Fig. 3.1.10.** Retrait de béton mousse densité théorique 300 kg/m<sup>3</sup>, fabriqué avec du ciment Portland standard (ligne en continu) et avec du ciment à haute résistance initiale (ligne en tirets). Les valeurs relevées constituent les valeurs moyennes de trois éprouvettes.

### Carbonatation

Avec un liquide indicateur coloré (phénolphtaléine plus éthanol), on a mesuré la profondeur de carbonatation sur une éprouvette de béton mousse vieille de trois mois (densité 500 kg/m<sup>3</sup>). La profondeur de carbonatation était d'environ 1 mm, ce qui fait une carbonatation annuelle de 4–5 mm.

C'est là une valeur relativement faible, qui semblerait due à l'environnement sec où l'éprouvette est conservée (30–40 % de HR). Pour une HR plus élevée, la vitesse de carbonatation est probablement plus rapide, comparer par ex. Malmberg et Samuelsson (1984). On ne peut donc escompter que le béton mousse protège l'armature contre la corrosion.

### Détermination des émissions gazeuses

Le béton mousse étant fabriqué avec un agent moussant à base de protéines, il existe un certain risque que le matériau émette des substances pouvant entraîner des désagréments. On a examiné à l'institut National d'Essai des Matériaux et de Recherche à Borås, en Suède, un échantillon de béton mousse, pour ce qui est de l'émission de substances nuisibles à la santé. On a procédé à une chromatographie en phase gazeuse et à une spectroscopie de masse. L'examen révèle que le béton mousse dégage très peu de substances et que les doses sont faibles. Rien n'indique que le produit représente un danger pour la santé donc son utilisation dans des bâtiments d'habitation est possible...

### Niveaux de remplissage du malaxeur

Le malaxeur utilisé pour nos essais est un malaxeur de laboratoire d'une capacité de 4 litres doté de trois vitesses réglables de rotation du batteur.

Les différents niveaux de remplissage ont été : 2 l; 2,5 l; 3 l et 3,5 l.

Les deux compositions soumises à l'essai sont : 400 et 500 kg/m<sup>3</sup>, la composition 300 kg/m<sup>3</sup> a été difficile à obtenir avec le malaxeur du laboratoire. Les éprouvettes obtenues avec cette composition manquent de cohésion lors du démoulage.

Les différents résultats obtenus, sont portés dans les tableaux suivants :

Caracteristiques	Densite humide	Densite sèche	Compression	Flexion
Vol. du malaxeur	Kg/m <sup>3</sup>	Kg/m <sup>3</sup>	28 jrs. (MPA)	28 jrs.(MPA)
2 l	732,6	627,1	2,21	0,81
2,5 l	752,6	596,7	1,92	0,6
3 l	712,6	627,6	2,26	0,76
3,5 l	712,6	600,4	1,93	0,55

Tableau 3.1.3-a.



Caracteristiques	Densite humide	Densite sèche	Compression	Flexion
Vol. du malaxeur	Kg/m <sup>3</sup>	Kg/m <sup>3</sup>	28 Jrs. (MPA)	28 Jrs.(MPA)
2 l	641	476,6	1,1	0,27
2,5 l	592	458,3	1,03	0,25
3 l	616	475,3	1,09	0,48
3,5 l	685	496,1	1,3	0,33

Tableau 3.1.3-b.

D'après le tableau 3.1.3-a (densité théorique 400 kg/m<sup>3</sup>), le niveau de remplissage de 3 l donne de meilleures valeurs du rapport résistance en compression, densité sèche. Pour le tableau 3.1.3-b (densité théorique 500 kg/m<sup>3</sup>), les niveaux 3 l et 3,5 l donnent de bons résultats.

Pour la suite de nos essais, nous retiendrons le niveau 3 l qui correspond au 3/4 de la capacité maximale du malaxeur.

Les différents essais ont été réalisés uniquement à 28 jours.

#### Le temps de malaxage

Dans le but de déterminer le temps optimal de fabrication du béton mousse, nous avons testé différents temps : 3 min, 5 min, 7 min et 9 min. Nous faisons varier uniquement le temps de malaxage après rajout du ciment le temps de mélange de l'eau et de l'agent moussant reste constant.

Ces essais ont été réalisés avec la composition donnant une densité théorique de 500 kg/m<sup>3</sup>. Les différents résultats sont portés dans le tableau 3.1.4.

Caracteristiques	Densite humide	Densite sèche	Compression	Flexion
Tps de malaxage	Kg/m <sup>3</sup>	Kg/m <sup>3</sup>	28 Jrs. (MPA)	28 Jrs.(MPA)
3 min	624	488,2	0,94	0,4
5 min	583,4	467,8	1,02	0,38
7 min	563,1	455,5	1,05	0,38
9 min	560,8	453,2	1,06	0,39

Tableau 3.1.4.

Les résultats montrent que plus on augmente le temps de malaxage, plus la densité diminue mais cette variation est moins sensible à partir de 5 min. Nous retiendrons donc que le temps optimal de malaxage est de 5 minutes.

### Pourcentage d'agent moussant

Le tableau 3.1.2 donne les dosages des constituants pour un grand malaxeur de chantier, avec le petit malaxeur les résultats se trouvent différents de ceux prévus par ce tableau; pour se rapprocher des résultats obtenus à l'échelle réelle, nous avons réalisé des séries d'éprouvettes avec la composition donnant une densité théorique de 500 kg/m<sup>3</sup>, en faisant varier le pourcentage de l'agent moussant.

Les résultats obtenus sont portés dans le tableau 3.1.5.

Caracteristiques	Densite humide	Densite sèche	Compression	Flexion
% Betocel	Kg/m3	Kg/m3	28 Jrs. (MPA)	28 Jrs.(MPA)
1%	760	576,8	2,29	0,98
1,20%	750	574,2	2,3	0,87
1,40%	686	520,8	2,15	0,79
1,60%	617	471,4	1,56	0,76
1,80%	602	470	1,58	0,46
2%	557	419,3	1,47	0,56

Tableau 3.1.5.

Le tableau 3.1.5 montrent qu'à l'échelle du laboratoire les pourcentages d'agent moussant qui donnent des résultats se rapprochant de l'échelle réelle sont 1,6 % et 1,8 % (selon tableau 3.1.2 le pourcentage serait 1,1 %).

Ces 2 pourcentages ont été retenus pour les essais complémentaires.

### Essais avec ajout de granulats de liège

Les essais avec liège ont été réalisés avec des résidus de 2 types de liège : *liège blanc* et *liège noir*; les résidus de liège se trouvent sous la forme d'un produit de granulométrie variant entre 0 et 4 mm. Pour nos essais nous avons repartis chaque type de liège en 3 granulométries différentes : 0-2 mm, 2-4 mm et 0-4 mm.

En fonction du type de liège et de sa granulométrie nous avons réalisé différentes séries d'éprouvettes avec la composition donnant une densité théorique de 500 kg/m<sup>3</sup> en faisant varier les pourcentages de granulats de liège rajoutés à la composition.

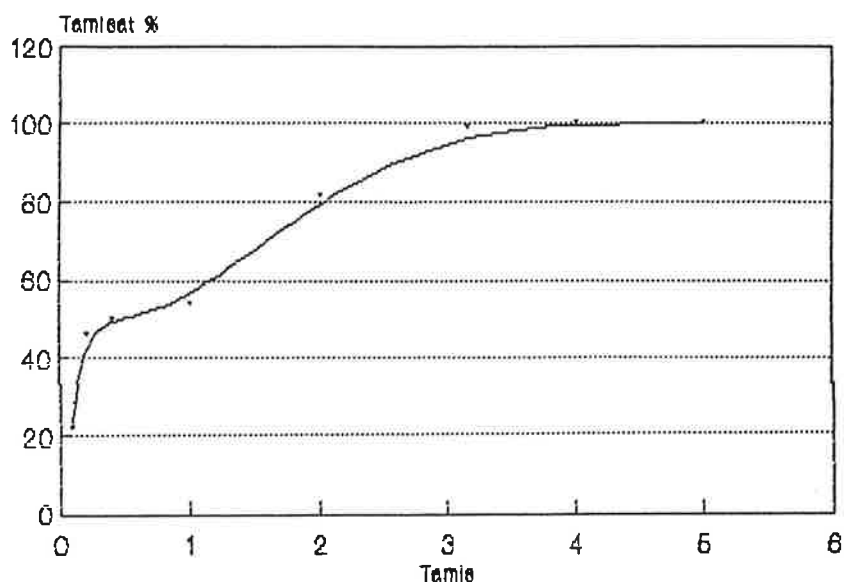
### 1- Essais avec liège blanc

Nous avons déterminé les densités apparentes des différentes granulométries des résidus de liège blanc; les résultats sont portés dans le tableau 3.1.6.

Granulométrie	Densité apparente (kg/m <sup>3</sup> )
0-2 mm	235
2-4 mm	151
0-4 mm	243

Tableau 3.1.6.

Sur les résidus non tamisés, nous avons effectué une analyse granulométrique dans le but de connaître les proportions de chaque granulométrie du liège; les résultats sont portés dans le graphe suivant :



Les différents pourcentages testés sont déterminés par rapport au poids de ciment utilisé dans la composition et qui est lui même déterminé à partir du tableau 3.1.2.

Nous avons réalisé pour chaque granulométrie, une série d'éprouvettes dont les pourcentages en liège ont été les suivants : 5 %, 10 %, 15 % et 20 %.

Les différents résultats obtenus sont portés dans le tableau 3.1.7.

Les valeurs obtenues montrent que pour les granulométries 0-2 mm et 0-4 mm les densités humides et sèches s'éloignent beaucoup des valeurs théoriques. Plus le pourcentage en liège est élevé plus les densités sont élevées; ceci est dû au fait que ces 2 granulométries contiennent une quantité assez importante de poudre de liège (farine de liège). Pour 20 % les compositions obtenues sont en forme de pâte, ce qui a donné des densités trop élevées.

Caractéristiques % Liège	Densité humide Kg/m <sup>3</sup>	Densité sèche Kg/m <sup>3</sup>	Compression ( MPA )		Flexion ( MPA )	
			7 jours	28 jours	7 jours	28 jours
<b>0-2 mm</b>						
5%	645	565	0,79	1,54	0,37	0,47
10%	660	547	0,14	0,75	0,18	0,24
15%	955	903	1,17	2,3	0,56	0,72
20%	1246	1107	2,7	4,37	0,93	1,23
<b>2-4 mm</b>						
5%	672	516	1,65	2,58	0,42	0,43
10%	658	539	1,06	2,21	0,44	0,45
15%	685	585	0,56	1,2	0,3	0,33
20%	597	473	0,71	1,33	0,28	0,32
<b>0-4 mm</b>						
5%	570	477	1,12	0,61	0,39	0,33
10%	592	489	0,7	0,34	0,26	0,21
15%	659	384	0,67	0,47	0,21	0,23
20%	1145	967	2,77	2,94	0,98	1,2

Tableau 3.1.7.

Pour la granulométrie 2–4 mm les résultats obtenus sont assez bons, ceux obtenus avec les 10 % et 20 % sont très intéressants nous les retiendrons pour les essais complémentaires.

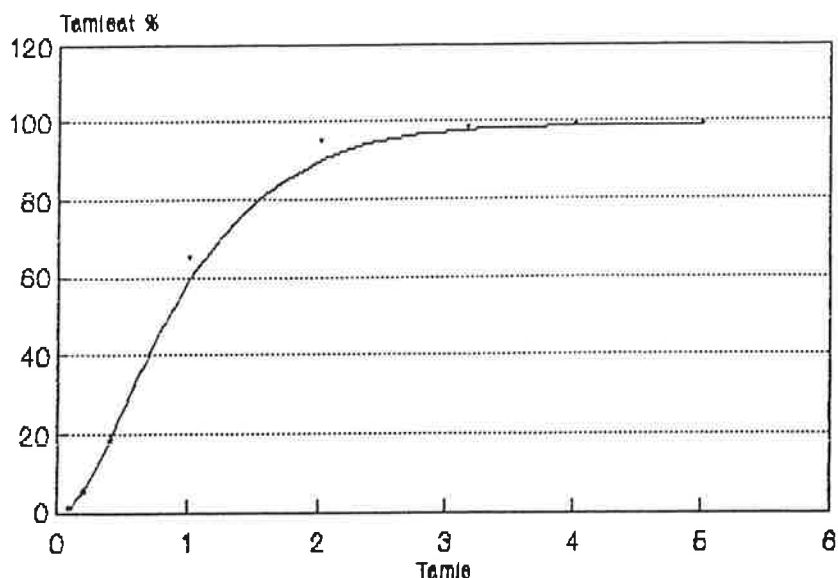
### 2– Essais avec liège noir

Comme pour liège blanc nous avons déterminé les densités apparentes des différentes granulométries des résidus de liège noir; les résultats sont portés dans le tableau 3.1.8.

Granulométrie	Densité apparente (kg/m <sup>3</sup> )
0–2 mm	60
2–4 mm	70
0–4 mm	62

Tableau 3.1.8.

Les résultats obtenus de l'analyse granulométrique effectuée sur les résidus de liège non tamisés sont portés dans le graphe suivant :



Pour le liège noir, il n'a pas été possible de tester les compositions avec 20 %. Du fait de sa densité apparente basse, les quantités obtenues sont considérables et le mortier obtenu n'avait aucune cohésion.

Les résultats obtenus avec les autres pourcentages sont portés dans le tableau 3.1.9.

Caractéristiques	Densité humide Kg/m <sup>3</sup>	Densité sèche kg/m <sup>3</sup>	Compression ( MPA )		Flexion ( MPA )	
			7 jours	28 jours	7 jours	28 jours
<b>% liège</b>						
<b>0-2 mm</b>						
5%	554	507	0,41	1,36	0,27	0,43
10%	463	469	0,4	0,57	0,26	0,28
15%	632	569	0,44	0,88		0,37
<b>2-4mm</b>						
5%	595,7	499	1,23	2,49	0,4	0,32
10%	553,2	476	1,04	1,96	0,38	0,26
15%	455,2	376,7	0,71	1,44	0,26	0,34
<b>0-4 mm</b>						
5%	532	429	1,19	0,56	0,32	0,27
10%	450	507	1,12	0,81	0,35	0,46

Tableau 3.1.9.

Le tableau montre que les bons résultats sont obtenus avec les granulométries 0-4 mm et 2-4 mm nous constatons que plus on rajoute du liège plus les densités diminuent mais à partir de 15 % les éprouvettes n'ont pas une bonne stabilité dimensionnelle.

Nous retiendrons les compositions à 10 % pour les deux granulométries 0-4 et 2-4 mm pour les essais complémentaires.

## 3.2 Panneaux en laine de bois

### 3.2.1 Définition



*Fig. 3.2.1. Exemples de panneaux en laine de bois (épaisseur : 5 cm). A gauche fabrication industriel (bois de sapin), à droite fabrication manuel (bois d'eucalyptus Algérien).*

Le panneau en laine de bois est aujourd'hui répandu un peu partout à travers le monde. Ses procédés de fabrication sont simples et bien connus : on mélange de la laine de bois, du ciment et de l'eau et on les presse pour obtenir un panneau. La quantité de ciment est environ le double de celle de la laine de bois. La laine de bois peut être fabriqué à partir d'un certain nombre de type de bois. A condition que le taux de sucre ne soit pas trop élevé, ce qui rendrait la conservation plus difficile, et que la laine ait la bonne «souplesse» pour la formation des pores d'air.

On fabrique, en général, le panneau en laine de bois dans des usines. Celles-ci peuvent avoir différents niveaux de mécanisation et d'automatisation. Dans les pays industriels, la production est presque entièrement automatisée alors que dans les pays en voie de développement, comme précédemment dans les pays industriels, on a recours à des unités de production plus manuelles. Ces dernières années, on a lancé un certain nombre d'usines dans les pays en voie de développement.

L'instrument de production le plus important est une raboteuse pour la fabrication de la laine de bois. Il est également important de disposer d'un bon malaxeur pour abaisser la densité, ce qui est nécessaire pour obtenir, par la suite, une bonne isolation thermique. Avec une raboteuse et un malaxeur auxquels il convient d'ajouter un certain nombre d'accessoires, il est parfaitement possible de démarrer la production de panneaux.

Les panneaux en laine de bois sont fabriqués à partir de fibres de bois et d'un liant qui est généralement le ciment. Cependant d'autres liants peuvent être utilisés comme la magnésite ou le plâtre. Il existe différents types de produits dont les principaux sont :

- *Les panneaux standards* qui sont principalement utilisés comme panneaux thermiquement isolants de murs et de toitures.
- *Les panneaux acoustiques* qui sont utilisés comme insonorisation dans les plafonds.

Il existe aussi des panneaux armés utilisés comme panneaux isolants dans la construction des toitures.

Les fibres de bois qui sont utilisées proviennent du rabotage des troncs et elles ont les dimensions suivantes :  $500 \times 4 \times 0,3$  mm pour les panneaux thermiques et  $500 \times 2 \times 0,3$  mm pour les panneaux acoustiques. Pour la fabrication des panneaux, les fibres sont d'abord humidifiées avec de l'eau à laquelle on a ajouté du chlorure de calcium pour accélérer la prise du ciment, puis elle sont mélangées avec le ciment dans un malaxeur adéquat et ensuite pressées dans un moule jusqu'à obtention d'un panneau dur et stable.

Le tableau 3.2.1 ci-dessous représente quelques caractéristiques des panneaux en laine de bois.

Epaisseur (cm)	3	5	7	10	12	15
Poids (kg/m <sup>2</sup> )	11	16	21	28	33	42
Densité sèche (kg/m <sup>3</sup> )	320	300	280	260	260	260
Conductivité thermique (W/m°C)	0,080	0,075	0,075	0,075	0,075	0,075
Résistance à la flexion (MPa)	0,7	0,5	0,4	0,4	0,3	0,3
Résistance à la compression (MPa)	0,4	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2
Résistance à la compression à 10 % déformation (MPa)		0,10		0,10		

Tableau 3.2.1. Caractéristiques des panneaux en laine de bois.

Les panneaux en laine de bois sont résistants à l'humidité, au pourrissement et à l'attaque des termites. Ils sont, en outre, classés comme non inflammables.

### 3.2.2 Essais avec eucalyptus

L'analyse de l'inventaire des ressources forestières montre d'importantes plantations de différents types de bois. Dans ces plantations, qui ne sont pas valorisées par des industries de transformation, on trouve différents types d'eucalyptus : l'*eucalyptus gomphocephala*, l'*eucalyptus camaldulensis* et l'*eucalyptus globulus*. Le premier, d'après une étude précédente semble parfait pour la fabrication de panneaux en laine de bois, le second et le troisième n'ont pas encore été testés.

Une autre sorte d'arbre possible est le pin d'Alep, qui pousse naturellement dans les pays méditerranéens et dont les plantations couvrent d'importantes surfaces en Algérie. Il a été testé et il est utilisable pour des panneaux en laine de bois.



La meilleure méthode pour tester la compatibilité d'un type de bois pour la production de panneaux en laine de bois est simple, elle consiste à fabriquer des éprouvettes et analyser les résultats obtenus. Dans le but d'étudier les différents types d'arbres algériens mentionnés ci-dessus, on expédia, à des usines suédoises, un certain nombre de troncs.

On effectua un premier test avec l'*eucalyptus camaldulensis*. On le rabota dans les raboteuses de l'usine et on fabriqua ensuite deux panneaux à la main. On utilisa une méthode de fabrication qui consiste à tremper la laine dans une laitance de ciment (méthode dite humide), au lieu d'humidifier la laine et de la saupoudrer de ciment (méthode sèche). Cette méthode a l'inconvénient de produire un panneau plus lourd, mais elle est largement suffisante pour apprécier l'adhésion entre la laine et la pâte de ciment.

L'essai a bien réussi car on a obtenu une excellente adhésion entre le ciment et la laine de bois. On n'a pas réalisé d'essais de résistance mécanique, mais la société T-Produkterna estime qu'il est tout à fait possible de produire des panneaux en laine de bois avec ce type de bois.

En raison du procédé de fabrication, le panneau était lourd. Au bout de quelques mois de conservation dans une température ambiante, le panneau de 5 cm d'épaisseur avait une densité de 380 kg/m<sup>3</sup>.



*Fig. 3.2.2. Rabotage de l'eucalyptus camaldulensis à l'unité de production des «T-produkterna» d'Österbymo (à gauche). Le volume de laine obtenu avec un tronc et demi était légèrement supérieur à un mètre cube (à droite).*



*Fig. 3.2.3. On a trempé la laine dans une laitance de ciment (à gauche) puis on l'a répartie dans un moule (à droite). Celui-ci est rempli à environ le double de sa hauteur.*



*Fig. 3.2.4. On a pressé la laine avec un poids placé dans le moule (à gauche). L'image de droite montre le panneau après 24 heures dans le moule. Au bout de trois jours on l'a démoulé.*

Un autre essai de production a été réalisé dans la même usine avec un tronc d'eucalyptus *Gomphocephala* mais cette fois par la méthode dite sèche. Le tronc a été raboté pour avoir les

fibres nécessaire, puis celles-ci ont été introduite dans l'eau de gâchage additionnée de chlorure de calcium pour accélérer la prise du ciment. Les fibres imbibées d'eau furent ensuite saupoudrées de ciment puis malaxées manuellement. Le produit ainsi obtenu fut introduit dans deux moules en bois d'une profondeur de 5 cm et pressé avec un bloc en béton. Le décoffrage eu lieu après 24 heures et les panneaux présentait une bonne stabilité et l'adhésion des fibres avec le ciment était parfaite. Une éprouvette de 27 × 27 cm fut ensuite sciée du panneau pour subir des tests de conductivité thermique.

### 3.2.3 Conclusions

Lors de la fabrication de panneau en laine de bois d'*eucalyptus camaldulensis* et *gomphocephala*, on a obtenu une excellente adhésion entre la laine de bois et le ciment et les panneaux obtenus présentent de bonnes stabilités dimensionnelles.

Il est toutefois nécessaire de tester les autres sortes d'eucalyptus répandus en Algérie (et éventuellement d'autres types de bois) pour trouver les types de bois compatibles avec le ciment et aptes à une production de panneaux isolants.

# 4 Domaines d'application

## 4.1 Application en Algérie

### 4.1.1 Introduction

Si on veut introduire de nouveaux matériaux de construction, il est nécessaire d'être à l'écoute des exigences et des demandes des utilisateurs. Les entrepreneurs et les auto-constructeurs choisissent le plus souvent des matériaux de construction essentiellement en fonction du prix et, accessoirement, en tenant compte de la qualité. Il est également important que le nouveau matériau de construction s'adapte bien à la construction traditionnelle sans qu'il soit nécessaire de procéder à d'importantes modifications des méthodes de travail. Une telle adaptation est, en général, coûteuse en temps et en argent et exige une formation professionnelle renouvelée à différents niveaux ainsi que d'importants investissements dans de nouveaux équipements.

Lorsqu'on développe un matériau de construction dans le cadre de projets gouvernementaux et de coopération, on assume également une certaine responsabilité pour que le matériau mis au point contribue au développement du pays et pour qu'il soit de bonne qualité. Les aspects écologiques sont aussi importants, dans la mesure où il faut veiller à ce que la fabrication de ces matériaux n'engendre pas de déchets polluants et à ce qu'ils ne soient pas une menace pour la santé et le bien-être des habitants.

Pour ce qui est de la fabrication, en Algérie, de matériaux thermiquement isolants, les facteurs considérés ci-dessus plaident pour une production rationnelle dans des unités petites ou moyennes. Ce qui permettrait d'avoir des coûts d'investissement réduits et d'abaisser les frais de transport tout en conservant un niveau de qualité acceptable. Pour s'assurer que ces matériaux ont une bonne tenue et ne sont pas polluants, il faudrait prioritairement donner la préférence à des matériaux ayant déjà fait leur preuve depuis longtemps dans d'autres pays et qui soient également à base de matières premières naturelles.

Dans un premier temps, l'introduction de matériaux thermiquement isolants devrait contribuer non à augmenter mais plutôt à réduire les coûts de la construction afin d'y intéresser les entrepreneurs et les auto-constructeurs. Ce qui implique que le matériau thermiquement isolant remplace un des autres composants de la construction et, de préférence, à un prix plus intéressant. Si on décide, par exemple, de remplacer, dans une toiture plate, l'hourdis par des panneaux en laine de bois, cela ne sera possible que si les coûts d'utilisation de ces derniers sont inférieurs à ceux de l'hourdis. Le facteur temps joue ici aussi un rôle important, et il a été démontré que la construction avance plus rapidement avec les panneaux en laine de bois qu'avec l'hourdis (voir chapitre 4.3).

Dans une perspective plus lointaine, on peut accepter une augmentation des coûts de construction entraînée par l'utilisation de matériaux thermiquement isolants, à condition de réduire les coûts de chauffage et de climatisation ou bien d'améliorer le climat ambiant. Cela implique, sans aucun doute, des contraintes administratives de la part des autorités sous forme de normes à respecter, ou alors différentes formes de mesures d'encouragement à la construction sur le plan de l'économie nationale et sous l'angle des économies d'énergie.

Il ne faut guère s'attendre à ce que les entrepreneurs prennent une responsabilité à long terme quant à la construction et à l'utilisation des bâtiments ni à ce qu'ils prennent l'initiative de réduire les coûts globaux de construction et de gestion. Par contre, ceux qui gèrent ces bâtiments seront en mesure d'exiger une modification de la construction basée sur des perspectives à long terme, comprenant les économies d'énergie, le respect de l'environnement et la rentabilité globale.

## 4.1.2 Béton mousse

Le béton mousse est un béton léger cellulaire pour l'isolation des constructions, produit avec les mêmes matériaux de base qu'un béton ordinaire. La porosité caractéristique d'un béton mousse est obtenue par l'addition d'un agent moussant dans l'eau de gâchage et le mélange des constituants dans un malaxeur adéquat. L'expansion est produite par un agent moussant qui crée une mousse stable et volumineuse.

Les différentes utilisations du béton mousse en fonction de leurs masse volumique apparente sèche sont :

### **Densité entre 200 et 800 kg/m<sup>3</sup>**

La conductivité thermique de ces bétons varie entre 0,08 et 0,30 W/m°C selon leur masse volumique apparente sèche.

- Isolation thermique de remplissage des murs et des planchers.
- Remplissage isolant de murs préfabriqués.
- Formes de pentes, formes sur terre-plein.
- Blocs pleins manufacturés à condition que la résistance du béton soit supérieure à 2,5 MPa (25 kp/cm<sup>2</sup>).
- Isolation des toitures inclinées par des éléments préfabriqués.

### **Densité comprise entre 800 et 1800 kg/m<sup>3</sup>**

Ces béton ont de faibles résistances mécaniques (résistance à la compression supérieure à 5 MPa (50 kp/cm<sup>2</sup>), mais peuvent dans certaines limites être porteurs. La conductivité thermique utile de ces bétons varie entre 0,3 et 0,8 W/m°C.

- Éléments de construction préfabriqués
- Blocs manufacturés plein ou creux.
- Béton non-armé (les armatures nécessite une protection spéciale).
- Murs banchés faiblement sollicités.

Dans l'isolation des toitures et planchers ou en utilisation dans la forme de pente, il est recommandé de mettre en oeuvre un béton de densité de  $300 \text{ kg/m}^3$  et de le protéger par une couche de béton d'une densité supérieure à  $1200 \text{ kg/m}^3$  avant la couche de finition (bitume ou autre).

Les éléments préfabriqués (pour murs et plancher), peuvent être manufacturés en usine ou sur site à l'aide de moules pour éviter le transport.

### 4.1.3 Panneaux en laine de bois

Les panneaux en laine de bois peuvent facilement être fabriqués en Algérie. Les matières premières sous la forme de bois adéquates, de ciment et d'eau sont disponibles. Les améliorations du climat intérieur auxquelles on peut arriver avec un matériau qui isole de la chaleur, sont ignorées de beaucoup. Une façon d'accroître l'utilisation de matériau isolant serait de fabriquer et de vendre des maisons qui possèdent du matériau isolant.

#### **Domaine d'application**

Le panneau en laine de bois convient parfaitement à la technique du bâtiment algérien et devrait donc facilement pouvoir être introduit en Algérie.

Dans les toitures plates modernes, qui comprennent un plancher en béton avec des hourdis en brique ou en béton, ceux-ci pourraient être remplacés par des panneaux en laine de bois. Une telle toiture pourrait être recouverte d'un enduit au plafond, le panneau en laine de bois étant un parfait support d'enduit, ou laissée telle quelle, ce qui constituerait une isolation acoustique parfaite, par exemple pour des locaux recevant du public ou dans des ateliers bruyants.

Le panneau en laine de bois peut aussi être utilisé pour des murs extérieurs pour en améliorer l'isolation thermique. Les panneaux sont découpés en blocs et les murs sont maçonnés en laissant de la place pour le montant en béton comme on le fait pour le bloc en brique, en béton et en siporex.

#### **Avantages à l'utilisation de panneaux en laine de bois**

En remplaçant, dans la construction de toiture utilisée actuellement, les hourdis par des panneaux en laine de bois, on pourrait abaisser le coefficient  $k$  de 1,6 à  $0,5 \text{ W/m}^2\text{°C}$ . La cadence de production pourrait probablement augmenter, les panneaux étant plus grands que les hourdis traditionnels et donc plus rapides à installer. Sans parler de l'insonorisation qu'on obtient en plus.

On obtiendrait une possibilité d'isolation thermique bien supérieure si on remplaçait le matériau actuel par des panneaux en laine de bois. Leur valeur  $\lambda$  est environ 2,5 fois moindre que celle de Siporex. (Siporex a la valeur  $\lambda$  la plus faible de tous les matériaux utilisés actuellement dans les murs).

La fabrication de panneaux en laine de bois aurait l'avantage de permettre d'utiliser le bois de l'eucalyptus si répandu dans le pays. Des tests ont démontré que plusieurs sortes d'eucalyptus existant en Algérie se prêtent parfaitement à la fabrication de panneaux en laine de bois.

Bien que le panneau en laine de bois contiennent du bois, il est connu pour sa résistance au pourrissement. Le milieu basique engendré par le ciment contribue à la protection du bois. Le panneau n'est pas attaqué par les termites et il est classé comme non inflammable. Ses qualités acoustiques sont excellentes et les panneaux sont souvent utilisés comme absorbeurs de sons.

## 4.2 Essais de toitures

### 4.2.1 Objectifs

Lors de l'introduction de nouveaux matériaux de construction, c'est un avantage si ceux-ci s'intègrent à la technique de construction utilisée. Si cela n'est pas le cas, c'est-à-dire si l'emploi d'un nouveau matériau doit entraîner l'introduction d'une nouvelle technique de construction, le processus peut prendre du temps et se révéler délicat. Tant le béton mousse que le panneau en laine de bois conviennent parfaitement à la technique de construction en Algérie, spécialement pour les toitures plates.

L'objectif, avec des essais à grande échelle, est de tester les procédés d'utilisation possibles des panneaux en laine de bois et du béton mousse dans les toitures plates. De tels tests à grande échelle permettent d'acquérir des connaissances pratiques sur le degré de difficulté de construction de ces toitures. Les essais à grande échelle permettent également de vérifier si les toitures peuvent supporter les charges pour lesquelles elles sont conçues.

Dans les trois constructions décrites ci-dessous, sont inclus les matériaux d'isolation thermique dans la charpente de la toiture. (Pour ce qui est du béton mousse, ce matériau peut être avantageusement utilisé par-dessus une ossature portante).

### 4.2.2 Conditions

La toiture est supposée être chargée de personnes, etc. Les normes en vigueur en Algérie concernent avant tout la résistance à la compression et à la flexion. Les toitures de ce type doivent pouvoir supporter une charge de  $400 \text{ kg/m}^2$  et la flèche ne doit pas dépasser  $1/500$  de la portée. Dans une habitation normale, la portée maximal est 3,6 m.

Pour ce qui est de la conductivité thermique, il n'existe pas encore de normes en Algérie. Dans une étude réalisée dans les années 70, il est recommandé, pour les toitures, un coefficient  $k$  entre 0,7 et  $1,4 \text{ W/m}^2\text{C}$ , où la valeur la plus faible concerne la zone climatique correspondant au désert<sup>2</sup>. Les simulations par ordinateur effectuées à l'Université de Lund montrent qu'une meilleure isolation peut améliorer le climat intérieur dans cette région. Pour

---

<sup>2</sup>Projet de l'arrêté relatif au confort acoustique et thermique (...) dans les immeubles d'habitation collective, Le Ministère de l'Urbanisme, de la Construction et de l'Habitat, 1975.

des coefficients  $k$  inférieurs à 0,35, l'effet reste très marginal (concerne les constructions de bâtiments dans les zones climatiques les plus chaudes)<sup>3</sup>.

En Algérie, les toitures plates sont en principe constituées d'une dalle en béton constituée de hourdis reposant sur des poutrelles préfabriquées et sur lesquels on coule une dalle de compression en béton d'une épaisseur d'environ 5 cm au-dessus des hourdis. L'ossature porteuse est donc constituée d'un système de poutres en T. Les hourdis servent d'éléments de remplissage et contribuent ainsi à l'isolation thermique.

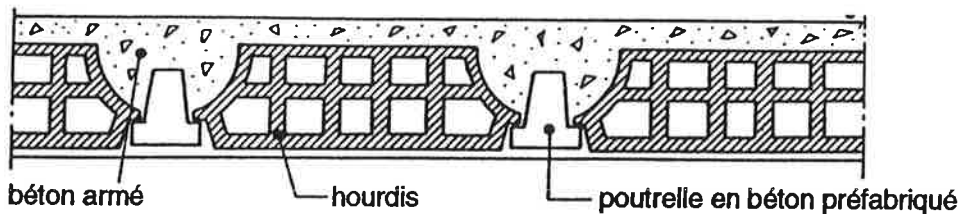


Figure 4.2.1. Type courant de toiture plate en Algérie. On place les hourdis entre les poutrelles préfabriquées et on coule par-dessus une dalle de béton armé.

Ces toitures remplissent les conditions de compression et de flexion énoncées ci-dessus. Le coefficient  $k$  est d'environ  $1,9 \text{ W/m}^2\text{°C}$ .

Par-dessus la dalle on coule une forme de pente pour l'écoulement des eaux de pluie, avec une déclivité de 2 à 3 %, ce qui représente une surcharge d'environ  $100 \text{ kg/m}^2$ .

### 4.2.3 Description des toitures

Au laboratoire Matériaux de Construction de Lund on a construit trois toitures. Elles sont posées sur des murs en Siporex et la portée est de 3,6 m.

#### Toiture 1

Cette toiture ressemble à celles construites en Algérie. La différence essentielle est qu'on a remplacé les hourdis par des panneaux en laine de bois, qui ont une bien meilleure conductivité thermique (voir fig. 4.2.2). Le panneau en laine de bois convient parfaitement à ce type de construction étant donné qu'on le fabrique dans les dimensions qui correspondent à celles dont il est ici question. Les panneaux en laine de bois sont également suffisamment rigides pour supporter le poids d'un homme au cours des travaux. On peut les fabriquer dans des épaisseurs variées (ou les placer les uns sur les autres) et obtenir ainsi le coefficient  $k$  désiré.

<sup>3</sup>Normes de construction en milieu désertique. Simulation par ordinateur lors de la définition des normes de construction pour un climat chaud et sec par Hans Rosenlund (rapport lors du séminaire «Climat et construction», Alger 23-24 novembre 1987).



Une autre modification consiste à diminuer la largeur du béton entre les panneaux en laine de bois, dans l'épaisseur de l'âme des poutrelles, pour atténuer les ponts thermiques. Il faut, en outre, ajouter une armature verticale dans l'âme, pour absorber les efforts de cisaillement.

Le coefficient  $k$  de la toiture de la fig. 4.2.2 est d'env.  $0,5 \text{ W/m}^2\text{°C}$ . Le plafond peut être recouvert d'un enduit de manière traditionnelle ou laissé tel quel.

On pourrait aussi utiliser, au lieu de panneaux en laine de bois, des blocs armés ou non armés de béton mousse.

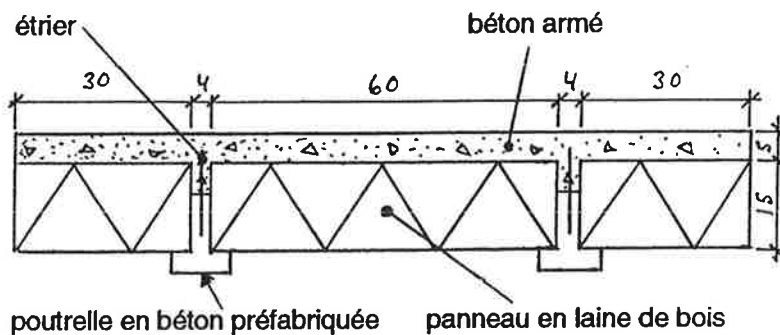


Figure 4.2.2. Toiture traditionnelle avec ossature porteuse en béton armé et où on a remplacé les hourdis par des panneaux en laine de bois et où on a diminué les ponts thermiques.

## Toiture 2

La deuxième toiture a, comme la première, une poutrelle porteuse en T avec laquelle on utilise des panneaux en laine de bois comme isolant. La différence est que le dessous de la toiture est formé d'une suite de panneaux en laine de bois, voir fig. 4.2.3. Ce qui veut dire que l'âme des poutrelles en T ne traverse pas toute la toiture et contribue donc à atténuer l'effet des ponts thermiques.

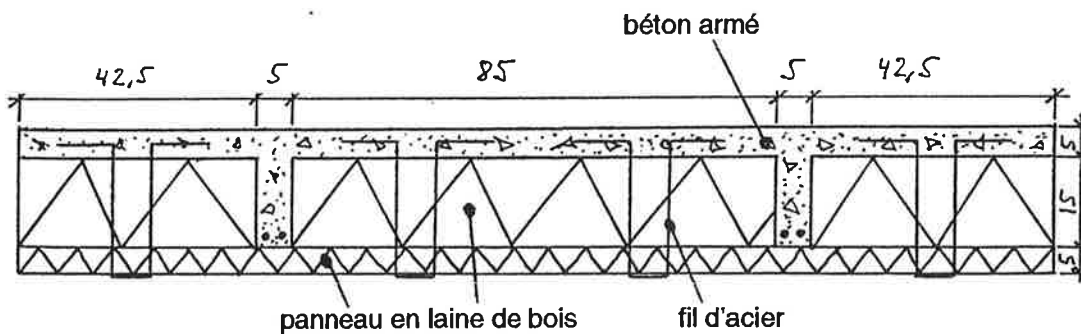


Figure 4.2.3. Toiture avec ossature porteuse en béton et isolation thermique avec panneaux en laine de bois. Les ponts thermiques sont interrompus par une suite ininterrompue de panneaux en laine de bois.

Les panneaux de dessous sont maintenus en place à l'aide de minces étriers en acier dont les extrémités sont coulées dans la dalle de compression.

La distance entre l'âme de la poutrelle et l'épaisseur des panneaux en laine de bois peut varier. Le coefficient  $k$  de la toiture de la figure 3 est environ  $0,4 \text{ W/m}^2\text{C}$ .

Le plafond peut être recouvert d'un enduit ou laissé tel quel.

### Toiture 3

La troisième toiture est une construction sandwich avec du béton mousse comme isolant thermique. On coule le béton mousse sur des dalles en béton préfabriqués. On coule une dalle de compression sur le béton mousse. Celle-ci est solidarifiée aux dalles en béton de dessous avec des armatures, qui sont destinés à absorber les efforts de cisaillement.

Le coefficient  $k$  de la toiture de la figure 4.2.4 est environ  $0,5 \text{ W/m}^2\text{C}$ .

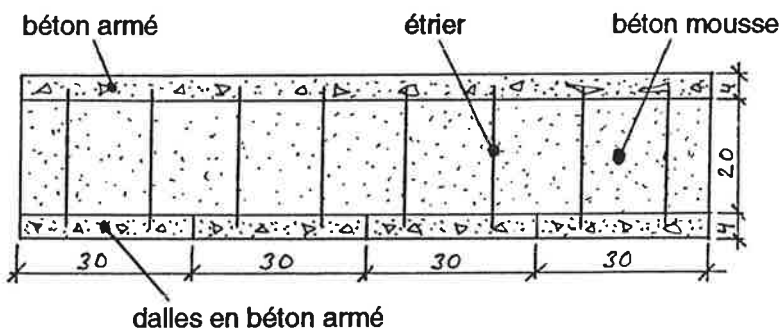


Figure 4.2.4. Toiture avec isolant thermique en béton mousse. La force de traction et de compression est absorbée par le béton armé tandis que les tensions de cisaillement sont absorbées par les armatures verticales.

## 4.2.4 Essais de chargement

Les trois toitures ont été soumises à des essais de chargement afin de vérifier leur résistance statique et à la flexion. Le chargement était tout d'abord de  $100 \text{ kg/m}^2$  afin de simuler la forme de pente, plus  $400 \text{ kg/m}^2$ , ce qui correspond à la charge normalisée. Le chargement total était donc de  $500 \text{ kg/m}^2$ . La flexion était notée pour chaque  $100 \text{ kg/m}^2$  de chargement.

Les trois toitures ont résisté au chargement. Aucune fissure sérieuses n'a été observée dans les parties portantes de la toiture. Par contre, on a pu observer, pour les toitures 1 et 2, une augmentation des jointures entre les panneaux en laine de bois ainsi qu'une augmentation des fissures dans le béton mousse pour la toiture 3.

La flexion en tant que fonction du chargement est illustrée dans les figures 4.2.6 – 4.2.8 ci-dessous.



Figure 4.2.5. Mesures de la flexion de toiture 1 sous chargement.

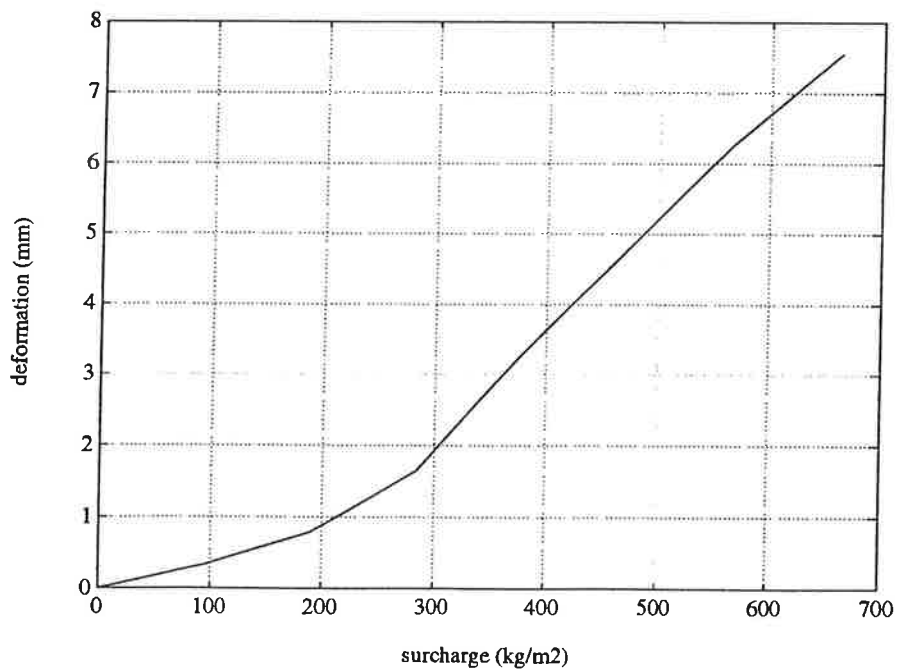
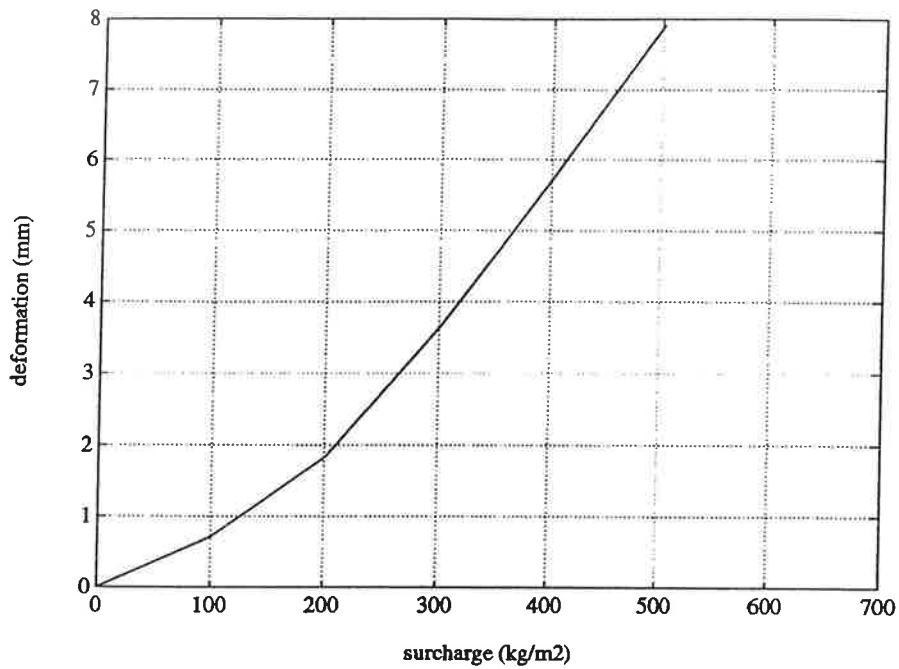
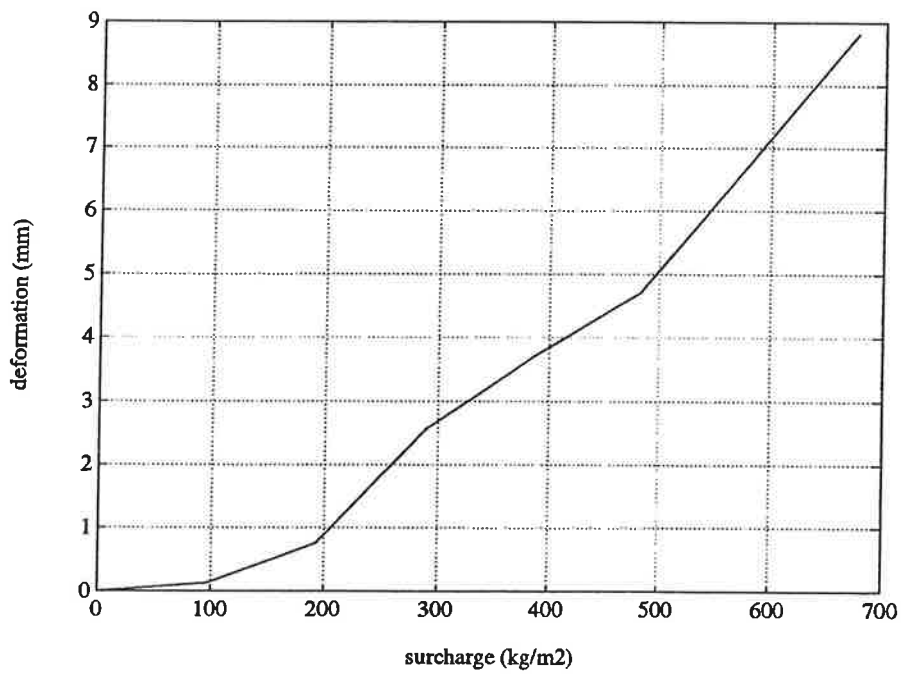


Figure 4.2.6. Chargement de toiture no. 1. La valeur de la flexion obtenue correspond à une moyenne calculée sur deux points de mesures.



*Figure 4.2.7. Chargement de toiture no. 2. La valeur de la flexion obtenue correspond à une moyenne calculée sur trois points de mesures.*



*Figure 4.2.8. Chargement de toiture no. 3. La valeur de la flexion obtenue correspond à une moyenne calculée sur trois points de mesures.*

La flexion maximale autorisée ne doit pas dépasser 1/500 de la portée. Pour une portée de 3,6 m, la flexion sera de 7,2 mm. Cependant, pour une construction, la flexion finale est celle obtenue lors d'un chargement constant sur une longue période; le fluage étant évidemment pris en compte. Dans le cas où une toiture est soumise à un passage continu ou à une forte charge (mobilier, etc.), la charge maximale sur une longue période pourrait être de 200 kg/m<sup>2</sup> (en plus de la forme de pente).

Pour la toiture 3, la flexion a été mesurée sur les parties du dessous et du dessus de la toiture. Objectif recherché : une apparition possible de compression sous chargement. Aucune compression n'a pu être notée.

#### 4.2.5 Avantages et inconvénients des toitures

- **Coffrage** : les toitures 1 et 3 exigent très peu de coffrage en bois à en principe seulement des étais de soutènement. Dans la toiture 2, les panneaux en laine de bois inférieurs servent de coffrages perdus. Pour cette toiture on utilise plus de bois étant donné qu'il faut renforcer les panneaux en laine de bois tant avec des règles qu'avec des étais.
- **Préfabrication** : les toitures 1 et 3 exigent une préfabrication respectivement des poutrelles et des panneaux.
- **Enduit** : le plafond (en béton) de la toiture 3 est fini, tandis que les toitures 1 et 2 doivent être en principe recouvertes d'un enduit pour des raisons esthétiques (une surface non enduite donne toutefois une très bonne insonorisation).
- **Ponts thermiques** : la toiture 1 a des ponts thermiques en béton qui traverse toute la toiture ce qui peut entraîner un encrassement en raison de la condensation sur le plafond (sous les poutrelles en béton).
- **Conductivité thermique** : la toiture 2 a la meilleure conductivité thermique par rapport à son épaisseur. La toiture 1 vient en deuxième position.
- **Flexion** : toutes les toitures satisfont à l'exigence de flexion. La toiture 2 présente toutefois une flexion plus importante que les deux autres.
- **Temps à construire** : la toiture 1 est la plus facile et la plus rapide à construire. La toiture 3 prend plus de temps à construire que les deux autres car il faut patienter 24 heures après que le béton mousse a été coulé avant de pouvoir couler la dalle en béton de dessus.
- **Résistance à la corrosion** : pour ce qui est de la toiture 3, il est important de protéger l'armature qui traverse le béton mousse contre la corrosion. Le béton mousse *ne procure qu'une protection limitée dans le temps contre la corrosion* en raison de sa carbonatation rapide. Et il n'est pas facile de protéger l'armature contre la corrosion.

Voici, sous forme de tableau, quelques données importantes sur les toitures :

Toiture :	1	2	3
Poids (kg/m <sup>2</sup> ) <sup>1</sup>	180	200	260
Épaisseur (cm) <sup>1</sup>	24	25	28
Coefficient $k$ (W/m <sup>2</sup> °C) <sup>1</sup>	0,5	0,4	0,5
Revêtement du plafond	enduit <sup>2</sup>	enduit <sup>2</sup>	sans
Coffrage	étais au milieu sous les poutrelles	longrines et étais	étais au milieu sous les dalles
Préfabrication	poutrelles en béton armé	—	dalles en béton armé

1) Forme de pente et revêtement du plafond non compris

2) Pour des raisons esthétiques. Une surface sans enduit a une meilleure insonorisation.

Tableau 4.2.1. Données importantes sur les toitures.

## 4.2.6 Conclusions sur la construction de toitures

### Toiture 1

La toiture était facile à construire. On peut facilement soulever sur place les poutrelles préfabriquées manuellement. Il a par contre, été difficile de faire exactement coïncider exactement les joints entre les panneaux en laine de bois (15 cm d'épaisseur) en les empilant. On peut pallier à cela en mettant des panneaux plus minces en deux couches l'un sur l'autre légèrement décalés, par ex. deux panneaux de 7,5 cm.

On peut améliorer encore l'efficacité de la construction. Il est parfaitement possible de doubler la distance entre les poutrelles, ce qui entraînerait une diminution de moitié du nombre de poutrelles préfabriquées et beaucoup moins de ponts thermiques. Une condition est de disposer de suffisamment d'armatures verticales dans les poutrelles en béton armé.

### Toiture 2

La toiture est relativement facile à construire. Il faudrait peut-être avoir une âme des poutrelles en T plus large pour permettre une meilleure vibration du béton. La toiture exige plus de précision que la toiture 1 lors de la construction (tout particulièrement l'installation des armatures dans l'espace entre les panneaux en laine de bois ainsi que les vibrations au même endroit).

### Toiture 3

Les panneaux inférieurs ont 30 cm de large et 4 cm d'épaisseur ce qui permet à deux personnes de pouvoir les soulever. Lors du coulage du béton mousse, il a été difficile de le couler à l'épaisseur voulue à cause des armatures verticales qui sortent des panneaux de dessous (difficile à lisser). Ce qui suppose un important travail de retouche, «raboitage» du béton mousse à la bonne hauteur, avant de pouvoir couler la dalle de béton de dessus.

## 4.3 Exemple de la maison de jeunes à Tameghza

La maison de jeunes à Tameghza, un petit village dans une oasis montagneuse dans le sud de la Tunisie, est un exemple de conception bioclimatique. Le bâtiment est d'environ 300 m<sup>2</sup>, contenant une salle polyvalente, une bibliothèque, un laboratoire photo, un bureau et des toilettes.



*Fig. 4.3.1. La maison de jeunes à Tameghza, Tunisie. Un exemple de conception bioclimatique où l'on a utilisé des panneaux en laine de bois pour l'isolation thermique de la toiture.*

A travers des simulations par ordinateur, différents matériaux de construction ont été comparés. La pierre naturelle fut choisie pour le mur sud, étant bien exposé au soleil durant la saison froide d'hiver. Les autres murs sont faits en double cloison de briques creuses, séparées d'une lame d'air, protégeant contre le rayonnement solaire d'été et contre les pertes de chaleur durant l'hiver. La toiture est, pour la même raison, thermiquement isolée avec des panneaux en laine de bois importés – en attendant le développement d'un produit local d'isolation similaire. La ventilation nocturne d'été s'effectue à travers les persiennes des fenêtres basses (entrée d'air frais) du bâtiment et des fenêtres hautes (sortie de l'air chaud) dans la salle polyvalente.



*Fig. 4.3.2. La maison de jeunes à Tameghza – intérieur. Panneaux en laine de bois dans la toiture et des murs en pierre pour le stockage thermique.*

Les murs intérieurs en pierre servent de stockage et de stabilisation de la chaleur. Dans un souci d'acceptabilité, la conception ne fut pas extrême.

La maison est construite en collaboration avec ASDEAR (Association pour le Développement et l'Animation Rurale) organisation non gouvernementale Tunisienne et SADEL (Swedish Association for Development of Low-Cost Housing) organisation non gouvernementale Suédoise.

La SADEL est responsable de la conception de la maison et l'ASDEAR est responsable de l'exécution. Il est à remarqué que la maison a été réalisée par un entrepreneur local n'ayant aucune expérience de construction avec des panneaux en laine de bois. Malgré cela la qualité des travaux est excellente et l'entrepreneur a aussi réussi à réduire les temps de réalisation de la toiture grâce à la facilité et le rapidité de mise en oeuvre des panneaux en laine de bois par rapport aux entrevous classiques.

La durée totale de la construction a été de six mois. En juin 1992 fut installé l'instrumentation de mesure pour enregistrer la température, l'humidité, le rayonnement solaire et la vitesse du vent dans 30 point de mesures différents pendant une durée d'une année. Les résultats obtenus seront comparés avec les simulations réalisées avant la construction de la maison pour vérifier et encore améliorer la méthode de simulation.



# 5 Production

## 5.1 Matériaux locaux

A l'occasion du séminaire MATLOC, qui s'est tenu à Biskra du 3 au 5 décembre 1991, un certain nombre de projets de recherche et de développement concernant les matériaux de construction locaux, ont été présentés. Plusieurs des projets présentés, par ex. terre stabilisée, plâtre et pierre naturelle, ont déjà été discutés lors de conférences antérieures. Ces matériaux sont donc bien connus depuis longtemps et d'une grande fiabilité puisque des chercheurs, que ce soit en Algérie ou en Tunisie, les ont mis au point. Les matériaux de construction locaux ne constituent malgré tout qu'une faible partie des matériaux utilisés dans les travaux de construction proprement dit. Quel en est la raison ?

Les arguments qui parlent en faveur d'une utilisation des matériaux locaux sont essentiellement :

- Une diminution des coûts de production
- Une diminution considérable des matériaux d'importation
- Une simplification de l'entretien, étant donné que le matériau est toujours disponible et que sa technologie est simplifiée.

Ce sont là des arguments qui sont souvent mis en avant par les autorités responsables et les chercheurs. Par contre, les utilisateurs de matériaux, à savoir les maîtres d'oeuvres et les constructeurs privés, ne semblent pas autant persuadés des avantages à utiliser des matériaux de construction locaux. Leur scepticisme est souvent basé sur leur doute quant à la résistance du matériau et à la régularité de la production ainsi qu'à sa rentabilité. Si on veut parvenir à une augmentation de l'utilisation de matériaux locaux dans l'avenir, il faut tenir compte de ces critiques.

Qu'est-ce qu'on entend par matériaux de construction locaux ? Nous avons souvent posé cette question, depuis une dizaine d'années, à des ingénieurs, à des architectes, à des chercheurs et à des entrepreneurs, tant en Algérie qu'en Tunisie. Les réponses ont quelque peu varié. Le plus souvent, on nous a renvoyé à des exemples de matériaux de construction.

Les architectes ont donné la définition la plus idéale et citent, comme exemple, la brique d'adobe, alors que les entrepreneurs se révèlent plus pragmatiques et considèrent le béton armé comme un matériau local typique. Il est essentiel de définir exactement ce qu'on entend par matériau de construction local pour pouvoir classer et comparer différents matériaux.

Lorsque les concepts de «matériaux locaux» et de «technologie appropriée» ont été introduits, c'était dans une optique d'économie de ressources et de construction écologique. Ces concepts sont toujours d'actualité, même dans la société d'aujourd'hui, et on peut les conserver comme bases de référence pour la définition du terme «matériaux de construction

locaux». Nous proposons ici trois paramètres pour classer les matériaux de construction et pour déterminer si on peut les qualifier de «local» ou «non local» :

- Transport
- Dépense d'énergie
- Technologie

### **Transport**

Plus un matériau doit être transporté sur de longues distances avant d'arriver sur le chantier de construction, et moins il peut être qualifié de local. La brique d'adobe fabriquée avec la terre du chantier ne nécessite aucun transport alors que le matériau importé est un exemple du contraire.

### **Dépense d'énergie**

Plus on dépense de l'énergie pour fabriquer un matériau et moins ce matériau peut être qualifié de local. Les murs en pierres naturelles ne demandent qu'un minimum d'énergie pour être utilisables alors que des briques cuites dans de simples fours à bois sont un exemple du contraire.

### **Technologie**

Plus on a recours à la technologie sous forme de machines et d'équipements pour la fabrication du matériau et moins on peut parler de matériau local. Des briques découpées à la main n'exigent qu'un équipement minimal et donc peu d'investissement, tandis que le ciment est un exemple du contraire.

En analysant différents matériaux par rapport au transport, à la dépense d'énergie et à la technologie, on peut les classer et les évaluer. Il apparaît que la fabrication du ciment exige une technologie avancée. Ce qui ne veut pas dire qu'il ne faille pas fabriquer de ciment : au contraire, le ciment sera toujours nécessaire dans l'avenir. L'objectif est uniquement de donner un modèle de référence en tenant compte de l'utilisation des ressources. La notion de «matériaux de construction locaux» pourrait être changée en «matériaux rentables» si elle n'était pas si bien ancrée dans les esprits.

Si on veut s'orienter, dans l'avenir, vers un développement prometteur, il faut donner la priorité à la mise au point d'un matériau de construction nécessitant :

- Un transport limité
- Une faible dépense d'énergie
- Une technologie peu avancée

L'alternative zéro, c'est-à-dire utiliser uniquement la brique adobe par ex. est, pour la plupart des pays, aussi peu réaliste que d'importer des matériaux de construction. On peut aussi considérer qu'un grand nombre des matériaux de construction locaux mis au point, sont d'un niveau technologique plutôt artisanal. Ce qui explique, partiellement, le scepticisme du monde industriel et du bâtiment étant donné qu'il est difficile d'arriver à une production rationnelle et donc rentable.

Le béton mousse et les panneaux en laine de bois sont des exemples typiques de matériaux pouvant être fabriqués et distribués avec un minimum de transport, une faible dépense d'énergie et une technologie peu avancée. Ces matériaux peuvent être fabriqués d'une façon rationnelle pour de faibles coûts d'investissement. Le béton mousse se fabrique en général sur site. Les panneaux en laine de bois sont fabriqués souvent dans de petites ou moyennes unités qui couvrent les besoins d'une région.

## 5.2 Béton mousse

### 5.2.1 Unité de production

Le béton mousse est un béton léger d'isolation et de construction produit avec les mêmes composants qu'un béton normal. Le béton peut être fabriqué dans différentes manières. Pour la méthode que nous avons utilisée, la porosité uniforme est obtenue par un malaxage rapide des composants et l'ajout d'un agent moussant qui crée une mousse volumineuse et stable.

Le béton peut être produit aussi bien «in situ» pour l'isolation des planchers qu'en usine pour des éléments de préfabrication. Les densités possibles varient entre 0,2 à 1,8 tonnes/m<sup>3</sup>, en fonction de la nature et du dosage des composants ainsi que du domaine d'utilisation.

La production nécessite uniquement un malaxeur ayant une vitesse de rotation variant entre 60 et 70 tours/minutes.

Pour obtenir ce béton mousse, on procède comme suit :

- malaxage de l'eau et de l'agent moussant durant 30 secondes;
- rajout du ciment et éventuellement d'autres agrégats;
- malaxage de l'ensemble durant 5 minutes.

Le malaxeur mis au point au CNERIB – voir les dessins dans l'annexe 3 – a une intégration de 100 %, c'est-à-dire que tous les composants nécessaires à son montage sont disponibles en Algérie.

La capacité est de 150 l et la capacité optimale est de 3/4 du volume donc 120 l. Le malaxage est obtenu par la rotation d'un arbre comportant quatre palettes disposées en croix et tournant à une vitesse de 63 tours/minute, chaque palette a une surface de 1750 cm<sup>2</sup> et recouverte d'une grille à mailles carrés de 2 × 2 cm.

L'ensemble est entraîné par un moteur électrique de 380 volts, d'une puissance de 22 kW et tourne à une vitesse de 905 tours/minute. La vitesse est réduite à 63 tours/min grâce à un système de poulies et courroies.

### 5.2.2 Matières premières

La production de béton mousse est basée sur les composants suivants : ciment, agent moussant et eau.

Pour un béton mousse des densités (sèches) de 300, 400 et 500 kg/m<sup>3</sup>, les recettes sont les suivantes :

<b>Matériau</b>	<b>poids (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>poids (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>poids (kg/m<sup>3</sup>)</b>
Ciment	225	303	374
Eau	170	194	224
Agent moussant	4,9	3,3	2,5
Densité humide	400	500	600
(Densité sèche)	(300)	(400)	(500)

Quand on augment la densité la quantité de ciment augment tandis que la quantité d'agent moussant diminue.

#### **Ciment**

Pour la fabrication de béton mousse, on utilisera un ciment portland en sac.

#### **Eau**

On utilise eau courante non polluée. La quantité d'agent moussant est fonction de la qualité de l'eau; une eau calcaire exige plus d'agent moussant qu'une eau douce.

#### **Agent moussant**

L'agent moussant qui est utilisé est protéique et vient d'Isoleringsbetong AB (Suède). Il consiste de :

- protéine de soja,
- résine,
- colle,
- chaux,
- soude caustique,
- formaldéhyde,
- eau.

Le protéine de soja peut être remplacé par le caséine.

### **5.2.3 Investissement et rentabilité**

#### **Investissement**

L'investissement pour la fabrication de béton mousse reste dans les limites du malaxeur décrit en chapitre 5.2.1. Celui-ci coûtera environ 100.000 DA sur le marché Algérien.

Pour la fabrication de l'agent moussant on a aussi besoin d'un certain équipement qui en principe se constitue d'un grand marmite d'environ 1.000 litres.

### **Rentabilité**

Nous allons procéder à un calcul de rentabilité concernant la production, en Algérie, de béton mousse. Le nouveau matériau doit être à même de pouvoir concurrencer les matériaux déjà existants. La fabrication de béton mousse sera rentable à condition que son coût de production, auquel il faut ajouter un bénéfice raisonnable, ne soit pas supérieur à celui des concurrents.

Le «prix concurrentiel» dépend, entre autre, de l'évaluation des qualités du matériau. On peut accepter un prix éventuellement plus élevé que celui des produits concurrents

- si le nouveau matériau utilisé pour la construction rend celle-ci plus concurrentielle que celle où d'autres matériaux sont utilisés et/ou
- si on tient compte du fait qu'on a une amélioration du confort et une diminution de la consommation énergétique.

## 5.3 Panneaux en laine de bois

### 5.3.1 Unité de production

#### **La production en Suède**

L'usine à Österbymo se décompose en deux parties essentielles réparties en branches d'activités :

- préparation de la laine de bois
- production des panneaux

**Préparation de la laine de bois.** La production de la laine de bois est un processus semi-automatisé, les différentes opérations de production sont les suivantes :

- découpage des troncs en longueurs de 3 m
- décorçage des troncs
- stockage des troncs au minimum une saison pour séchage
- découpage en rondins de 50 cm et envoi au ateliers de rabotage des rondins pour l'obtention de la laine; les rabots sont réglables selon la dimension voulu du produit final :
  - 4 × 0,34 mm de section pour les panneaux thermiques
  - 2 × 0,34 mm de section pour les panneaux acoustiques
- transport de la laine de bois vers l'atelier de fabrication des panneaux

La production annuelle de l'usine est de 6.000 m<sup>3</sup> de bois brut. Selon le volume de production considéré, on devra disposer de 4 ha de sapins.

Le décorçage de bois pour une production annuelle est effectuée en 3 mois.

La découpe des troncs en rondins de 50 cm pour une production journalière est effectuée en 3 heures.

**Production des panneaux.** Le processus de production des panneaux d'isolation thermiques ou d'absorption acoustique en laine de bois est entièrement automatisé.

Les différentes opérations sont les suivantes :

- pesée de la laine de bois et du ciment séparément (la proportion pondérale laine/ciment est de 1/2)
- immersion de la laine dans une solution de chlorure de calcium (CaCl<sub>2</sub>) pour accélérer la prise du ciment
- malaxage des deux constituants (laine - ciment) dans un malaxeur à axe horizontal, le ciment étant introduit dans le malaxeur en poudre sèche
- répartition du mélange dans des moules en bois
- compactage des bords par des disques inclinés
- transport des moules vers l'aire de cure en piles superposés

- cure des panneaux sous la pression d'une dalle en béton de  $250 \times 35 \times 70$  cm pendant 24 heures
- décoffrage des panneaux et sciage des bords.
- Empilage des panneaux et transport vers l'aire de stockage

**Autres activités:**

- Atelier de peinture des panneaux avec différentes couleurs pour l'aspect esthétique (uniquement pour les panneaux acoustiques).
- Atelier de maintenance.
- Atelier de coupe pour le découpage des panneaux selon différentes dimensions et traitement des bords par meulage.

**Usine à production semi-automatisée**

Une production obtenue dans une usine semi-automatisée se différencie peu, en principe, d'une usine entièrement automatisée. Les différences principales sont les suivantes :

- Certaines tâches sont effectuées manuellement, ce qui implique un effectif plus important.
- Les machines sont d'une capacité moins grande et leur nombre est plus limité. D'où une capacité de production horaire moins élevée.
- La consommation en énergie de l'usine est plus faible.

On peut transformer progressivement une usine semi-automatisée en usine entièrement automatisée. Le degré d'automatisation choisi est fonction des coûts de main-d'oeuvre, de la demande du produit, du prix de revient énergétique etc...

### 5.3.2 Matières premières

La production de panneaux en laine de bois est basée sur les composants suivants : ciment, laine de bois, eau et chlorure de calcium ( $\text{CaCl}_2$ ).

Pour des panneaux de 10 cm d'épaisseur et plus, la recette est la suivante :

Matériau	pois ( $\text{kg/m}^3$ )
Laine de bois	75
Ciment	150
Eau+ $\text{CaCl}_2$	75
<b>Densité humide</b>	<b>300</b>

Pour une humidité relative de 50 %, les panneaux ont une densité de  $260 \text{ kg/m}^3$  environ.

### **Ciment**

Pour la fabrication des panneaux, on utilisera un ciment portland en vrac ou en sac.

### **Laine de bois**

La laine de bois utilisée est obtenue à partir de rondins de 50 cm de long, passés au rabot. La qualité du bois doit correspondre à certaines conditions. Le taux de sucre doit être limité car un pourcentage trop important empêcherait la prise du ciment. Le bois ne doit pas être trop dur pour faciliter son rabotage. Enfin, pour obtenir des panneaux contenant de l'air, facteur qui améliore les qualités d'isolation, le bois choisi ne devra pas être tendre mais plutôt élastique.

A cet effet, différentes qualités de bois ont été testées, voir annexe 2. Dans les bois retenus, certains sont plus appropriés que d'autres si l'on prend en compte la nécessité d'un traitement, par exemple un temps de stockage afin d'abaisser le taux de sucre.

### **Eau**

Eau courante non polluée, afin d'éviter une mauvaise prise du ciment.

### **Sel**

Le sel, ajouté à l'eau, permettra d'accélérer le durcissement des panneaux. Normalement, on utilise du chlorure de calcium ( $\text{CaCl}_2$ ) mais il est aussi possible d'utiliser du chlorure de magnésium ( $\text{MgCl}_2$ ). Le sel permet d'effectuer les opérations de démoulage déjà après 24 heures. Le pourcentage de chlorure de calcium est de 1 % du poids de l'eau, ce qui signifie que pour 1 m<sup>3</sup> de panneau en laine de bois la consommation de  $\text{CaCl}_2$  est inférieure à 1 kg.

## **5.3.3 Investissement et rentabilité**

Les coûts d'investissement nécessaires pour une unité de production semi-automatisée sont rapportés ci-dessous. Les calculs sont basés sur la production de panneaux en laine de bois dont la longueur, la largeur et l'épaisseur maximales sont de 300 × 60 × 10 cm. La production, pour des panneaux d'une densité de 260 kg/m<sup>3</sup>, pourra atteindre 45 m<sup>3</sup> par équipe travaillant 7 heures effectives en utilisant 2 raboteuses. Dans le cas où l'on utilise seulement une raboteuse, la production diminuera de moitié. Ainsi, la capacité de production dépend principalement du nombre de raboteuses utilisées. Les prix indiqués ci-dessous sont à la date du 1.10.1991.

### **Unité de production**

Un bâtiment de 2.500 m<sup>2</sup> et d'une hauteur sous plafond de 5 m sera prévu. Pour certaines machines, on prévoira des fondations et des dispositifs. Pour le poste de durcissement des panneaux, certains équipements seront nécessaires par exemple, un dispositif de chauffage, des cloisons, etc.

Le bâtiment sera raccordé aux réseaux d'électricité et d'alimentation en eau. Un éclairage, une protection contre le feu et des équipements sanitaires seront aussi prévus.



Le bâtiment sera raccordé à l'infrastructure routière. On prévoira aussi un endroit pour le stockage des rondins et leur sciage ainsi qu'une surface permettant le chargement des panneaux finis et leur stockage avant enlèvement. Le terrain sera entouré d'un grillage et éventuellement d'un poste de garde.

### **Equipements**

Pour la production proprement dite, les équipements concernés qui devront être importés, en partie ou totalement, sont les suivants :

- raboteuse
- machine à doser le ciment
- malaxeur pour mélange en continu
- poste de distribution pour le remplissage des moules
- scie (pour les bords)
- meule pour raboteuse (maintenance)

Le prix de ces équipements s'élève à environ 3 millions de francs (2 raboteuses comprises).

Le reste des équipements de production peut être acheté sur place; une bascule pour peser la laine de bois, un mélangeur pour la solution salée, une unité pour humidifier la laine de bois, un dispositif de compression des panneaux en cours de durcissement, etc. Le prix d'achat de ces équipements, sur le marché international, s'élève au total à environ 1,5 million de francs.

Ce type d'équipement, très robuste et fiable, peut très bien être acheté d'occasion ce qui permettrait de diminuer de beaucoup les coûts d'investissement.

Les moules font partie des équipements importants de la production. Ils se composent normalement d'un fond en contreplaqué et de côtés en planches de bois. Le nombre de moules nécessaire dépend de la capacité de production envisagée, du nombre de types de panneaux et de leurs épaisseurs. Pour une production de 45 m<sup>3</sup> par équipe dans les dimensions 240 × 60 × 5 cm, 600 moules seront à prévoir. Dans le cas où l'on produit des panneaux plus épais, le nombre de moules sera moins important par équipe. Il est évident que ces moules s'usent et qu'ils seront à changer après quelques années.

Equipements et accessoires divers :

- équipement pour écorçage et appareil à couper les rondins
- meule pour lame de scie
- compresseur (entrée d'air 2 Nm<sup>3</sup>, pression de travail 6 bars)
- outillage d'atelier de réparations (poste de soudage, perceuse, etc)
- équipements de laboratoire (contrôle de qualité)
- transformateur
- accessoires électriques
- alimentation en eau
- chariot élévateur manuel (3 chariots)
- huile pour systèmes hydrauliques
- palettes

- conteneurs pour transport
- équipements divers pour entretien : balais, racloirs, brouettes, wagons à bascule, etc.

### **Effectifs**

sciage et rabotage :

- 3 ouvriers

Production :

- 1 contremaître
- 15 ouvriers

Livraison :

- 1 ouvrier

Maintenance :

- 1 ingénieur
- 1 ouvrier

### **Consommation en matières premières**

Calculée sur une production de panneaux en laine de bois d'une densité de 260 kg/m<sup>3</sup> et de 45 m<sup>3</sup> par équipe, la consommation annuelle s'élèvera à :

bois :	1.000 tonnes	(déchets compris)
ciment :	1.875 tonnes	
eau :	1.100 tonnes	
sel (CaCl <sub>2</sub> ) :	11 tonnes	

Ce calcul se base sur une densité humide de 300 kg/m<sup>3</sup>, sur 240 jours de travail par an et sur une équipe de travail. Dans ces conditions, le volume de production s'élèvera à 12.000 m<sup>3</sup> de panneaux en laine de bois.

### **Consommation d'énergie**

Calculée sur l'utilisation de deux raboteuses, sur 240 jours de travail par an et sur 7 heures effectives de travail par jour, la consommation s'élèvera à 75.000 kWh.

### **Installation et mise en route de la production**

L'installation des machines et les tests de mise en marche devront être effectués par du personnel qualifié, c'est-à-dire des techniciens ayant déjà l'expérience de ce type de production. Au cours de l'installation et des tests de production, le personnel futur sera formé.

L'installation exige des compétences en mécanique et en électricité. La période de montage est estimée à 2 mois.

Les tests commenceront une fois l'installation terminée. Chaque machine sera testée individuellement pour aboutir à des tests en production. La durée des tests est estimée à un mois environ.

Il semble opportun que les spécialistes restent quelques semaines de plus, afin de surveiller le bon fonctionnement en production. Cette période permettra de contrôler que le produit fini correspond bien à la qualité demandée et que la capacité de production est bien conforme aux délais prévus.

### **Rentabilité**

Nous allons procéder à un calcul de rentabilité concernant la production, en Algérie, de panneaux en laine de bois. Le nouveau matériau doit être à même de pouvoir concurrencer le matériau déjà existant. La fabrication de panneaux en laine de bois sera rentable à condition que leur coût de production, auquel il faut ajouter un bénéfice raisonnable, ne soit pas supérieur à celui des concurrents.

Le «prix concurrentiel» dépend, entre autre, de l'évaluation des qualités du matériau. On peut accepter un prix éventuellement plus élevé que celui des produits concurrents

- si le nouveau matériau utilisé pour la construction rend celle-ci plus concurrentielle que celle où d'autres matériaux sont utilisés et/ou
- si on tient compte du fait qu'on a une amélioration du confort et une diminution de la consommation énergétique.

# 6 Conclusions

A l'issue des résultats intermédiaires obtenus de cette étude nous pouvons tirer les conclusions suivantes :

La conception des toitures modernes en Afrique du Nord est souvent à l'origine d'un niveau de confort insuffisant et entraîne des dépenses de plus en plus importantes en énergie de chauffage et climatisation. Une étude précédente et des simulations par ordinateur ont démontrées que seul un complément d'isolation thermique des constructions contribuerait à une amélioration du niveau de confort intérieur et une réduction des dépenses en énergie.

L'analyse de l'inventaire en matières premières montre que l'Algérie dispose de ressources importantes et suffisamment abondantes pour envisager une production de matériaux de construction isolants-thermique sans risque de dépendances. Ces ressources se composent d'importantes plantations d'Eucalyptus et de Pins sous-utilisées et de résidus industriels sous forme de granulats de liège ou de sciures de bois qui gagneraient à être utilisés dans l'industrie des matériaux de construction.

Les résultats des essais réalisées avec des matières premières d'origine algérienne montrent que les matériaux étudiés, le béton mousse et le panneau en laine de bois, présentent de bonnes propriétés mécaniques et d'isolation thermique et ils ne présentent pas d'émanations nocives pour la santé. Des modèles de toitures ont été envisagés avec l'utilisation de ces matériaux et les tests de chargement de celles-ci ont donnés des résultats positifs et les flèches des dalles sous chargement maximum sont restées inférieures aux limites admissibles.

Les matériaux et les composants étudiés présentent une flexibilité appréciable et peuvent donc très bien s'adapter aux différentes techniques de constructions locales. Cela confère un avantage appréciable pour réduire le temps du processus d'intégration de nouveaux matériaux dans un contexte donné.

Les moyens de production de ces matériau ne nécessitent pas de technologies sophistiquées et les techniques de production sont simples, ils peuvent donc être produits en Algérie avec un taux d'intégration important.

# Annexes

- 1 : Bibliographie
- 2 : Essences appropriées pour la fabrication de panneaux en laine de bois
- 3 : Dessins d'un malaxeur pour la fabrication du béton mousse

# 1 : Bibliographie

## Béton léger

Adam, Michel (1976)

« Recommandations provisoires pour l'utilisation des bétons de granulats légers », *Institut technique du bâtiment et des travaux publics*, No 337, mars, France.

Alexandersson, Johan et Skarendahl, Åke (1981)

« Skumbetong – ett material i renässans? (Béton mousse – un matériau qui redevient d'actualité?) », *Byggnadskonst*, no. 1-2, Suède. (en suédois)

Aziz, M.A., Murphy, C.K. et Ramaswamy, S.D. (1979)

« Lightweight concrete using cork granules », *The international Journal of Lightweight Concrete*, Vol 1, No 1. (en anglais)

Cleary, Michael (1986)

« Foamed concrete: another option », *Civil Engineering*, October, Londres, Grande-Bretagne. (en anglais)

Cormon, Pierre (1982)

« Améliorations des bétons mousse », *Le Bâtiment-Bâtir*, vol. 8, no. 11, France.

van Dijk, Simon (1990)

« Dutch foamed concrete in the London Docklands », *Cement*, No. 11, Les Pays-Bas. (en anglais)

van Dijk, Simon (1991)

« Foam Concrete », *Concrete* (July/August). (en anglais)

Forssberg, C. Owe (1966)

« Platsgjuten lättbetong (Béton léger coulé sur place) », *Byggnadskonst*, no. 1, Suède. (en suédois)

Fredriksson, Gunnar (1984)

« Skumbetong har fått en ökad användning i Europa (Utilisation accrue en Europe du béton mousse) », *Cementa*, no. 4, Cementa AB, Danderyd, Suède. (en suédois)

Heerde, Werner (1984)

« Strong but not heavy: The structural use of cellular concrete », *Middle East Construction*, January. (en anglais)

Jaegermann, Chanoch H., Karl, Sieghart et Weigler, Helmut (1976)

« Konstruktionsleichtbeton mit abgeminderter Rohdichte – Möglichkeiten und Eigenschaften (Béton léger de construction avec densité brute amoindrie – possibilités et caractéristiques) », *Betonwerk + Fertigteil-Technik*, no. 11, Allemagne (Ouest) (en allemand, résumé en français)

Jaegermann, Chanoch H., Puterman, Moshe et Haviv, Eitan (1989)

« Blistering of Membranes over Foam-Concrete Roofs », *Journal of Materials in Civil Engineering*, vol. 1. no. 1, ASCE, Etats-Unis. (en anglais)

- Karl, Sieghart et Weigler, Helmut (1978)  
« Structural lightweight concrete with reduced bulk density – Lightweight aggregate-foam concrete – Manufacture, compressive strength and density », *Betonwerk + Fertigteil-Technik*, vol. 44, no. 9 et no. 10, Allemagne (Ouest) (en anglais et allemand, résumé en français)
- Lee, S. L. et al (1990)  
« Ferrocement: Alternative Material for Secondary Roofing Elements », *ACI Materials Journal*, vol. 87 No. 4 (July-August), Etats-Unis d'Amérique. (en anglais)
- Leivseth, Snorre (1984)  
« Nyutviklet lettbetong fra Elkem Chemicals – Egenskaper som vil gi utvidete bruksområder (Béton mousse développé par Elkem Chemicals avec des propriétés permettant de nouveaux champs d'application) », *Ingeniør-Nytt*, no. 27, Norvège. (en norvégien)
- Legatski, Leo A. (1987a)  
« Structural Consideration of Cellular Concrete », *Materials and Member Behavior, Proceedings of the Sessions at Structures Congress '87*, ASCE, New York, Etats-Unis. (en anglais)
- Legatski, Leo A. (1987b)  
« Insulating Roof Decks with Cellular Concrete », *The Construction Specifier* (November), Etats-Unis. (en anglais)
- Linde, Harald (1924)  
« Cellbetong, densammas framställning och egenskaper samt användning till husbyggnader och värmeisolering (Béton mousse, sa fabrication, ses propriétés et son utilisation dans la construction de bâtiments avec ses propriétés d'isolation thermique) », *Betong*, no. 4, Suède. (en suédois)
- McCormick, Fred C. (1967)  
« Rational Proportioning of Preformed Foam Cellular Concrete », *ACI Journal*, Vol. 64, No. 2 (February), American Concrete Institute, Etats-Unis. (en anglais)
- Malmberg, Bo et Samuelsson, Paul (1984)  
« Skumbetong – ett material med möjligheter (Béton mousse – un matériau ouvrant des possibilités) », *Cementa*, no. 1, Cementa AB, Danderyd, Suède. (en suédois)
- Nickol, Dieter et Rückert, Heike (1989)  
« Stehende Fertigung von Wandelementen aus Schaumbeton », *Betontechnik*, vol. 10 no. 2, Allemagne (Est). (en allemand)
- Nischer, Peter (1983)  
« Schaumbeton/Foamed concrete (Béton mousse) », *Betonwerk + Fertigteil-Technik*, vol 49 no. 3, Allemagne (Ouest). (en anglais et allemand, résumé en français)
- Petrov, I. A. et al (1982)  
« Ossatures allégées de bâtiments industriels sans étage », *Beton i Zelozebeton*, no. 5, Union Soviétique. (en russe)
- Short, Andrew et Kinniburgh, William (195?)  
*Lightweight Concrete*, C.R. Books Ltd, Londres, Grande-Bretagne. (en anglais)

- Steiger, R. W. et Hurd, M. K. (1978)  
 « Lightweight insulating concrete for floors and roof decks », *Concrete Construction*, July. (en anglais)
- Thiede, Hinrich (1979)  
 « Glasfaserverstärkter Schaumbeton », *Beton*, vol. 29 no. 12, Allemagne (Ouest). (en allemand)
- Trenkwalder, Anton (1990)  
 « Leca-Schaumleichtbeton », *Neues vom Bau*, vol. 36 no. 7/8, Autriche. (en allemand)
- Valore, Rudolph C. (1954)  
 « Cellular Concretes (Bétons cellulaires) », *ACI Journal*, Proceedings V. 50, No. 9 (May) and No. 10 (June), American Concrete Institute, Etats-Unis. (en anglais)
- Wahlman, Thomas (1991)  
 « Skumbetong i mark. Lätt och stabil (Béton mousse au sol – léger et stable) », *Cementa*, no. 1, Cementa AB, Danderyd, Suède. (en suédois)
- Walker, Brian et Clark, Alan (1988)  
 « Introducing foamed concrete », *Concrete Quarterly*, no. 159, Grande-Bretagne. (en anglais)
- Weigler, Helmut et Karl, Sieghart (1980)  
 « Structural lightweight aggregate concrete with reduced density – Lightweight aggregate foamed concrete », *International Journal of Lightweight Concrete*, vol. 2 no. 2. (en anglais)
- Weigler, Helmut et Karl, Sieghart (1980)  
 « Structural lightweight concrete with reduced density – Lightweight aggregate foamed concrete. Properties of the hardened concrete », *Betonwerk + Fertigteil-Technik*, vol. 46, no. 3 et no. 4, Allemagne (Ouest) (en anglais et allemand, résumé en français)
- Wester, Anders (1987)  
*Skumbetong – Tillverkning och tekniska egenskaper (Béton mousse – Fabrication et propriétés techniques)*, Rapport TVBM-5011 (Projet fin d'études), Dept. of Building Materials, Université de Lund, Suède. (en suédois)
- Widman, Horst et Enoekl, Viktor (1991)  
 « Foam Concrete – Properties and Production », *Betonwerk + Fertigteil-Technik*, no. 6, Allemagne (Ouest). (en anglais et allemand, résumé en français)
- (1986)  
 « Guide for Cast-in-Place Low-Density Concrete (Guide pour le béton léger coulé en place) », *ACI Journal*, September-October, American Concrete Institute, Detroit, Etats-Unis. (en anglais)
- (1987)  
 « Un nouveau béton léger », *Chantier*, vol 18, no.9, Suisse.
- (1991)  
*Foamed Concrete*, British Cement Association, Slough, Grande-Bretagne. (en anglais)



(1971)

*Lightweight Concrete*, Symposium, American Concrete Institute, Detroit, Etats-Unis.  
(en anglais)

### **Panneaux en laine de bois**

Cope, Derek et Sunderland, Peter (1985)

« Wide applications for the wood wool cement slab combination », *Building* (13  
September), Londres, Grande-Bretagne. (en anglais)

Flynn, G. et Hawkes, A. J. (1980)

*An industrial profile of wood wool/cement slab manufacture*, Tropical Products  
Institute (Institut des Produits Tropicaux), Londres, Grande-Bretagne. (en anglais)

van Elten, G. J. (1977)

« Prefab Elements from Wood Wool Cement for Economic and Low Cost Housing in  
Argentina, Brazil, Honduras, Malaysia, Mexico, Panama, Spain, Yugoslavia », *International conference on the use of prefabricated building elements constructions  
in developing countries*, Hamburg 19–22 September. (en anglais)

Hawkes, A. J. et Robinson A. P. (1978a)

*Technical evaluation of wood wool/cement slabs made from Pinus caribaea grown in  
Fiji (Evaluation technique de panneaux ciment/laine de bois réalisés avec du Pinus  
caribaea des îles Fidji)*, Report L48, Tropical Products Institute (Institut des Produits  
Tropicaux), Londres, Grande-Bretagne. (en anglais)

Hawkes, A. J. et Robinson A. P. (1978b)

*The suitability of Eucalyptus grandis and two provenances of Pinus kesiya for wood  
wool/cement slab manufacture (Valeur de l'Eucalyptis grandis et de deux  
provenances de Pinus kesiya pour la fabrication de plaques de laine de bois/ciment)*,  
Report L49, Tropical Products Institute (Institut des Produits Tropicaux), Londres,  
Grande-Bretagne. (en anglais)

Pama, R. P. et al. (1976)

« Mechanical and physical properties of wood-wool slabs », *Matériaux et  
Constructions*, vol. 9 no. 54, RILEM. (en anglais)

Pinion, L. C. (1975)

« The properties of wood wool/cement building slabs », *BRE Information Sheet*  
(September), Building Research Establishment, Watford, Grande-Bretagne. (en  
anglais)

Schubert, B. et al. (1990)

« Untersuchungen zum System Holz-Zement », *Holz als Roh- und Werkstoff*, no. 48,  
Springer-Verlag, Allemagne. (en allemand, résumé en anglais)

(?)

*Elten plants for mineral bonded building boards – wood wool cement boards*, Elten  
Systems, Barneveld, Netherlands. (en anglais et allemand)

(1980)

« Wood Wool Manufacturing Plant for Malawi », *Tropical Products Institute, Newsletter 18* (August), Londres, Grande-Bretagne. (en anglais)

#### **Autres**

Bessey, G. E. (1976)

« The preparation of feasibility studies for production of building materials », *Overseas Building Notes*, no. 167, BRE, Watford, Grande-Bretagne. (en anglais)

Lewis, G. (1978)

« Low-cost roofing material for Zambia », *International Journal of Housing Science*, vol. 2 No. 6, Pergamon Press, Etats-Unis. (en anglais)

Sobral, H. S. (1990)

Vegetable Plants and their Fibres as Building Materials, *Proceedings of the Second International RILEM Symposium*, Chapman and Hall, Londres, Grande-Bretagne. (en anglais)

Sosa, Miléna (1989)

« Un exemple d'agglomérés de fibres végétales au Venezuela, *CSTB Magazine*, no. 24.

(1988)

*Bulletin technique forestier*, No. 26, Institut National de Recherche Forestière, Cheraga, Algérie.

## 2 : Essences appropriées<sup>1</sup> pour la fabrication de panneaux en laine de bois

---

<sup>1</sup>Information d'*Elten Systems*, Barneveld, les Pays-Bas.

Elten Engineering  
Barneveld - Holland

List of wood kinds, tested/used for  
wood wool cement building boards.

Explanation :

+ : suitable

- : not suitable

o : restricted suitable

Botanical name	Trade/local name	Suitability
1 <i>Abies pectinata</i>	Tanne / Fir	+
2 <i>Acacia decurrens</i>	Black wattle	-
3 <i>Acanthopanax ricinifolius</i>	Sen	-
4 <i>Accacia cyanophylla</i>	--	+
5 <i>Accacia eyclopis</i>	--	+
6 <i>Accacia melanoxylon</i>	Black wattle wood	o
7 <i>Acer sp.</i>	Maple/Ahorn	-
8 <i>Acer saccharum</i>	Zuckerahorn	-
9 <i>Adina cordifolia</i>	Haldu	+
10 <i>Afror</i>	Krokrodu	+
11 <i>Afrormosia elate</i>	Afrormosia	-
12 <i>Afzelia bipindensis</i>	Afzelia	-
13 <i>Agathis alba</i>	Agathis	+
14 <i>Albizzia falcata</i>	Batai	-
15 <i>Alnus glutinosa</i>	Alder/Erle	-
16 <i>Alstonia boonli</i>	--	+
17 <i>Altingia excelsa</i>	Rasamala	+
18 <i>Ambligonocarpus obtusangulus</i>	Banga wanga	+
19 <i>Androstachys johnsonii</i>	Lecrussé	+
20 <i>Aningeria altissima</i>	--	+
21 <i>Anthocedphalus cadamba</i>	Kadam	+
22 <i>Antiaris toxicaria</i>	--	o

Botanical name	Trade/local name	Suitability
23 <i>Araucaria angustifolia</i>	Brasilpine/Brasilkiefer	o
24 <i>Aspidosperma</i>	Pau marfim	-
25 <i>Atrocarpus chaplasha</i>	Chapalish	+
26 <i>Aucoumea klaineana</i>	Okoume	+
27 <i>Baikiaea plurijunga</i>	Ungusi	-
28 <i>Berlinia grandiflora</i>	Berlinia	+
29 <i>Betula</i>	Birch-tree	o
30 <i>Betula alba</i>	Birck/Birke	-
31 <i>Bombax buonopozensa</i>	Silk cotton tree	+
32 <i>Bombax malabaricum</i>	Cotton wood	+
33 <i>Bosquiae phoberos</i>	--	o
34 <i>Brachystegia leonensis</i>	Liberia Okwen/Izombe	+
35 <i>Bulnesia arborea</i>	Vera	-
36 <i>Caesalpinia echniata</i>	Pernambue	-
37 <i>Calophyllum brasiliense</i>	Jacareuba	+
38 <i>Carya sp</i>	Hickory	-
39 <i>Castanea sativa</i>	Sweet chestnut/Edelkastanie	+
40 <i>Casuarina spp</i>	--	+
41 <i>Cedrela maxicana</i>	Cedrela	+
42 <i>Cedrela toona</i>	Toon	+
43 <i>Ceiba pentandra</i>	Silk cotton tree	+
44 <i>Chorophora excelsa</i>	Odoum/Iroko	o
45 <i>Chlorophora tinctoria</i>	Fustic	-
46 <i>Copaifera reticulata</i>	Copaiba	o
47 <i>Cornus florida</i>	Dogwood	-
48 <i>Curisophilium perpulchrum</i>	--	+
49 <i>Cylicodiscus gabunensis</i>	Okan	+
50 <i>Dalbergia cearensis</i>	Köningsholz	-
51 <i>Dalbergia refusa</i>	Cocobolo	o

Botanical name	Trade/local name	Suitability
52 <i>Dalbergia variabilis</i>	Bahia Rosenholz	-
53 <i>Daniellia ogea</i>	Ogea (Spruce/Gum opal tree)	+
54 <i>Dipterocarpus alatus</i>	Garjan	+
55 <i>Dipterocarpus pilosus</i>	Garjan	+
56 <i>Dipterocarpus turbinalus</i>	Garjan	+
57 <i>Dipterocarpus</i> sp.	Yang	+
58 <i>Disthemonanthus benthamianus</i>	Movingui	-
59 <i>Dumoria africana</i>	Douka	+
60 <i>Dumoria heckelii</i>	Makore	o
61 <i>Entandrophragma Angolese</i>	Tiana	+
62 <i>Entandrophragma cylindricum</i>	Sapeli	o
63 <i>Entandrophragma utile</i>	Sipo	+
64 <i>Eperua falcata</i>	Waiaba	+
65 <i>Eucalyptus deglupta</i>	--	+
66 <i>Eucalyptus diversicolor</i>	Karri	-
67 <i>Eucalyptus Gouphocephala</i> <sup>my P/</sup>	--	+
68 <i>Eucalyptus manganata</i>	Jarrah	o
69 <i>Eucalyptus Saligna</i>	--	o
70 <i>Excaecaria agallacha</i>	Gewa	+
71 <i>Fagara macrophylla</i>	--	o
72 <i>Fabus silvatica</i>	Beech	o
73 <i>Fitzroya cupressoides</i>	Alerce	-
74 <i>Fraxinus excelsior</i>	Esche	-
75 Gerunggang	--	+
76 <i>Gmelina arborea</i>	Kumba	+
77 <i>Gonystylus</i> sp.	Ramin	+
78 <i>Gossweilerodendron balsamiferum</i>	Tola Branca/Agba	+
79 <i>Goupia glabra</i>	Goupi	-
80 <i>Guarea cedrata</i>	Bosse	-

Botanical name	Trade/local name	Suitability
81 <i>Guibourtia demensi</i>	Liberia okwen	+
82 <i>Haematoxylon campechianum</i>	Campeche	-
83 <i>Heritiera tome</i>	Sundri	+
84 <i>Holoptella grandis</i>	--	+
85 <i>Iovoa trichilioides</i>	Dibeton	o
86 <i>Jacaranda semiserata</i>	Caroba	o
87 <i>Juglans nigra</i>	Amerikan. Nussbaum	-
88 <i>Juniperus virginiana</i>	Virg. Wacholder	+
89 <i>Khaya ivorensis</i>	Lagoe Mahagony	o
90 <i>Khaya sp.</i>	Khaya	-
91 <i>Lagistruemia flos regina</i>	Jarul tyinma	+
92 <i>Larix decidua</i>	Larch/Lärche	-
93 <i>Laurelia aromatica</i>	Chile Laurel	o
94 <i>Leucaena</i>	Glaucia lansihqua	+
95 <i>Liriodendron tylipifera</i>	Whitewood	-
96 <i>Lovea tridisoides</i>	Sida	o
97 <i>Lovoa trichilioides</i>	Dibetou	+
98 <i>Magifera indica</i>	Manuo	+
99 <i>Manilkara huberi</i>	Masseranduba	+
100 <i>Mansonina altissima</i>	Mansonina	o
101 <i>Microberlinia brazzaviliensis</i>	Zingana	+
102 <i>Millettia laurentii</i>	Wenge	-
103 <i>Mitragina ciliata</i>	Mitra	+
104 <i>Mitragyna stipulosa</i>	Abura	+
105 <i>Myrox lon balsamum</i>	Quina quina	-
106 <i>Nauclea trillesii</i>	Bilinga/Aloma	+
107 <i>Nothofagus procera</i>	Rauli	-
108 <i>Ochroma lagopus</i>	Balsa	-
109 <i>Oxystigma oxyphyllum</i>	Tchitola	+
110 <i>Parinari excelsum</i>	--	+

Botanical name	Trade/local name	Suitability
111 <i>Picea abies</i>	Fichte/spruce	+
112 <i>Picea sitchensis</i>	Sitka/Spruce	+
113 <i>Pinus caribaea</i>	Pitchpine	+
114 <i>Pinus halepensis</i>	- -	+
115 <i>Pinus kesiya</i>	- -	+
116 <i>Pinus nigra</i>	Corsican pine	+
117 <i>Pinus patula</i>	Pine	+
118 <i>Pinus sylvestris</i>	Pine/Kiefer	+
119 <i>Pipladenia africana</i>	Abgoin	o
120 <i>Podocarpus salign</i>	Maniu	+
121 <i>Populus sp.</i>	Poplar/Pappel	+
122 <i>Prioria copaifera</i>	Cativo	o
123 <i>Prunus domestica</i>	Pflaumenbaum	-
124 <i>Pseudotsuga menziesii</i>	Douglasie	+
125 <i>Pterocarpus soyauxii</i>	Red afric. padouk/Rotes afrik. Padouk	-
126 <i>Pyrus communis</i>	Birnbaum	-
127 <i>Pyrus malus</i>	Plum tree/Apfelbaum	-
128 <i>Quercus petraea</i>	Oak/Eiche	o
129 <i>Robinia pseudoacacia</i>	Robinie	-
130 <i>Salix sp.</i>	Willow/weide	o
131 <i>Salix alba</i>	White willow/Silberweide	+
132 <i>Sarcocephalus trillesii</i>	Opepe	o
133 <i>Schinopsis balansae</i>	Quebracho	-
134 <i>Sequoia sempervirens</i>	Redwood	-
135 <i>Shorea sp.</i>	Meranti	o
136 <i>Sindora sp.</i>	Sepetir	-
137 <i>Spondias mangifira</i>	Hog plum	+
138 <i>Swietenia macrophylla</i> (Real)	Echtes Mahagoni	o

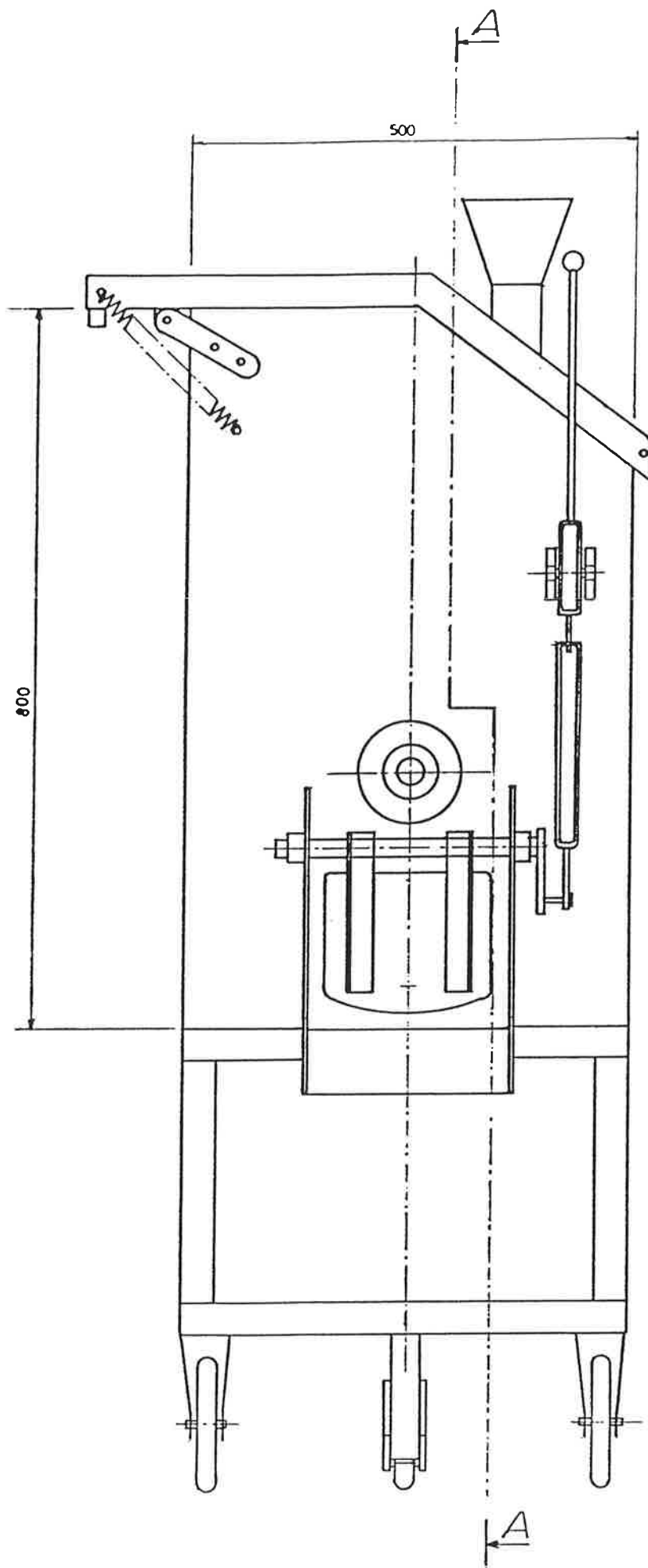


Botanical name	Trade/local name	Suitability
139 Swintonia floribunda	Civit	+
140 Tarrieta utilis	Niangon	o
141 Tectona grandis	Teak	+
142 Terminalia ivorensis	Emeri (Ghana)	+
143 Terminalia ivorensis	Framire	o
144 Terminalia superba	Afara	+
145 Terminalia superba	Limba (Ghana)	-
146 Terminalia superba	Ofram (Ghana)	+
147 Testutea gabunensis	Izombe	+
148 Tetrameles nudiflora	Baing	+
149 Thuja plicata	Thuja	+
150 Tilia sp.	Lime or basswood/Linde	-
151 Triplochiton scleroxylon	Abachi/obeche	o
152 Trypchlitor schleroxylon	Abachi	o
153 Tryplochiton sceleroxylon	Wawa	+
154 Upaca guinese	--	o
155 ? ?	Black Afara/Idigbo	o
156 ? ?	Ohdanta	+
157 ? ?	Daru (Algeria)	o
158 ? ?	Cholet (Algeria)	o
159 ? ?	Pinpigou	+
160 ? ?	Lenga (Argentine)	+
161 ? ?	Cotton sticks (Egypt)	+
162 ? ?	Boron rubberwood (Sri Lanka)	+

Note : If certain types in this list are marked as "restricted" or "not suitable", further tests should be made with special equipment to remove the cement bonding inhibitors.

If the results of such additional test are positive, our company can supply the extra equipment for additional treatment of the wood together with the manufacturing plant for wood wool-cement boards.

### 3 : Dessin d'un malaxeur pour la fabrication de béton mousse



A-A

