

PRODUITS ISOLANTS DANS LE BATIMENT : ELEMENTS COMPOSITES A BASE DE DECHETS DE LIEGE

Linda MOUFFOK-BOUAZZA¹, Saïd SAKHRAOUI¹, Sidi Mohamed Karim EL HASSAR²

1. Chargés de recherche au Centre National d'Etudes et de Recherches Intégrées du Bâtiment, CNERIB, Algérie

2. Maître de conférence, Université des Sciences et Technologie Houari Boumediene, USTHB, Algérie

RÉSUMÉ

Cet article présente les résultats d'une recherche dont l'objectif est la valorisation des déchets de liège pour la fabrication des produits thermiquement isolants. Le travail a consisté en la recherche des compositions optimales, maniables et faciles à mettre en œuvre, des matériaux composites déchets de liège crû ou expansé stabilisés par un liant hydraulique (ciment ou plâtre). La masse volumique et la conductivité thermique de ces matériaux ont été mesurées et comparées à celles des matériaux usuels. Cette étude s'est intéressée également à la détermination des épaisseurs des parois, à base des matériaux composites retenus, tout en satisfaisant les exigences de la réglementation thermique et les conditions d'aptitude à l'emploi préconisées par les normes en vigueur. Une vérification des caractéristiques mécaniques des parois a été effectuée.

ABSTRACT

This article presents the results of an experimental and theoretical study on the valorization of waste of cork. The material will be intended for the manufacture of products thermally insulating (light bricks or covers). Work consisted of the research of the optimal compositions of the composite material waste of grown or expanded cork stabilized by a hydraulic binder (cement or plaster), handy and easy to place. The density and the thermal conductivity of these materials were measured and compared with those of usual materials. This study was also interested to determinate the thickness of the walls, made of composite materials selected, that meet the requirements of the thermal regulation and the conditions of operating recommended by the standards in use. A checking of the mechanical characteristics of the walls was carried out.

MOTS CLES Algérie - isolant - déchet de liège - thermique - matériau composite-recyclage

INTRODUCTION

L'Algérie, à l'instar des autres pays, a ratifié les accords de KYOTO, concernant la réduction des émanations des gaz à effet de serre. La concrétisation sur le terrain de ces accords, s'est traduite par la promulgation d'un premier texte de loi relative à la maîtrise de l'énergie, et d'un autre texte de loi relative à la protection de l'environnement.

Ainsi:

- La loi sur la maîtrise de l'énergie couvre l'ensemble des mesures et des actions mises en œuvre en vue de l'utilisation rationnelle de l'énergie, du développement des énergies renouvelables et de la réduction de l'impact du système énergétique sur l'environnement.
- La loi sur l'environnement fixe les modalités de gestion, de contrôle

et de traitement des déchets en les valorisant par leur réemploi, leur recyclage ou toute autre action visant à obtenir des matériaux réutilisables ou de l'énergie et cela, pour réduire le risque de ces déchets et leur impact sur la santé des citoyens et l'environnement.

Entre autres 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.

Dans ce contexte, l'étude menée au Centre National d'Etudes et Recherches Intégrées du Bâtiment (C.N.E.R.I.B) a pour objet de développer des produits thermiquement isolants à base de déchets de liège provenant de l'industrie de transformation du liège.

En effet, en Algérie, les forêts de chêne liège couvrent une surface totale de 480 000 ha, la surface exploitée (Nord - Est de l'Algérie) est estimée à 200 000 ha. L'industrie de transformation du liège est assurée par 7 unités implantées à travers les wilayas d'Alger, Bejaia, Jijel, Skikda et Annaba. Il en résulte une quantité importante de déchets de liège, crû et expansé, (voir figure n°1) estimée à 7500 t/an.

Les déchets de liège crû, non exploités, sont obtenus après broyage de la matière première. Les déchets de liège expansé issus du découpage des panneaux d'agglomérés de liège expansé sont recyclés par les unités de transformation en panneaux de réagglomérés par ajout d'une colle.

L'étude a consisté, d'une part, à valoriser les déchets de liège crû, et d'autre part, à recycler autrement les déchets de liège expansé par l'élaboration d'un matériau composite à base de ces déchets stabilisés par un liant hydraulique (plâtre ou ciment). Ce matériau devrait être utilisé pour la fabrication de produits de gros œuvre de maçonnerie pour l'amélioration des performances thermiques des parois.



Figure 1 : Déchets de liège crû

1. COMPOSITION OPTIMALE DU MATÉRIAU COMPOSITE

1. 1 phase préliminaire

Dans un premier temps, l'objectif est la recherche d'une composition, déchets de liège / liant /eau, homogène et facile à mettre en œuvre. Les paramètres suivants ont été examinés :

- Variation du rapport volumétrique liant / déchets de Liège,
- Variation du rapport pondéral Eau / liant.

Les mélanges, plâtre /déchets de liège (P/L) et Ciment/déchets de liège(C/L), ont été appréciées et classées du point de vue consistance de la manière suivante :

- Ferme : difficulté de moulage,
- Molle : ségrégation,
- Normale : moulage facile et absence de ségrégation.

Les tableaux n° 1 et n°2 donnent les consistances, respectivement pour les compositions du matériau composite plâtre – déchets de liège et celles du matériau composite ciment – déchets de liège

Eau / Plâtre (E/P)	Consistance					
	Plâtre/ Liège		Plâtre/ Liège		Plâtre/ Liège	
	P/L = 1/1		P/L = 1/2		P/L = 1/3	
	Liège expansé	Liège crû	Liège expansé	Liège crû	Liège expansé	Liège crû
0,5	ferme	ferme	ferme	ferme	ferme	ferme
0,55	ferme	ferme	ferme	ferme	ferme	ferme
0,6	normale	normale	ferme	ferme	ferme	ferme
0,75	molle	molle	normale	normale	ferme	ferme
0,8	molle	molle	molle	molle	ferme	ferme

Tableau 1 : Consistance du matériau composite plâtre – déchets de liège

Eau / Ciment (E/C)	Consistance					
	Ciment/ Liège		Ciment/ Liège		Ciment/ Liège	
	C/L = 1/1		C/L = 1/2		C/L = 1/3	
	Liège expansé	Liège crû	Liège expansé	Liège crû	Liège expansé	Liège crû
0,3	Ferme	Ferme	Ferme	Ferme	Ferme	Ferme
0,35	Ferme	Ferme	Ferme	Ferme	Ferme	Ferme
0,4	Normale	Normale	Ferme	Ferme	Ferme	Ferme
0,45	Molle	Molle	Ferme	Ferme	Ferme	Ferme
0,5	liquide	liquide	normale	normale	normale	normale

Tableau 2 : Consistance du matériau composite ciment – déchets de liège

Seules les compositions qui donnent des mélanges de consistance normale ont été retenues (voir tableau n°3).

Liant	Matériau composite	Composition	
		P/L	E/P
Plâtre	Plâtre – déchets en granulés de liège expansé	1-janv	0,6
		1-févr	0,75
	Plâtre – déchets en granulés de liège cru	1-janv	0,6
		1-févr	0,75
Ciment	Ciment – déchets en granulés de liège expansé	C/L	E/C
		1-janv	0,4
		1-févr	0,5
	Ciment – déchets en granulés de liège cru	1-mars	0,5
		1-janv	0,4
		1-févr	0,5
		1-mars	0,5

Tableau 3 : Les compositions retenues

Pour la suite de l'article, on appellera les matériaux composites :

P1 : plâtre-déchets de liège expansé de composition P/L = 1/1 ; E/P = 0,60

P2 : plâtre – déchets de liège expansé de composition P/L = 1/2 ; E/P = 0,75

P3 : plâtre – déchets de liège cru de composition P/L = 1/1 ; E/P = 0,60

P4 : plâtre – déchets de liège cru de composition P/L = 1/2 ; E/P = 0,75

C1 : ciment – déchets de liège expansé de composition C/L = 1/2 ; E/C = 0,50

C2 : ciment – déchets de liège expansé de composition C/L = 1/3 ; E/C = 0,50

C3 : ciment – déchets de liège cru de composition C/L = 1/2 ; E/C = 0,50

C4 : ciment – déchets de liège cru de composition C/L = 1/3 ; E/C = 0,50

C5 : ciment – déchets de liège expansé de composition C/L = 1/1 ; E/C = 0,40

C6 : ciment – déchets de liège cru de composition C/L = 1/1 ; E/C = 0,40

1.2. Masse volumique sèche et conductivité thermique

Dans un deuxième temps, l'objectif est la recherche de compositions qui auront des masses volumiques sèches et des conductivités thermiques optimales.

La conductivité thermique a été déterminée en utilisant le CT METRE (voir figure n°2).

Six éprouvettes de dimensions 10x20x4 cm sont confectionnées pour chaque matériau composite.



Figure 2 : CT mètre - mesure de la conductivité thermique

Les tableaux n°4 et n°5 donnent les valeurs des masses volumiques et des conductivités thermiques mesurées et comparées à celles de plâtre courant dans le cas du matériau composite plâtre – déchets de liège et à celles des bétons légers dans le cas du matériau composite ciment – déchets de liège.

Compositions	Masse volumique sèche (kg/m ³)	λ (W/m. °C)
P1	912,02	0,34
P2	566,83	0,11
P3	847,08	0,3
P4	602,54	0,13
Plâtre courant [7]	750 à 1000	0,35

Tableau 4 : Valeurs moyennes des masses volumiques sèches et des conductivités thermiques pour les matériaux composites plâtre – déchets de liège

Compositions	Masse volumique sèche (kg/m ³)	λ (W/m. °C)
C1	852,46	0,34
C2	648,31	0,19
C3	871,18	0,27
C4	662,48	0,2
C5	1493,49	0,74
C6	1524,74	0,66
bétons isolants et porteurs [7]	1200 à 1400	0,7
	1000 à 1200	0,46
Bétons caverneux [7]	800 à 1000	0,33
	600 à 800	0,25

Tableau 5 : Valeurs moyennes des masses volumiques sèches et des conductivités thermiques pour les matériaux composites ciment – déchets de liège

L'ajout des déchets de liège avec un rapport liant / déchets de liège égale à 1/1, cas des matériaux composites P1, P3, C5 et C6, n'allège pas le matériau composite liant – déchets de liège et n'améliore pas ses performances thermiques, c'est pourquoi, nous n'avons retenu que les compositions P2, P4, C1, C2, C3 et C4.

2. CARACTÉRISATION DES PRODUITS

Les produits étudiés ont été caractérisés en fonction de leur usage :

- Cloison de doublage intérieur ;
- Plafonds suspendus ;
- Chape isolante.



Figure 3 : Produits en matériau composite liant – déchets de liège

2.1 Eléments manufacturés

2.1.1 Détermination des épaisseurs des éléments en matériau composite liant – déchets de liège

Hauteur (cm)			Epaisseur (cm)				Longueur (cm)					
20	25	30	7,5	10	12,5	15	17,5	20	20	30	40	60

Tableau 6 : Dimensions des blocs en béton de granulats légers

Les épaisseurs des éléments en matériau composite liant – déchets de liège ont été déterminées en respectant, d'une part les exigences de la réglementation thermique algérienne [7], et d'autre part les spécifications normatives [1], [3], [5].

Ces normes exigent :

- Concernant les carreaux en plâtre pour cloison de doublage, une épaisseur minimale de 5 cm,
- Concernant les plaques pour plafonds suspendus, l'épaisseur dépend des dimensions des plaques et elle est généralement de 3 cm.
- Les dimensions extérieures effectives du bloc en béton de granulats légers doivent être comprises dans les dimensions de fabrication spécifiées dans le tableau ci-dessous, compte tenu des tolérances indiquées.

La réglementation thermique [7], actuellement en vigueur en Algérie, préconise de ne pas dépasser les valeurs suivantes concernant les coefficients de transmission surfaciques :

- $K \leq 1,1$ W/m².°C pour les toitures des constructions implantées dans le Nord du pays, en bord de mer ;
- $K \leq 0,85$ W/m².°C pour les toitures des constructions implantées dans le Nord du pays, dans les régions intérieures ;
- $K \leq 1,2$ W/m².°C pour les murs extérieurs.

Ces performances minimales à atteindre ont servi de base au calcul des épaisseurs des éléments.

Concernant les murs extérieurs, nous avons considéré un mur en maçonnerie de terre cuite ; la toiture est soit une dalle en béton armé de 16 cm d'épaisseur, soit constituée de corps creux.

Les résultats de ces calculs sont présentés dans les tableaux 7 et 8.

K W/m ² .°C	Mur extérieur avec lame d'air					
	e (m)	e (m)	e (m)	e (m)	e (m)	e (m)
	[P2 : λ = 0,11]	[P4 : λ = 0,13]	[C1 : λ = 0,34]	[C2 : λ = 0,19]	[C3 : λ = 0,27]	[C4 : λ = 0,20]
0,8	0,07	0,08	0,22	0,12	0,17	0,13
0,9	0,05	0,06	0,17	0,1	0,14	0,1
1	0,04	0,05	0,13	0,07	0,11	0,08
1,1	0,03	0,03	0,1	0,06	0,08	0,06
1,2	0,02	0,03	0,08	0,04	0,06	0,04

Tableau 7 : Doublage par l'intérieur des murs extérieurs en maçonnerie en terre cuite.

K W/m ² .°C	Plancher terrasse en dalle en béton		Plancher terrasse en dalle en corps creux	
	e (m)	e (m)	e (m)	e (m)
	[P2 : λ = 0,11]	[P4 : λ = 0,13]	[P2 : λ = 0,11]	[P4 : λ = 0,13]
0,6	0,13	0,15	0,11	0,12
0,7	0,1	0,12	0,08	0,09
0,8	0,08	0,09	0,06	0,07
0,9	0,07	0,08	0,04	0,05
1	0,05	0,06	0,03	0,04
1,1	0,04	0,05	0,02	0,03

Tableau 8 : Plafonds suspendus.

Les spécifications normatives et les exigences thermiques réglementaires conduisent au choix des épaisseurs données dans le tableau 9.

Utilisation	Doublage par l'intérieur en plâtre allégé	Doublage par l'intérieur en matériau ciment - déchets de liège	Plafonds suspendus en plâtre allégé
Epaisseur (cm)	5 à 10	8 à 20	3 à 4

Tableau 9 : Epaisseur des éléments en matériau composite liant - déchets de liège en fonction de leur utilisation

2.1.2 Vérification des caractéristiques mécaniques

2.1.2.1 Carreaux en plâtre pour cloison de doublage par l'intérieur

Concernant les carreaux en plâtre pour cloison de doublage par l'intérieur, il s'agit de déterminer la résistance à la rupture par flexion des éprouvettes de dimensions 4x4x16 cm, et de vérifier que le moment de flexion à la rupture rapporté à la hauteur du carreau est supérieur à 550 Nm/m [3].

Les essais de résistance à la flexion ont donné les résultats suivants :

Epaisseur (m)	Moment de flexion à la rupture M _f ^(*) pour le matériau composite P2 (N.m / m)	Moment de flexion à la rupture M _f ^(*) pour le matériau composite P4 (N.m / m)	Moment admissible de flexion à la rupture (N.m/m)
0,05	306,25	263,33	≥ 550
0,07	600,25	516,13	
0,08	784	674,13	
0,1	1225	1053,33	

Tableau 10 : Moment de flexion à la rupture des Carreaux en plâtre allégé pour cloison de doublage

(*) : Moment de flexion rapporté à la hauteur du carreau est donné par la formule suivante :

$$M_f = 6 \frac{\sigma_f}{e}$$

Avec :

M_f (N.m/m) : Le moment de flexion rapporté à la hauteur du carreau.

σ_f (N/m²) : La résistance à la flexion à la rupture,

e (m) : L'épaisseur du carreau.

Les carreaux en plâtre allégé doivent avoir une épaisseur comprise entre 8 et 10 cm pour pouvoir satisfaire aux exigences d'une paroi thermiquement isolante et aux conditions d'aptitude à l'emploi.

2.1.2.2 Plaques pour plafonds suspendus en plâtre allégé

Concernant les plaques pour plafonds suspendus en plâtre allégé, il s'agit, dans un premier temps de déterminer le module d'élasticité des éprouvettes, de dimensions 4x4x16 cm, soumises aux essais de compression et dans un deuxième temps, de vérifier la flèche de la plaque sur laquelle a été étendue une charge de plâtre de 2 cm d'épaisseur, placée sur 2 appuis distants de 0,60 m.

Les valeurs trouvées de E des deux matériaux composites P2 et P4 sont données dans le tableau n°11.

Plâtre allégé	Module d'élasticité E (N/mm ²)			
	éprouvette 1	éprouvette 2	éprouvette 3	Moyen
P2	93	115	96	102
P4	108	98	116	107

Tableau 11 : Module d'élasticité E des deux matériaux composites P2 et P4

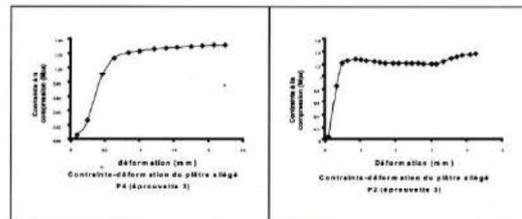


Figure 4 : courbes contrainte déformation P4 et P2

Les résultats des calculs des flèches sont fournis dans le tableau n°12.

Epaisseur (m)	0,03	0,04	0,05
Masse volumique du matériau composite P2 (kg/m ³)	523		
La charge « q » (kg/m)	31,69	37,35	42,14
Flèche f ^(*) pour le matériau composite P2 (mm)	0,39	0,19	0,11
Masse volumique du matériau composite P4 (kg/m ³)	603		
La charge « q » (kg/m)	34,08	40,1	46,13
Flèche f ^(*) pour le matériau composite P4 (mm)	0,4	0,2	0,12
Flèche admissible [1] (mm)	≤ 5		

(*) : flèche est donnée par la formule suivante :

$$f = \frac{5ql^4}{384EI}$$

où :

- f : la flèche de la plaque en plâtre allégé
- q : le chargement par mètre linéaire
- l : distance entre les deux appuis = 0,60 m
- e : épaisseur de la plaque (m)
- E : module d'élasticité du plâtre allégé.
- I : moment d'inertie de la plaque d'épaisseur e et de longueur 0,60 m.

Tableau 12 : Flèche des plaques pour plafonds en plâtre allégé

Compte tenu de la vérification la flèche admissible donnée par la norme en vigueur, les éléments en plâtre allégé pour plafonds suspendus peuvent avoir des épaisseurs de 3, 4 et 5 cm.

2.1.2.3 Blocs pour cloison en matériau composite ciment – déchets de liège

Concernant les blocs pour cloison en matériau composite ciment – déchets de liège, leur résistance à la compression, déterminée après écrasement des éprouvettes de dimensions 4 x 4 x 16 cm, doit être au moins égale à la valeur choisie dans le tableau ci-dessous :

Classe de résistance	L35	L45	L70
Résistance nominale (MPa)	3,5	4,5	7

Tableau 13 : Résistance nominale des blocs en béton de granulats légers.

Les valeurs de résistances à la compression des différentes compositions du matériau composite ciment – déchets de liège sont données dans le tableau n° 14

Composition	Résistance moyenne de rupture à la compression (MPa)
C1	6,91
C2	1,24
C3	3,74
C4	1,21

Tableau 14 : Résistances à la compression des différentes compositions du matériau composite ciment – déchets de liège

Les compositions C2 et C4 donnent des résistances à la compression inférieures à celle préconisée par la norme [4], donc seules les compositions C1 et C3 peuvent être utilisées pour la confection des éléments de cloison en matériau composite ciment – déchets de liège.

2.2 Chape en matériau composite ciment – déchets de liège

Concernant les chapes en matériau composite ciment – déchets de liège, il s'agit de vérifier et de comparer les caractéristiques physiques tels que la masse volumique, la conductivité thermique utile, le gonflement à 28 jours et sa résistance mécanique à la compression à 28 jours à celles d'une chape constituée par un béton à base de ciment et de granulats isolants [8], voir tableau n°15.

Caractéristique	Chape en béton de granulats isolants					
	1	2	C1	C2	C3	C4
Masse volumique (kg/m ³)	500	900	853	648	871	663
Conductivité thermique utile (W/m°C)	0,14	0,33	0,34	0,19	0,27	0,2
Gonflement à 28 jours (mm/ml)	1,35	-	0,24	0,29	0,25	0,34
Résistance à la compression (Mpa)	2,2	2,7	6,91	1,24	3,74	1,21

Tableau n°15 : Caractéristiques de la chape en matériau composite ciment – déchets de liège.

Les compositions C2 et C4 donnent des résistances à la compression inférieures à celles en béton de granulats isolants [8]. Les chapes en matériau composite ciment – déchets de liège sont constituées uniquement des compositions C1 et C3.

Le gonflement a été mesuré sur des éprouvettes prismatiques 4x4x16 cm par le Rétractomètre (figure n° 5). Ces mesures ont été effectuées sur un support stable à 3 jours, 7 jours, 14 jours et 28 jours.



Figure n° 5 : Rétractomètre-mesure des variations dimensionnelles

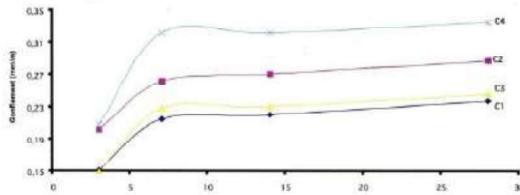


Figure 6 : Gonflement des matériaux composites ciment-déchets de liège

3. PRODUCTION

Les procédés de fabrications des produits traditionnels (éléments en plâtre, blocs en béton léger, chape) peuvent être adaptés aux produits à base de matériaux composites liant – déchets de liège.

Toutefois le malaxage le mieux adapté, pour le matériau composite liant – déchets de liège, consiste à mélanger les constituants dans un malaxeur à axe horizontal doté de palettes sous forme d'hélices car son malaxage dans un malaxeur à mortier ou à béton donne un mélange hétérogène et ségrégué ; le liège remonte à la surface et le mortier (eau + liant) occupe la fond de la cuvette.

Le malaxeur réalisé au CNERIB est doté, au lieu et place de palette hélicoïdale, d'un système de multi – palettes triangulaires disposées horizontalement (voir figures n° 7 et 8).

Pour obtenir une consistance homogène du mélange, le malaxage se fait alternativement dans les deux sens et avec une vitesse lente d'environ 70 tours/minute.



Figure 7 : Système de multi – palettes



Figure 8 : Malaxeur

4. CONCLUSION

• L'utilisation des produits en matériau composite liant - déchets de liège dans le bâtiment, comme éléments verticaux, carreaux et blocs pour cloison de doublage, ou horizontaux, plaques pour plafonds suspendus et chape, améliore le confort thermique.

• Pour satisfaire aux conditions d'aptitude à l'emploi fixées par les normes en vigueur, telles que les dimensions nominales et caractéristiques mécaniques, les éléments préfabriqués en matériau composite liant – déchets de liège doivent avoir des épaisseurs comprises entre 8 cm et 10 cm pour les carreaux de doublage en plâtre – déchets de liège, entre 3 cm et 5 cm pour les plaques pour plafonds suspendus en plâtre – déchets de liège et entre 8 cm et 20 cm pour les blocs en ciment – déchets de liège.

• La chape en matériau composite ciment – déchets de liège doit avoir les compositions C1 et C3 pour pouvoir satisfaire aux exigences de chape similaire. Les épaisseurs optimales sont à déterminer au cas par cas par application de la réglementation thermique algérienne en vigueur [7], [9].

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

[1] : AFNOR - DTU N° 25.232 (NF P 68-201) - Cahier des charges applicable aux travaux de plafonds suspendus, plaques de plâtre à enduire, plaques de plâtre à parement lisse directement suspendues – février 1960.

[2] : M.A.Aziz, C.K.Murphy and S.D.Ramaswamy - Lightweight concrete using cork granules — The International Journal of Lightweight concrete, vol 1, N)1, 1979 – the construction press Ltd.

[3] : AFNOR - NF P 72 – 301 : carreaux en plâtre d'origine naturelle à parement lisses pour cloison de distribution ou doublage - décembre 1983.

[4] : AFNOR - NF P 14 – 304 - Agglomérés - blocs en béton de granulats légers pour murs et cloisons – septembre 1983

[5] : AFNOR - NF P 14 – 402 - Agglomérés - blocs en béton pour murs et cloisons - dimensions – septembre 1983

[6] : Centre d'Etudes et d'Habitat de Lund et CNERIB - Matériaux thermiquement isolant – Rapports 1 et 2 – 1993.

[7] : Commission Technique Permanente - Document Technique Réglementaire (DTR C3-2) : Réglementation thermique des bâtiments d'habitation : Règles de calcul des déperditions calorifiques fascicule 1 - C.N.E.R.I.B, 1998.

[8] : Cahier des clauses techniques polys béton – enquête technique spécialisée de SOCOTEC AX 5047-002 - Edition 2000.

[9] : Commission Technique Permanente - Document Technique Réglementaire (DTR C 3-4) : Réglementation thermique des bâtiments d'habitation : Règles de calcul des apports calorifiques des bâtiments (climatisation) fascicule 2 - C.N.E.R.I.B, 2005.