

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Mémoire de Master

Présenté à l'Université 08 Mai 1945 de Guelma

Faculté des Sciences et de la Technologie

Département de : Génie Civil & Hydraulique

Spécialité : Génie Civil

Option : STRUCTURES

Présenté par : Boulamar Djezira

Koriche Meriem

Thème : Construction en béton cellulaire. Avantages et inconvénients

Sous la direction de : Pr. Benmalek Med Larbi

Juin 2018

REMERCIEMENTS

*Nos premiers remerciements vont à notre encadreur Pr. **Benmalek Med Larbi** qui nous a témoigné son soutien et sa confiance et qui nous a prodigué un enseignement toujours judicieux et rigoureux durant toutes les phases du mémoire. Qu'il trouve ici l'expression de notre sincère gratitude.*

*Nous tenons également à adresser nos vifs remerciements à Monsieur **Grini Abdwahab** ingénieur en génie civil et professeur à l'Université de Constantine qui nous a fourni des informations très utiles relatives à notre travail.*

*Nous tenons également à adresser nos vifs remerciements à Melle **Boukour Salima** qui nous a aidé au Laboratoire de Génie Civil et Hydraulique de l'Université de Guelma à effectuer quelques essais sur le béton cellulaire*

*Nous disons merci beaucoup à Monsieur **Zayaz Adel** qui n'a ménagé aucun effort pour nous aider dans la visite de la briqueterie de Bordj Sabath dont les murs sont fabriqués en béton cellulaire.*

Et pour conclure merci à toutes les personnes ayant contribué de loin ou de près à la réalisation de ce mémoire.

BOULAMAR DJEZIRA

KOURICHE MERIEM

Dédicace

Je remercie le Dieu le tout puissant de m'avoir aidé à réaliser ce modeste travail.

Je dédie ce travail à :

- ❖ Mon père qui a sacrifié sa vie afin de me voir réussir dans le parcours de l'enseignement. Celui qui est toujours resté à mes côtés dans les moments pénibles de ma vie.
- ❖ Ma très chère mère, qui m'a accompagné durant les moments les plus rudes de ce long parcours de mon éducation, dont je devais incessamment être de grande compétence et motivation. Cependant, je prie Dieu le Miséricordieux qu'il te portera récompense, car la mienne ne sera guère complète.
- ❖ Me sœur : "Ichraf "et son mari "Adel" pour sa générosité .
- ❖ Mes frères : "Houssam", "Imed" ,"Salim"
et leurs femmes : " Delal" , "Assia" et" Sonia".
- ❖ Mon mari : "Mohamed" qui m'a soutenu moralement.
- ❖ Poussins de famille : "Rouja ", " Jouba"et "Anousse."
- ❖ Mon ami dans l'étude et le travail "Meriem" .
- ❖ Mes amis : Nour, Sara, Rahma, Hanan, Marwa,Amina et Amel.
- ❖ Tous mes enseignants du primaire à l'université
- ❖ Ceux qui se sont sacrifiés et qui se sont donnés pour les études et dont je rends un vibrant hommage et surtout *Monsieur Benmalek* qui m'a soutenu tout au long de cette étude.

DJEZIRA

Dédicace

Je remercie Dieu le tout puissant de m'avoir aidé à réaliser ce modeste travail.

Je dédie ce travail à :

- ❖ *Mes très chers parents qui m'ont soutenu tout au long de mon parcours universitaire.*
- ❖ *Mes sœurs : Bouthaina et Rahma.*
- ❖ *Mes frères : Ilyas, Mehdi et Ahmed. et leurs femmes Razika et Meriem.*
- ❖ *Mon mari : Walid qui m'a soutenu tout au long de ma carrière universitaire.*
- ❖ *Les poussins de famille : Islam, Sirine et Mohamed.*
- ❖ *Mes amis : Djezira, Nour, Sara, Manel, Rima, Adila, Roumaissa et Amel.*
- ❖ *Ceux qui se sont sacrifiés et qui se sont donnés pour les études et dont je rends un vibrant hommage et surtout Monsieur Benmalek qui m'a soutenu tout au long de cette étude.*

MERIEM

ملخص

هذا البحث يتكون من جزئين : جزء نظري وجزء تطبيقي ، متمثل في دراسة حول الخرسانة الخلوية من حيث المكونات وطريقة الصنع وكذلك الخصائص الفيزيائية والميكانيكية وكيفية استعمالها في البناء . بالإضافة فإن الخرسانة الخلوية تختلف عن الخرسانة العادية في عدة خواص : الكتلة الحجمية (الكثافة) ، المسامية ، سهولة قص العناصر المسبقة الصنع ، المقاومة الميكانيكية والمقاومة ضد الحريق . اما الجزء التطبيقي فيتمثل في البحث في الميدان وإجراء بعض التجارب البسيطة في المخبر .

Résumé

Cette recherche se compose de deux parties : une partie théorique et une partie appliquée, qui étudie la structure cellulaire en termes de composants et de méthodes de fabrication, ainsi que les propriétés physiques et mécaniques et leur utilisation dans la construction. Densité, porosité, coupe facile des articles préfabriqués, résistance mécanique et résistance au feu.

La partie pratique consiste en une visite, d'ouvrages en béton cellulaire sur le terrain et la réalisation de quelque essai simple en laboratoire.

Abstract

This research consists of two parts: a theoretical part and an applied part. This is a study of the cellular structure in terms of components and method of manufacture, as well as in terms of physical and mechanical properties and how to use them in construction. In addition, the cellular concrete differs from ordinary concrete in several properties: Density, porosity, easy cutting of pre-made items, mechanical resistance and fire resistance.

The practical part is to visit some buildings made of cellular concrete and to conduct some simple tests in the laboratory.

Sommaire

INTRODUCTION GÉNÉRALE	1
PARTIE I:Recherche bibliographique	
CHAPITRE I : PRESENTATION DU BETON CELLULAIRE	
I.1 Historique	5
I.2.Définition	5
I.3 composition.	6
I.4 Fabrication.	7
I.5 principales utilisations	9
CHAPITRE II : CARACTERISTIQUES PHYSIQUES ET MECANIQUES	
II.1 Caractéristiques physiques et mécaniques.	13
II.1.1 La structure	13
II.1.2 La densité.	15
II.1.3 Résistance à la compression	17
II.1.4 Résistance à la traction par flexion	18
II.1.5 Résistance au cisaillement	18
II.1.6 Module d'élasticité (Valeur E)	19
II.1.7 Comportement dans le temps.	19
II.1.7.1 Séchage du béton cellulaire	19
II.1.7.2 Retrait dû au durcissement.....	21
II.1.7.3 Dilatation thermique.....	22
II.1.7.4 Flèche des éléments armés en béton cellulaire	23
II.1.7.5 Diffusion de vapeur	23
II.1.7.6 Résistance aux agents chimiques	24
II.1.7.7 Absorption d'eau.....	24
II.1.7.8 Résistance au gel et dégel	26
II.1.8 Environnement et qualité de vie	26
II.1.8.1 Environnement et qualité de vie	26
II.1.8.2 Besoins en énergie.....	26
II.1.8.3 Recyclage	27
II.1.8.4 Respect de l'environnement.....	28
II.1.8.5 Qualité de vie	28
II.2 Caractéristiques thermiques	28
II 2.1 Coefficient de conductivité thermique λ	28
II 2.2 Coefficient de conductibilité thermique λ pour murs en blocs de béton cellulaire.	29
II 2.2.1 Valeurs de base des blocs de béton cellulaire	29
II 2.2.2 Valeurs utiles des murs en béton cellulaire collés	29
II 2.2.3 Valeurs utiles des dalles de bardage en béton cellulaire.....	30

II 2.2.4 Valeurs utiles des dalles de toiture en béton cellulaire.....	31
II.2.3 Valeurs de résistance thermique R	31
II.2.4 Résistance thermique totale RT d'une paroi	31
II.2.5 Coefficient de transmission thermique U des parois.....	33
II.2.6 Température de surface	34
II.2.7 Inertie thermique.....	35
II.2.7.1 Généralités	35
II 2.7.2 Capacité thermique	36
II 2.7.3 Amortissement thermique et déphasage	36
II.3 Acoustique	38
II.3.1 Généralités	38
II.3.2 L'absorption acoustique.....	39
II.3.3 Bruits aériens	40
II.3.4 L'isolation acoustique dans les bâtiments.....	41
II.3.5 Acoustique de la construction en béton cellulaire.....	41
II.3.5.1 Murs extérieurs massifs en blocs de béton cellulaire.....	41
II.3.5.2 Murs intérieurs en blocs de béton cellulaire.....	42
II.3.5.3 Doubles murs de séparation entre habitations de rangée / habitations doubles / appartements.....	42
II.3.5.4 Murs intérieurs en blocs de béton cellulaire avec élément rapporte sur 1 ou 2 faces.....	44
II.4 Résistance au feu du béton cellulaire.....	45
II.4.1 Détermination de la résistance au feu.....	45
II.4.2 Une assurance contre le feu du béton cellulaire	46
II.4.3 Résistance au feu des parois en béton cellulaire.....	46
II.4.3.1 Murs en blocs collés.....	46
II.4.3.2 Murs en dalles armées.....	46
II.4.3.3 Dalles de toiture et de plancher.....	47
II.4.4 Comportement du béton cellulaire en cas d'incendie.....	47
II.4.4.1 Réaction au feu.....	47
II.4.4.1 Résistance au feu.....	47

Chapitre III : CARACTERISTIQUES DES PRODUITS EN BETON CELLULAIRE

III.1 Caractéristiques des produits.....	49
III.1.1 Eléments non armés.....	49
III.1.1.1 les blocs.....	49
III.1.1.2 Linteaux.....	51
III.1.2 Eléments armés.....	53
III.1.2.1 Dalles de bardage (Panneaux de façade).....	53
III.1.2.2 Dalles de toiture	54
III.1.2.3 Dalles de plancher.....	56
III.1.2.4 Dalles de cloison intérieure.....	58
III.2 Utilisation des produits.....	59

III.2.1 Éléments non armés	59
III.2.1.1 Blocs et linteaux.....	59
III.2.2 Éléments armés	60
III.2.2.1 Les dalles de mur.....	60
III.2.2.2 Dalles de toiture.....	60
III.2.2.3 Dalles de plancher.....	61
III.2.2.4 Dalles de cloison.....	61

Chapitre IV : FINITIONS DU BETON CELLULAIRE

IV.1 Finitions intérieures	63
IV.1.1 Enduits minces (2 à 5 mm d'épaisseur)	63
IV.1.2 Peinture intérieure	64
IV.1.3 Finition intérieure des dalles en béton cellulaire	64
IV.1.4 Finitions intérieures des dalles de toiture en béton cellulaire	65
IV.1.5 Carrelages	65
IV.2 Finitions extérieures	66
IV.2.1 Briques de façade	66
IV.2.2 Enduits extérieurs	66
IV.2.3 Peinture extérieure sur blocs de béton cellulaire	67
IV.2.4 Finition des dalles de mur en béton cellulaire	67
IV.2.4.1 Peinture extérieure sur dalles en béton cellulaire.....	68
IV.2.4.2 Enduit extérieur sur dalles en béton cellulaire.....	68
IV.2.5 Finition des dalles de toiture en béton cellulaire	69

PARTIE II:PARTIE PRATIQUE

CHAPITRE V : ETUDE DE CAS PRATIQUES

V.1 Utilisation pratique des bétons cellulaires	72
V.1.1 Echantillons recueillis auprès du marché couvert d'oued zenati	72
V.1.1.1 Description.....	72
V.1.1.2 Photos.....	73
V.1.2 Echantillons recueillis auprès de l'usine de brique rouge de bordj	
Sabath	75
V.1.2.1 Description.....	75
V.1.2.2 Photos.....	75
V.2 Essais expérimentaux	77
V.2.1 Essai non destructif de résistance à la compression	77
V.2.2 Densité	78
CONCLUSION GÉNÉRALE	80
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	

Liste des figures

CHAPITRE I : PRESENTATION DU BETON CELLULAIRE

Figure I.1 : Composition de béton cellulaire	7
Figure I.2 : Schéma de fabrication des blocs	9
Figure I.3 : Schéma de fabrication des blocs non armés	10
Figure I.4 : Schéma de fabrication des éléments armés	11

CHAPITRE II : CARACTERISTIQUES PHYSIQUES ET MECANIQUES

Figure II.1 : Structure du béton cellulaire (échelle 1/1)	13
Figure II.2 : Structure du béton cellulaire vue au microscope électronique	13
Figure II.3 : Répartition des cellules en fonction de leur diamètre	14
Figure II.4 : Correspondance entre le volume de la matière première et le volume du béton cellulaire	15
Figure II.5 : Transfert des contraintes dans le béton ordinaire et dans le béton cellulaire	17
Figure II.6 : Module d'élasticité en fonction du taux d'humidité dans Le matériau	19
Figure II.7 : Courbe de séchage des blocs en béton cellulaire a température ambiante intérieure	20
Figure II.8 : Teneur en humidité d'équilibre (en volume) En fonction de la masse volumique	20
Figure II.9 : Retrait dû au séchage pour le beton cellulaire	21
Figure II.10 : Retrait dans le temps	21
Figure II.11 : Comparaison du retrait dû au séchage pour différents matériaux	22
Figure II.12 : courbe des éléments armés en béton cellulaire	23
Figure II.13 : coefficient d'absorption d'eau de différents matériaux	25
Figure II.14 : courbe des Absorption capillaire pour différents matériaux	25
Figure II.15 : Consommation de matières premières et d'énergie nécessaire à la production de matériaux de construction	27
Figure II.16 : Recyclage du béton cellulaire	27
Figure II.17 : Coefficient de conductivité thermique	28
Figure II.18 : Coefficient de transmission thermique U global	33
Figure II.19 : diagramme Le confort thermique	35
Figure II.20 : L'inertie thermique d'un mur en thermo pierre assure la fraîcheur à l'intérieur	36
Figure II.21 : Amortissement thermique et déphasage	37
Figure II.22 : Acoustique	38
Figure II.23 : Schéma du bruit incident	40
Figure II.24 : Exemple d'incendie dans un bâtiment de stockage, compartimenté par des murs coupe-feu en béton cellulaire	45

CHAPITRE III : CARACTERISTIQUES DES PRODUITS EN BETON CELLULAIRE

Figure III.1 : Profils de béton cellulaire	49
---	----

Figure III.2 : Bloc de béton cellulaire	49
Figure III.3 : Linteau en béton cellulaire	52
Figure III.4 : Dalles de bardage	53
Figure III.5 : Panneaux de façade	53
Figure III.6 : Dalles de toiture	55
Figure III.7 : Dalles de plancher	57
Figure III.8 : Dalles de cloison intérieure	58

CHAPITRE IV : FINITIONS DU BETON CELLULAIRE

Figure IV.1 : Enduit intérieur pour beton cellulaire	64
Figure IV.2 : Peinture intérieure pour beton cellulaire	64
Figure IV.3 : Peinture extérieure pour béton cellulaire	67

CHAPITRE V : ETUDE DE CAS PRATIQUES

Figure V.1 : Situation du marché couvert	72
Figure V.2 : Dalles de plancher en beton cellulaire ceinturées par des poutres en béton armé	73
Figure V.3 : Dalles de plancher en beton cellulaire photos agrandies	74
Figure V.4 : Situation de d'usine de brique rouge	75
Figure V.5 : mur en beton cellulaire	75
Figure V.6 : Photo agrandie du mur	75
Figure V.7 : Séparation de 2 murs par un poteau en charpente métallique	76
Figure V.8 : Enduits de mur	76
Figure V.9 : Détail de la jonction mur-poteau métallique	76
Figure V.10 : Autre photo du mur en béton cellulaire	76
Figure V.11 : Béton cellulaire armé	76
Figure V.12 : du béton cellulaire utilisé dans la construction du mur	76
Figure V.13 : Appareille d'ultrasons	77
Figure V.14 : Appareille d'ultrasons (photo agrandi)	77
Figure V.15 : Essai à l'ultrason au laboratoire de recherche LGCH sur un échantillon de mur en béton cellulaire	77
Figure V.16 : Masse de l'échantillon du béton cellulaire (M=691.76 g)	79

Liste des tableaux

CHAPITRE II : CARACTERISTIQUES PHYSIQUES ET MECANIQUES

Tableau II.1 : Classification du béton cellulaire selon la masse volumique et la résistance à la compression	16
Tableau II.2 : Catégories blocs	16
Tableau II.3 : Catégories éléments armés	16
Tableau II.4 : Résistance à la compression du béton cellulaire selon la densité	18
Tableau II.5 : Valeurs caractéristiques de la résistance à la traction par flexion	18
Tableau II.6 : Résistance au cisaillement	18
Tableau II.7 : Le coefficient de dilatation	22
Tableau II.8 : facteur de résistance à la diffusion de vapeur	24
Tableau II.9 : valeurs de base	29
Tableau II.10 : Valeurs utiles des murs en béton cellulaire collés	30
Tableau II.11 : Valeurs utiles des dalles de bardage en béton cellulaire	30
Tableau II.12 : Valeurs utiles des dalles de toiture en béton cellulaire	31
Tableau II.13 : Les valeurs R_{si} , R_{se}	32
Tableau II.14 : Résistance thermique R_a en $m^2 \cdot K/W$ des lames d'air confinées dans des plafonds, parois et planchers	32
Tableau II.15 : Valeurs U de parois en béton cellulaire	34
Tableau II.16 : les résultats des Amortissement thermique et déphasage	37
Tableau II.17 : Coefficient d'absorption (a) des différents matériaux	39
Tableau II.18 : Indice d'amortissement acoustique de murs	40
Tableau II.19 : valeur d'isolation R de mur extérieur	42
Tableau II.20 : valeur d'isolation R de mur intérieur	42
Tableau II.21 : Amélioration de l'isolation en fonction de la largeur de la lame d'air	43
Tableau II.22 : Valeurs d'isolation des doubles murs de séparation	43
Tableau II.23 : Valeurs d'isolation Murs intérieurs	44
Tableau II.24 : Toiture en dalles de béton cellulaire avec couverture	44
Tableau II.25 : Les valeurs des murs en blocs collés	46
Tableau II.26 : Les valeurs des murs en dalles armées	46
Tableau II.27 : La résistance au feu des dalles de toiture et de plancher	47

CHAPITRE III : CARACTERISTIQUES DES PRODUITS EN BETON CELLULAIRE

FICHE TECHNIQUE DES BLOCS

Tableau III.1 : Dimensions	50
Tableau III.2 : Classification suivant la norme PTV 21-002	50
Tableau III.3 : Mise en œuvre	50
Tableau III.4 : Valeurs thermiques des maçonneries de blocs colle	51

FICHE TECHNIQUE LINTEAUX

Tableau III.5 : Dimensions	52
Tableau III.6 : Surcharges	52
Tableau III.7 : Appui	52
Tableau III.8 : Valeurs thermiques	52

FICHE TECHNIQUE DALLES DE MUR

Tableau III.9 : Dimensions	54
-----------------------------------	----

Tableau III.10 : Valeurs thermiques	54
Tableau III.11 : Résistance au feu	54
FICHE TECHNIQUE DALLES DE TOITURE	
Tableau III.12 : Dimensions	55
Tableau III.13 : Surcharges admissibles	55
Tableau III.14 : Valeurs thermiques coefficients: U (W/m ² K)	56
Tableau III.15 : Fleche admissible	56
Tableau III.16 : Résistance au feu	56
FICHE TECHNIQUE DALLES DE PLANCHER	
Tableau III.17 : Dimensions	57
Tableau III.18 : Flèche admissible	57
Tableau III.19 : Valeurs thermiques	57
Tableau III.20 : Résistance au feu	57
FICHE TECHNIQUE DALLES DE CLOISONS INTERIEURES	
Tableau III.21 : Dimensions	58
Tableau III.22 : Résistance au feu	59

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Les bétons cellulaires sont en général des mortiers remplis de petites bulles d'air. Ces mortiers sont des mélanges de sables (granulats à base de silice), de ciment portland et de chaux. Les bulles sont créées à l'intérieur de la pâte grâce aux agents moussants qui sont utilisés dans le béton pour produire un volume d'air important. On cite parmi ces agents, la poudre d'aluminium ou le gâchage avec de l'eau savonneuse. La poudre d'aluminium réagit chimiquement avec le ciment et l'eau lors du malaxage pour donner, d'une part, un sel et, d'autre part, de l'hydrogène qui compose ainsi les petites bulles. Ces processus demandent une grande précision et des calculs de dosage précis; ils doivent être réalisés en atelier, et non pas sur le chantier.

Le béton léger « cellulaire » ou « aéré » s'avère être le béton le plus susceptible de remplir les objectifs du système de plancher projeté. Le béton cellulaire est un matériau modulable, malléable, léger, durable et relativement résistant.

Les bétons cellulaires ont généralement une masse volumique et une résistance à la compression extrêmement faibles. L'utilisation la plus courante des bétons cellulaires se limite au béton de remplissage dans des murs, plafonds, planchers ou comme matériaux de remblai.

Ce thème a été choisi dans le but de valoriser le matériau béton cellulaire en Algérie car il reste très peu connu dans le domaine de génie civil malgré le gros intérêt qu'il présente.

En Algérie il a été peu utilisé dans le domaine de la construction. Nous avons visité deux sites dans lesquels il a été utilisé pour la fabrication de murs et de dalles : le premier dans le marché couvert du

INTRODUCTION GENERALE

centre-ville d'Oued Zenati et le second dans la construction de la briqueterie de Bordj Sabath. Nous exposerons dans ce travail ces sites à travers des photos pris sur les sites et nous montrerons un échantillon recueilli in situ. Cet échantillon, nous l'avons analysé au laboratoire de recherche en déterminant sa masse volumique apparente et sa résistance à la compression.

Nous présenterons également dans la fin de notre exposé oral une vidéo courte montrant une méthode de fabrication des blocs de béton cellulaire.

PARTIE I:
Recherche
bibliographique

Chapitre I

**Présentation du béton
cellulaire**

I.1 Historique

La première invention, qui date de 1880, est attribuée à W. Michaelis. Ce dernier a mis en contact un mélange de chaux, de sable et d'eau avec de la vapeur d'eau saturée sous haute pression et est ainsi parvenu à donner naissance à des silicates de calcium hydratés hydrorésistants.

La seconde invention concerne l'expansion des mortiers. En 1889, cette invention a été octroyée à E. Hoffmann.

En 1924, le Suédois J.-A. Eriksson débute la production et la commercialisation du béton cellulaire, composé d'un mélange de sable fin, de chaux et d'eau, auquel il ajoute une petite quantité de poudre de métal. Trois ans plus tard, il combine ce processus à l'autoclave, tel que décrit dans le brevet de Michaelis.

Enfin, une troisième étape a permis de parvenir au béton cellulaire d'aujourd'hui: la fabrication en série d'éléments de petits et de grands formats, ainsi que celle d'éléments armés (des armatures métalliques protégées contre la corrosion sont déposées dans le moule avant la coulée). Pour ce faire, une méthode de production a été développée après **1945**. Les produits sont coupés aux dimensions souhaitées au moyen de fins fils d'acier très tendus, ce qui permet d'obtenir des produits finis de grande précision.

Les usines implantées en France fabriquent un produit répondant aux normes actuelles de la construction. Elles sont en outre certifiées **ISO 9001 [1]**.

I.2.Définition

Le béton cellulaire est un matériau de construction à base de matières minérales présentes en abondance dans la nature, ses constituants sont : du sable fin, du ciment, de la chaux et d'un agent expansif tels que :

- poudre d'aluminium
- agent moussant
- Entraîneur d'air **[3]**.

Un matériau moderne : la fabrication du béton cellulaire est industrialisée et permet la production d'un matériau de construction fini aux dimensions précises aisé à mettre en œuvre.

Un matériau léger ,solide et isolant : le béton cellulaire est rempli d'un multitude de bulles d'air emprisonnées dans des cellules qui lui confèrent légèreté, pouvoir d'isolation thermique et acoustique ,ainsi qu' une solidité permettant la réalisation de constructions d'une grande diversité .

Un matériau isotrope : les propriétés physiques et mécaniques du matériau sont conservées quelles que soient l'orientation ou les découpes faites sur le produit

Ainsi l'homogénéité de la structure est parfaite.

Ce matériau à la fois traditionnel et moderne, est adapté à la majorité des constructions, aussi bien pour l'habitat individuel ou collectif que pour les bâtiments industriels ou tertiaires [1].

I.3 composition

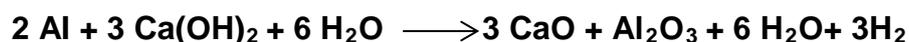
Les matières premières principales pour fabrication du béton cellulaire sont le sable, la chaux, le ciment et l'eau. Toutes ces matières premières sont présentes en abondance dans la nature [1].

Dans le béton cellulaire la chaux réagit en présence d'eau avec la silice du sable pour former des silicates de calcium hydratés (tobermorite). La chaux et le ciment servent de liants.

La poudre d'aluminium extrêmement fine (env. 50µm), utilisée en très faible quantité (+/- 0,05%), sert de levain, en cours de fabrication, pour faire lever la pâte et créer cellules.

L'agent expansif sert de levain, en cours de fabrication, pour faire lever la pâte et créer les cellules [2].

En milieu alcalin, la poudre d'aluminium par exemple réagit comme suit:



L'hydrogène libéré crée des cellules. En cours de durcissement de la pâte, celui-ci se libère et les cellules se remplissent d'air.

En moyenne, la proportion de métiers premiers utilisés lors de la fabrication est la suivante:

- Environ 65% de sable de quartz siliceux
- Environ 20% de ciment
- Environ 15% de chaux
- Environ 0,05% de pâte ou poudre d'aluminium
- Environ 1% de gypse
- Eau

Les pourcentages varient légèrement, mais de façon précise, en fonction de la masse volumique souhaitée [4].

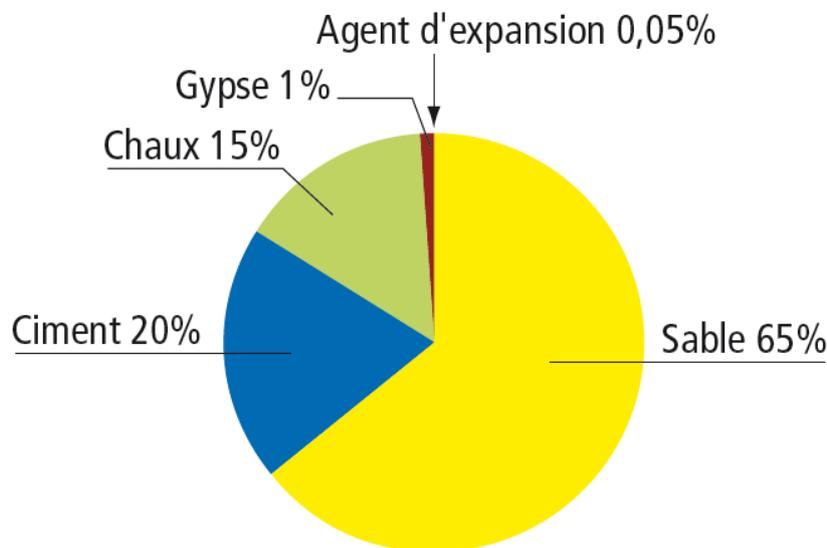


Figure I.1: Composition de béton cellulaire [6]

Au final le béton cellulaire est constitué d'environ 80% d'air et 20% de matière. En fonction de la composition utilisée, les performances physiques et mécaniques du produit peuvent être adaptées à l'usage demandé.

Pour les usages courants, la masse volumique se situe entre 350 et 550 kg/m³ [1].

I.4 Fabrication

Les produits en béton cellulaire sont fabriqués dans des unités de production hautement industrialisées. L'emploi de matières premières stables, l'automatisation de la fabrication ainsi que le contrôle permanent, tant interne qu'externe, sont les garants d'une qualité de produits constante et de haut niveau [2].

Les phases importantes de la fabrication sont :

- La préparation, le dosage et le malaxage des matières premières (sable, chaux, ciment, poudre ou pâte d'aluminium et eau) ;
- La préparation des moules;
- La coulée, la levée et le durcissement de la pâte;
- Le découpage et le profilage des produits;
- Le passage en autoclave sous une pression d'environ 10 bars ainsi qu'à 180°C pendant 10 à 12h;
- La palettisation et le houssage plastique **[4]**.

Le béton cellulaire appartient au groupe des bétons légers, autoclaves. Les matières premières entrant dans sa préparation sont le ciment, le sable pur (95% de silice), la chaux et l'eau.

Le sable est broyé finement soit à sec, soit en pré-séance d'eau. On y ajoute ensuite le ciment, la chaux, la poudre d'aluminium et l'eau. Le produit obtenu, après mélange intime des constituants, est coulé dans des moules d'une capacité de 4,5 à 8 m³ que l'on remplit à mi-hauteur environ.

Pour la production d'éléments armés, avant remplissage des moules, des treillis d'armature préalablement traités contre la corrosion y sont déposés avec précision et maintenus par entretoises.

Pour la production de blocs, les moules sont remplis uniquement du mélange. L'aluminium réagit avec les autres constituants, réaction qui produit un dégagement d'hydrogène permettant la formation des cellules sphériques et fermées qui caractérisent le béton cellulaire.

Après quelques heures, la masse cellulaire a acquis une dureté telle (on parle à juste titre d'un "gâteau") qu'elle peut être démoulée. Elle est alors découpée au moyen de fils en acier, soit dans le sens de la longueur s'il s'agit d'éléments armés, soit longitudinalement et transversalement s'il s'agit de blocs.

Malgré la coupe, le "gâteau" conserve la forme qu'il a reçue dans le moule **[2]**.

Les produits en béton cellulaire sont classés en deux catégories principales :

- Le bloc, destiné à la maçonnerie (construction d'habitation, petits collectifs)
- Les éléments armés tels que dalles de plancher, toitures, bardages, destinés essentiellement à la construction de bâtiments industriels **[1]**.

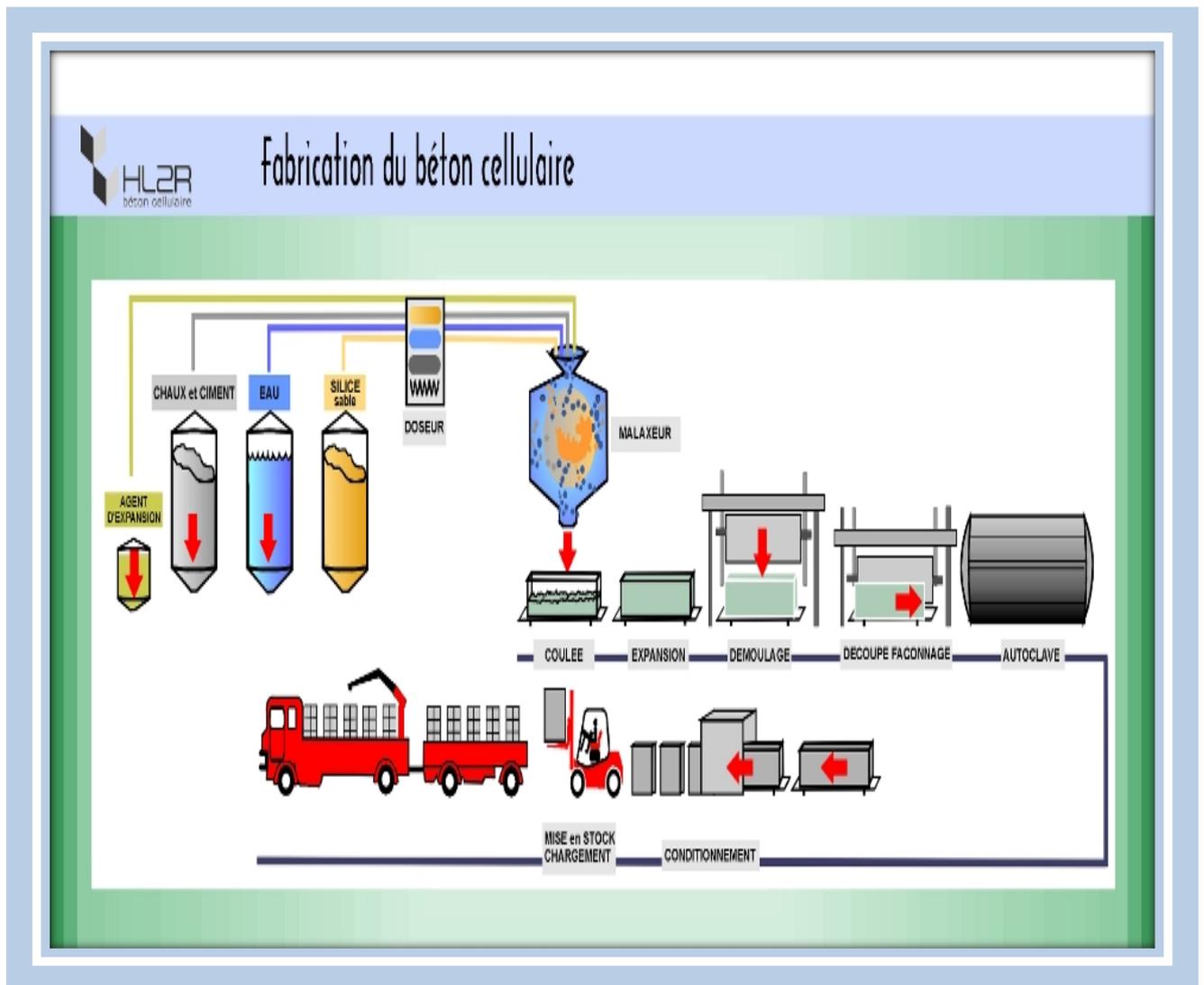


Figure I.2: Schéma de fabrication des blocs[8]

I.5 principales utilisations :

Pour **les blocs non armés** : murs porteurs, cloisons non porteuses, murs de refend, cloisons coupe-feu et tous les petits travaux d'aménagement ou de réhabilitation voir Figure I.3.

Pour **les éléments armés** : le bardage, le compartimentage coupe-feu, les toitures, les planchers, les murs en maison individuelle voir Figure I.4 [1].

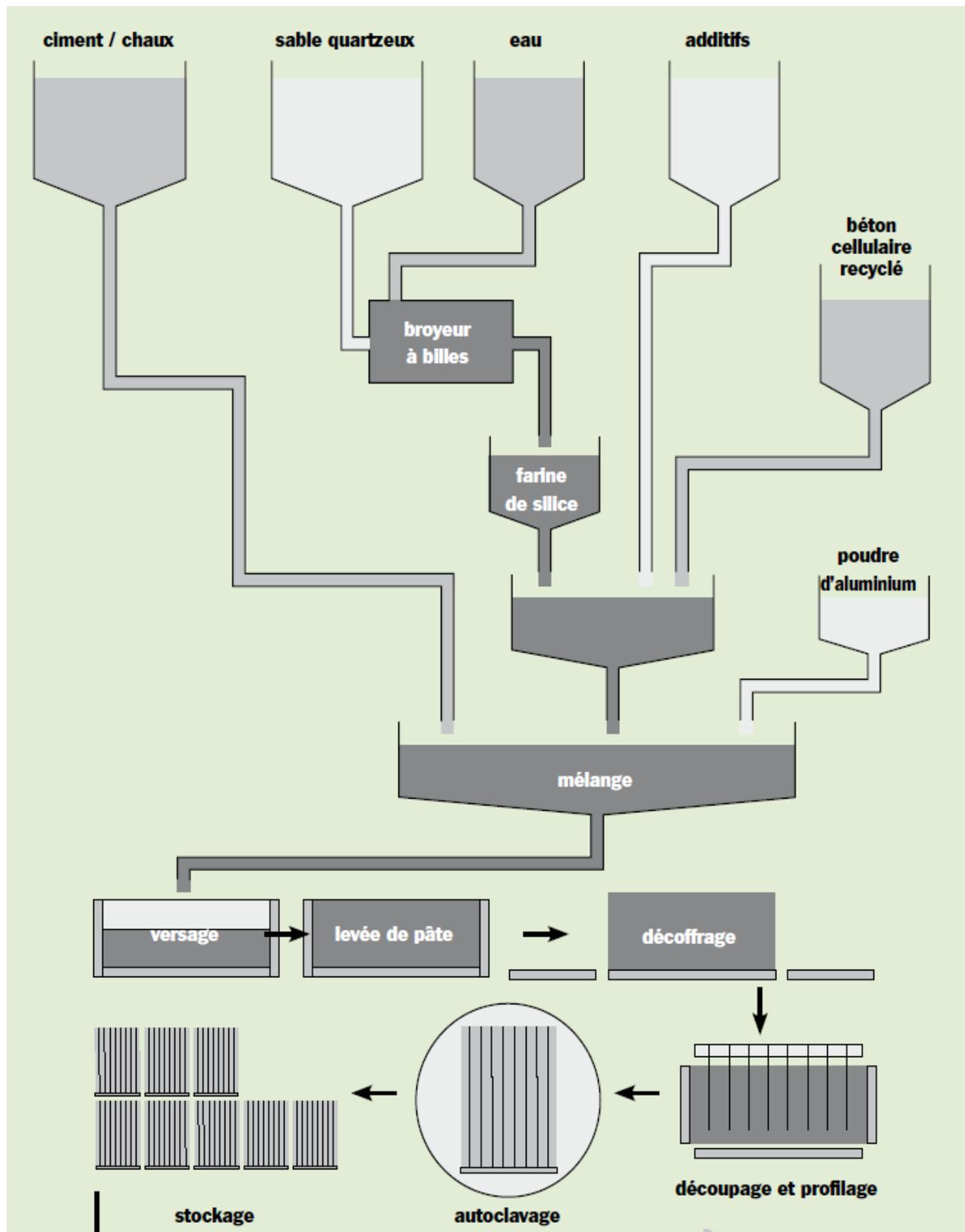


Figure I.3: Schéma de fabrication des blocs non armés [2]

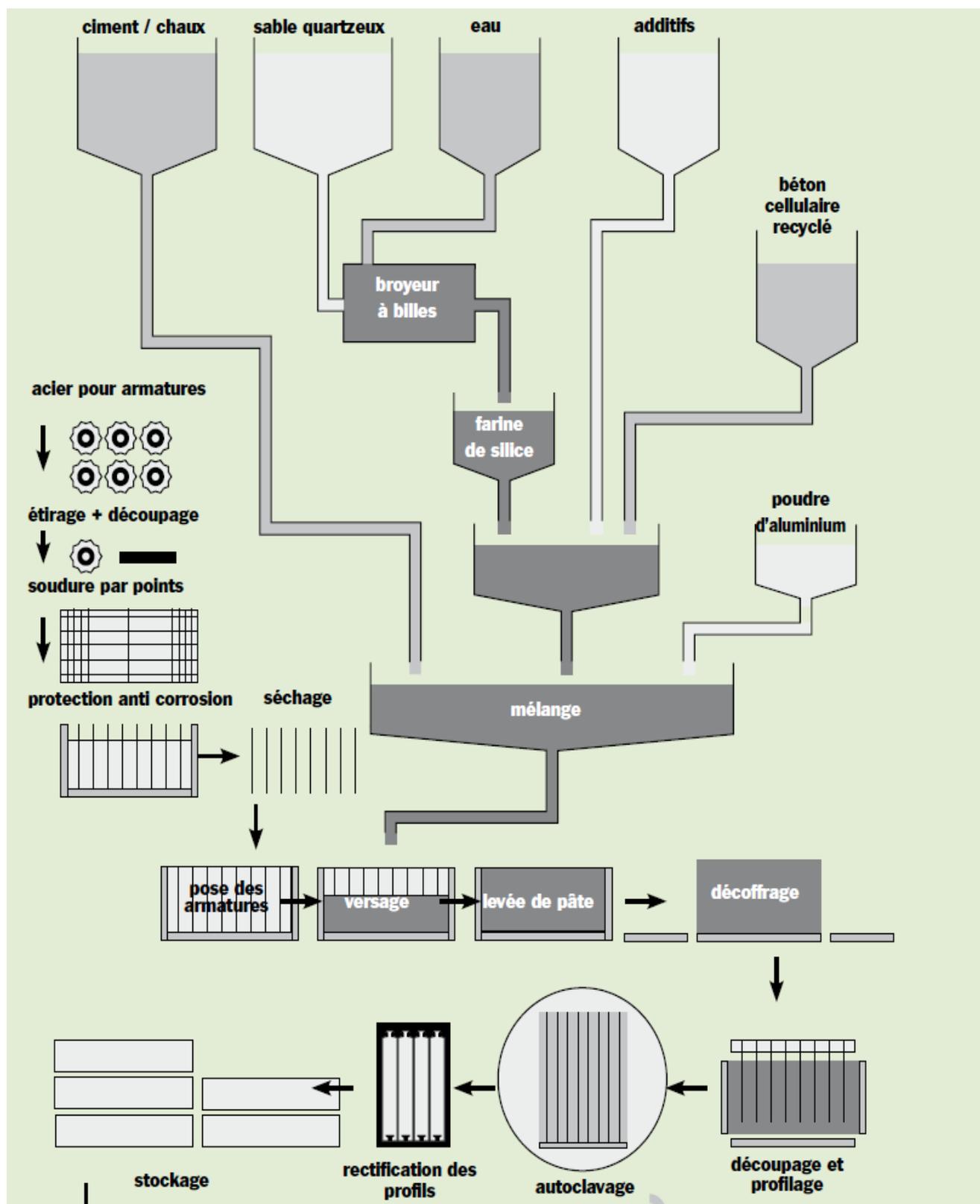


Figure I.4: Schéma de fabrication des éléments armés [2]

Chapitre II

**Caractéristiques physiques et
mécaniques**

II.1 Caractéristiques physiques et mécaniques

II.1.1 La structure

La structure du béton cellulaire est caractérisée par sa matrice microporeuse solide et macroporeuse.

Les micropores sont formés en raison de l'expansion de la masse causée par le dégagement du gaz et les micropores apparaissent dans les parois entre les micropores. Les micropores sont des pores avec un diamètre de plus de $60\mu\text{m}$ [3].



Figure II.1: Structure du béton cellulaire (échelle 1/1).

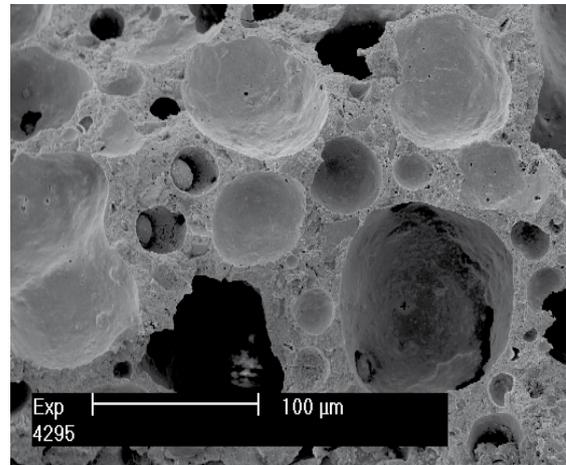


Figure II.2: Structure du béton cellulaire vue au microscope électronique [2].

Le système poreux du béton cellulaire est aussi classifié en fonction de distribution de taille de pores : des pores artificiels, des pores intra-particules et des pores intra-liant, et la distribution des pores dans la matrice a une grande influence sur les propriétés du béton cellulaire.

Les propriétés du béton cellulaire comme résistance, perméabilité, diffusivité, le retrait, et le fluage sont intimement liés à sa porosité et la distribution de taille des pores. Ainsi, la caractérisation de la structure des pores est extrêmement importante, et plus dans le cas du béton cellulaire où la porosité peut être aussi haute que 80 %. La porosité et la distribution de taille de pore de béton cellulaire varient considérablement avec la composition et le mode de cure [3].

On distingue deux sortes de cellules : les microcellules (0,5 - 2 mm) formées lors du dégagement d'hydrogène et les microcellules, de dimension capillaire, formées

Lors de l'expansion de la masse et réparties dans la partie consistante de cette masse [2].

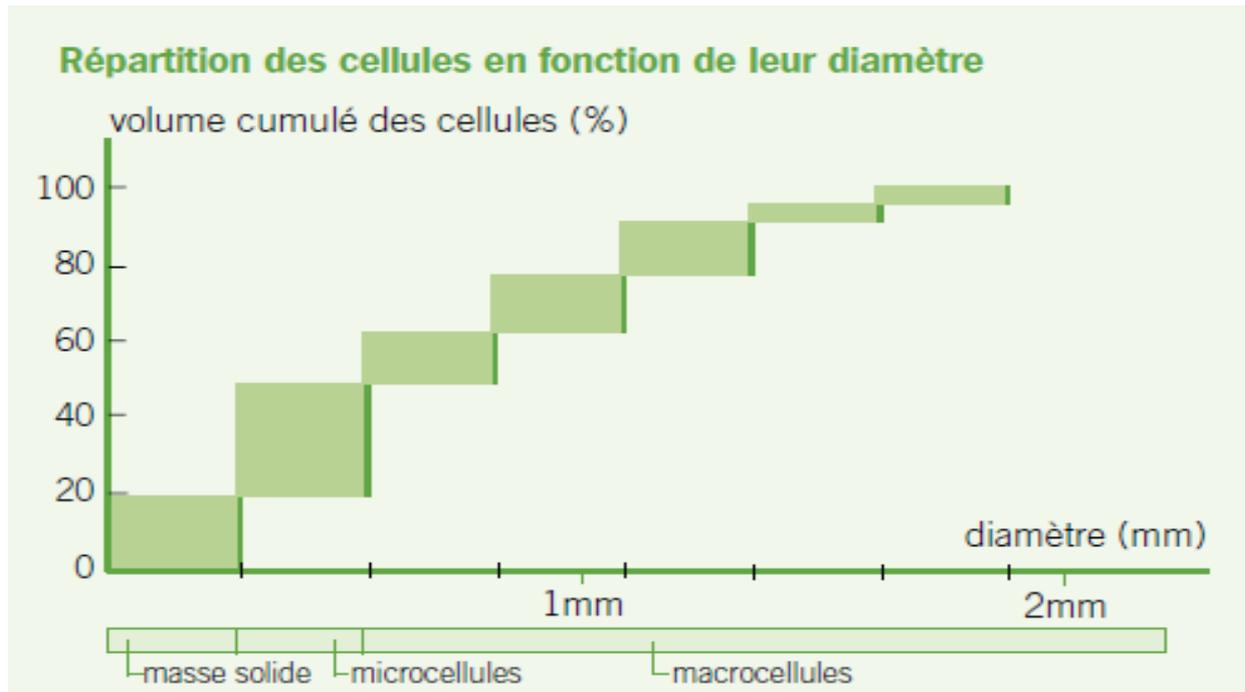


Figure II.3: Répartition des cellules en fonction de leur diamètre

Exemple :

Pour un béton cellulaire de 450 kg/m^3 , la répartition en volume des cellules est de :

50 % de macro cellules.

30 % de microcellules capillaires réparties dans la masse solide.

1 m^3 de matières premières permet donc de produire 5 m^3 de matériau de maçonnerie en béton cellulaire.

Cette très grande économie de matières premières est l'un des aspects écologiques du béton cellulaire.

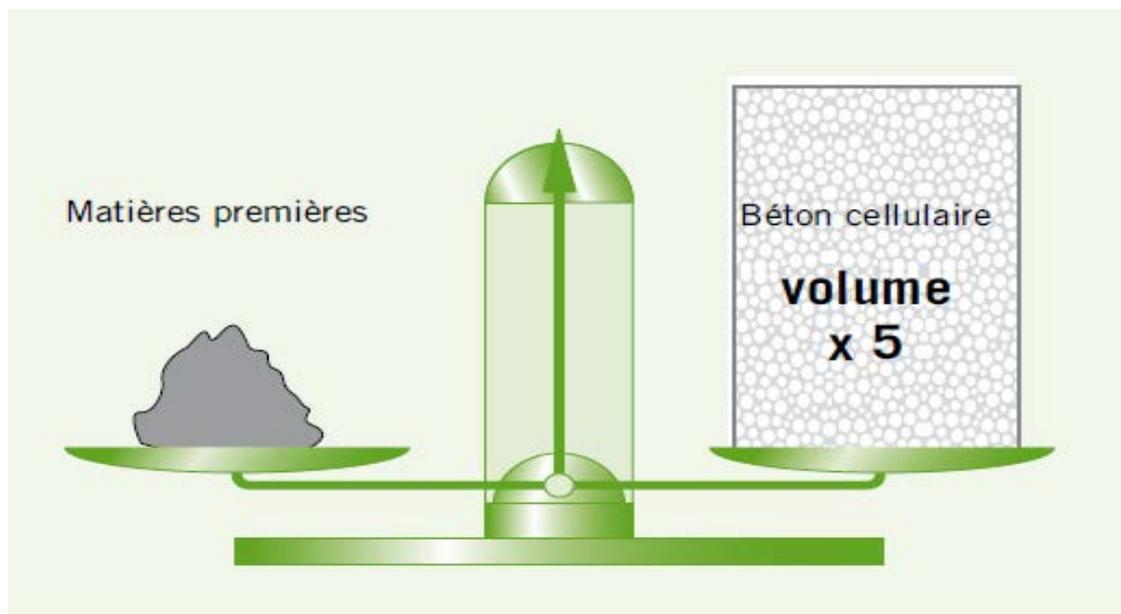


Figure II.4: Correspondance entre le volume de la matière première et le volume du béton cellulaire.

II.1.2 La densité

Le béton cellulaire dépend de sa densité ($300-1800 \text{ kg/m}^3$), il est essentiel que ses propriétés soient qualifiées avec la densité.

En spécifiant la densité, les conditions d'humidité, (c'est-à-dire, séchage à l'étuve ou à l'air libre) doivent être indiqués. Le béton cellulaire avec une vaste gamme de densité pour des applications spécifique peut être fabriqué avec la variation de la composition qui à son tour influe sur la structure, la taille et la distribution des pores. Une structure cellulaire stable et de préférence sphérique est nécessaire pour des propriétés structurelles et fonctionnelles optimums. Aussi les pores doivent être distribués uniformément dans la masse pour obtenir des produits de densité uniforme. Le développement des macros pores dans la matrice est influencé par la densité d'une façon significative. En terme conventionnels, la densité du béton cellulaire est liée à sa compacité et porosité [3].

Les normes belges **NBN B 21-002** ainsi que les normes européennes **EN 771-4** classifient qualitativement le béton cellulaire en catégories en fonction de leur masse volumique sèche apparente (classe ρ) et de leur résistance à la compression (classe f) et la résistance caractéristique à la compression (RC).

Les normes belges

PTV 21-002 (blocs)

NBN B 21-004 (éléments armés)

Et

Les normes européennes

NBN EN 771-4 (blocs)

NBN EN 12602 (éléments armés),

Tableau II.1: Classification du béton cellulaire selon la masse volumique et la résistance à la compression

Classe ρ	Critères	Classe	RC (N/mm^2)
P400	$350 \text{ kg/m}^3 \leq \rho < 400 \text{ kg/m}^3$	F2	$\text{RC} \geq 2$
P450	$400 \text{ kg/m}^3 \leq \rho < 450 \text{ kg/m}^3$	F3	$\text{RC} \geq 3$
P550	$500 \text{ kg/m}^3 \leq \rho < 550 \text{ kg/m}^3$	F4	$\text{RC} \geq 4$
P650	$600 \text{ kg/m}^3 \leq \rho < 650 \text{ kg/m}^3$	F5	$\text{RC} \geq 5$

Les différentes catégories sont désignées par la lettre C pour les blocs et CC pour les éléments armés, suivi d'indication de la classe de résistance à la compression [2].

Tableau II.2: Catégories blocs

Designation	Classe f (N/mm^2)	Classe ρ
C2/400	2	ρ 400
C3/450	3	ρ 450
C4/550	4	ρ 550
C5/650	5	ρ 650

Tableau II.3: Catégories éléments armés

Designation	Classe f (N/mm^2)	Classe ρ (kg/m^3)
CC3/500	3	$400 \leq \rho < 500$
CC4/600	4	$500 \leq \rho < 600$

II.1.3 Résistance à la compression

La résistance à la compression du béton cellulaire augmente avec une augmentation de la densité. La valeur moyenne des résistances mécaniques utilisant des éprouvettes cubiques de densité sèche de 400 kg/m^3 a été rapportée égale environ 2 MPa ; pour une densité sèche de 700 kg/m^3 , elle a été rapportée à environ 6 MPa. Un autre rapport a montré que pour une gamme de densité de 500 à 700 la résistance à la compression était de 2 à 4 MPa. L'autoclavage améliore les résistances mécaniques d'une façon significative sous des températures et pressions élevées ce qui donne une forme stable de la tobermorite.

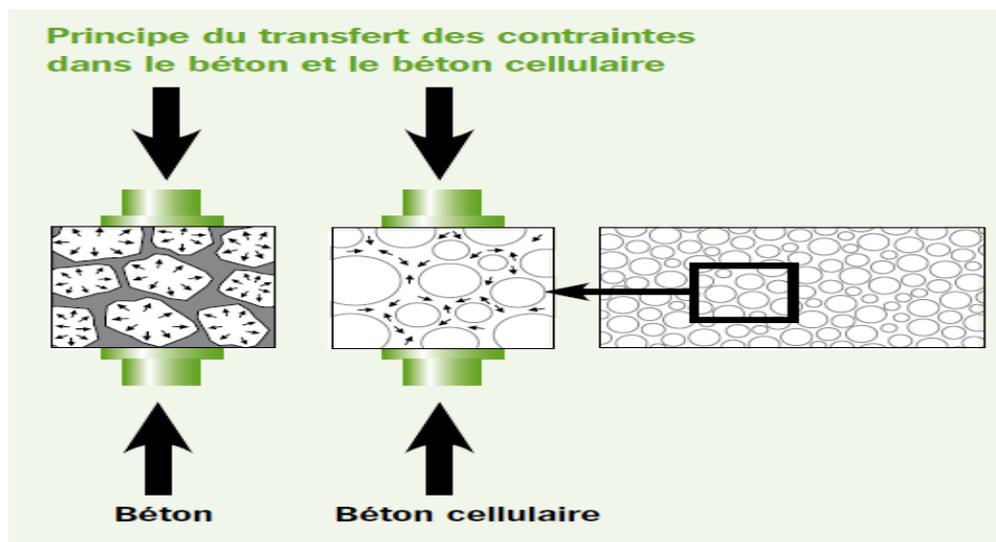


Figure II.5: Transfert des contraintes dans le béton ordinaire et dans le béton cellulaire

La résistance mécanique du **BCNA** augmente 30-80% entre 28 jours et 6 mois et marginalement au-delà de cette période une partie de cette augmentation est attribuée au processus de carbonatation. Avec le contenu de l'humidité de 5 et 10%, la résistance compressive est réduite environ 20 et 25% respectivement. La résistance de **BCNA** et **BCA** utilisant les cendres volantes comme un remplacement partiel/complet des fillers a prouvé que l'utilisation des cendres volantes a abouti à un rapport résistance/densité plus élevé. La résistance à la compression augmente en fonction de la masse volumique du béton cellulaire comme en attestent les tableaux extraits des normes belges **NBN B 21-002** et **NBN B 21 004**. Les cellules sont plus petites dans un béton cellulaire de forte densité, ce qui accroît la largeur de leur paroi, et par conséquent leur résistance. Cette caractéristique essentielle est clairement précisée dans le complément de la norme **EN 771-4 [3]**.

Tableau II.4: Résistance à la compression du béton cellulaire selon la densité.

ρ kg/m ³	350	400	450	500	550	600	650	700	750
RC MPa	3	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	6.5

II.1.4 Résistance à la traction par flexion

La résistance à la traction du béton cellulaire est normalement égale 1/6 à 1/4 de la résistance à la compression. Un gradient d'humidité dans l'échantillon de test a un grand effet sur le résultat de test de la résistance à la traction. La mesure de cette propriété est encore plus sensible pour les conditions de test que la mesure de la résistance à la compression.

Pour le béton cellulaire, la résistance caractéristique à la traction pure représente 12% de la résistance en compression. ($R_t = 0,12 RC$). La résistance caractéristique à la traction par flexion est de 22% de la résistance en compression : $R_t = 0,22 RC$ (**prEN 12602**) les valeurs de la résistance à la traction par flexion sont montrées dans le **tableau 5**.

Tableau II.5: Valeurs caractéristiques de la résistance à la traction par flexion

Classe	Rt (MPa)
F2	0.44
F3	0.66
F4	0.88
F5	1.10
F6	1.32

II.1.5 Résistance au cisaillement

Les valeurs à prendre en compte pour la résistance au cisaillement du béton cellulaire, sont les suivantes :

Tableau II.6: Résistance au cisaillement

Categories	τ
CC3/500	0,07 N/mm ²
CC4/600	0,10 N/mm ²

II.1.6 Module d'élasticité (Valeur E)

Il existe un certain nombre de formules qui permettent de calculer le module d'élasticité E du matériau. La valeur quasi-statique de ce module est influencée par le pourcentage d'humidité contenu dans le matériau qui a également une influence sur la résistance à la compression. La formule (1) permet de calculer, avec une bonne approximation, la valeur du module d'élasticité d'un béton cellulaire autoclave ayant une masse volumique comprise entre 400 et 700 kg/m³, avec un taux d'humidité compris entre 3 et 10 %.

$$E = k \rho \text{sec} \sqrt{\sigma c}$$

E est le module d'élasticité tangent, en MPa, $\rho \text{ sec}$ est la masse volumique apparente du matériau, en kg/m³, σc est la résistance à la compression du matériau, en MPa, et k est un coefficient variable entre 1 et 1.5 et dépendant de la masse volumique du matériau et de son humidité [5].

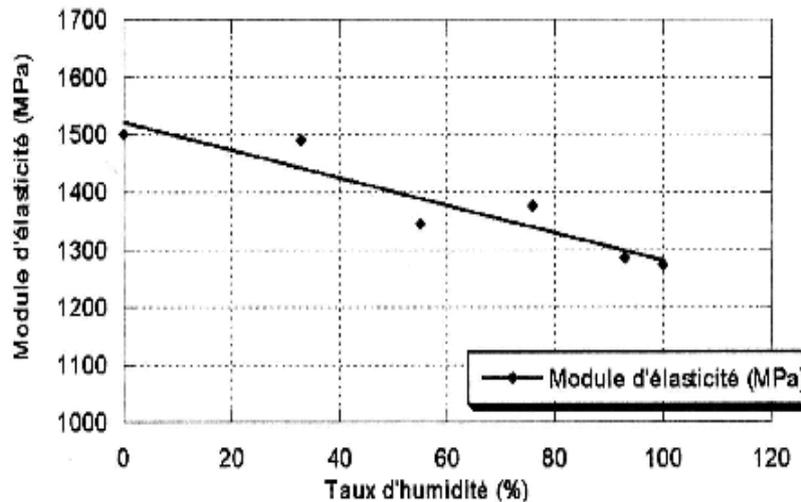


Figure II.6: Module d'élasticité en fonction du taux d'humidité dans Le matériau.

II.1.7 Comportement dans le temps

II.1.7.1 Séchage du béton cellulaire

À la sortie de l'autoclave, la teneur en humidité du béton cellulaire est d'environ 25% en volume. Comme l'indique le graphique, l'essentiel de l'humidité présente a disparu après 3 mois, alors que la construction en est encore au stade du gros œuvre [7].

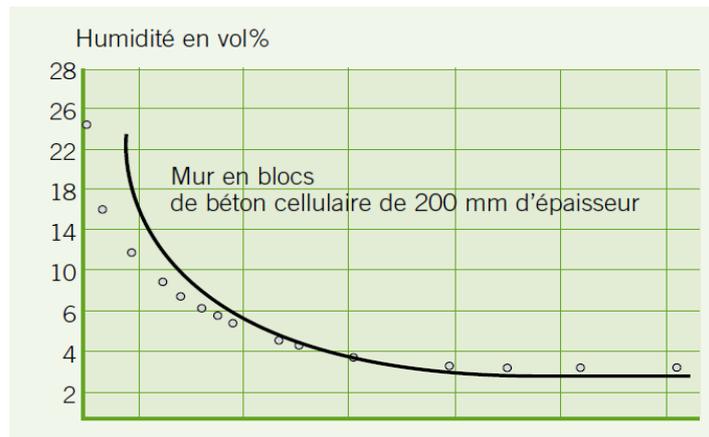


Figure II.7: Courbe de séchage des blocs en béton cellulaire à température ambiante intérieure

Dans la pratique, compte tenu de l'eau apportée par la mise en œuvre et les finitions, ainsi que par les intempéries en cours de chantier, le taux d'équilibre de 2.5% en volume des maçonneries en béton cellulaire de masse volumique 450 kg/m^3 est atteint après 12 à 24 mois d'occupation du bâtiment suivant les conditions particulières d'utilisation de la construction.

Ce taux d'équilibre peut varier légèrement en fonction de la masse volumique du béton cellulaire, comme l'indique la courbe ci-dessous :

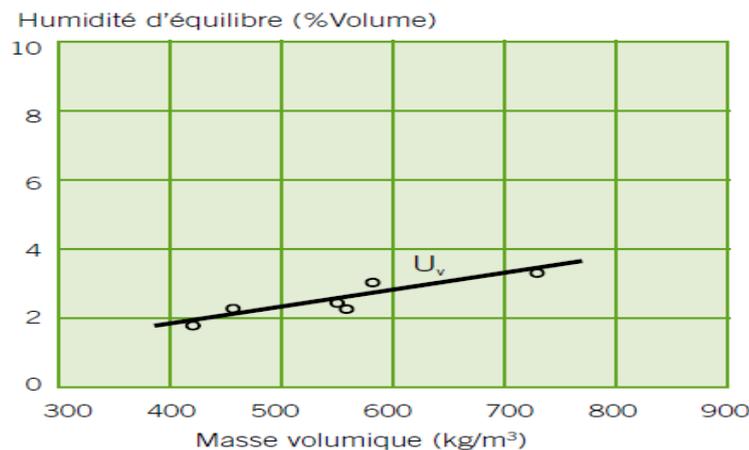


Figure II.8: Teneur en humidité d'équilibre (en volume) En fonction de la masse volumique

L'eau résiduelle dans le béton cellulaire se retrouve sous diverses formes :

- d'eau liée chimiquement (cristaux) ;
- d'eau gélifiée dans les micropores et comme eau libre ;
- dans l'air des capillaires et les macropores .

Pour le béton cellulaire, le retrait dû à ce séchage ne dépasse pas 0,2 mm/m ce qui est nettement inférieur à celui des blocs de béton lourd [2].

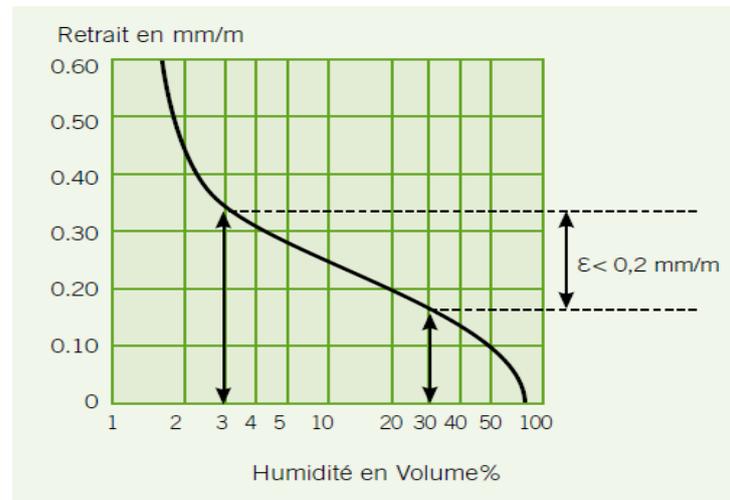


Figure II.9: Retrait dû au séchage pour le béton cellulaire

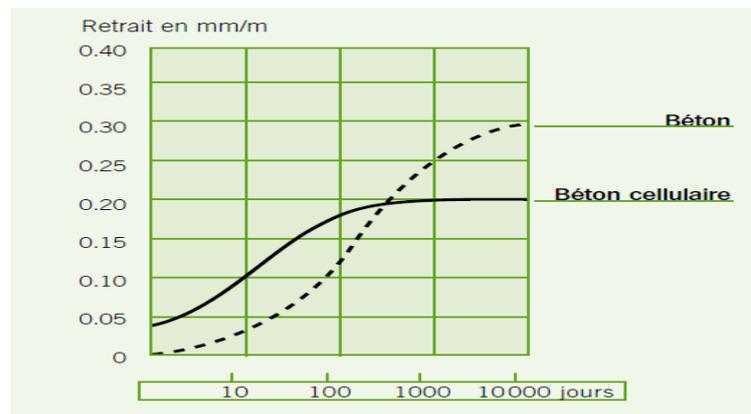


Figure II.10: Retrait dans le temps

II.1.7.2 Retrait dû au durcissement

Le retrait arrive en raison de la perte d'eau adsorbée du béton, et il est significatif dans le béton cellulaire à cause de sa haute porosité total (40-80%) et la surface spécifique de pores (au tour de 30 m²/g).

Le retrait du béton cellulaire avec seulement le ciment comme liant est restitué plus important que cela produit avec la chaux ou le mélange (chaux ciment), le retrait du mélange est le moindre. Les spécimens durcis à l'air libre ont un retrait très élevé. D'autre part les spécimens durcis en milieu humide ont des valeurs de retrait s'étendant de 0.06 à plus de 3% quand séché aux températures ordinaires, les valeurs les plus basses du retrait étant associées à la densité la plus haute et les pourcentages élevées de sable.

On attribue le plus grand retrait au **BCNA** à cause du plus grand volume de micropores. Cependant, quand le même produit est autoclave, des changements fondamentaux ont lieu dans la constitution minérale, qui peut réduire le retrait à 1/4 ou même 1/5 de celui de produit durci à l'air. Ceci intervient en cours d'autoclavage lors de la formation des cristaux de silicate de calcium hydraté (Tobermorite) qui lui donne sa résistance caractéristique. A sa sortie de l'autoclave, le processus de durcissement est terminé et tout retrait ultérieur n'est plus à craindre. Il n'y a donc pas lieu d'en tenir compte lors de la mise en œuvre [5].

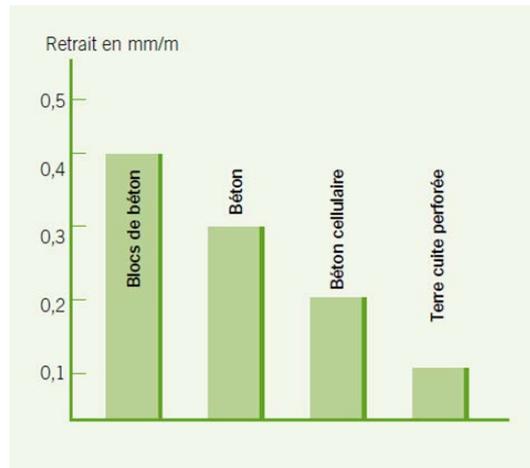


Figure II.11: Comparaison du retrait dû au séchage pour différents matériaux

II.1.7.3 Dilatation thermique :

Le coefficient de dilatation linéaire d'un matériau est la variation de longueur d'un élément de 1 m pour 1 K de variation de température. Pour le béton cellulaire, ce coefficient de dilatation est de $8.10^{-6} \text{ mK}^{-1}$.

Tableau II.7: Le coefficient de dilatation [7]

Valeurs indicatives de différents coefficients de dilatation linéaire en mK^{-1}	
Béton	10.10^{-6}
Blocs silico-calcaire	9.10^{-6}
Themopierre	8.10^{-6}
Brique	5.10^{-6}
Granit	5.10^{-6}

II.1.7.4 Flèche des éléments armés en béton cellulaire

Outre la flèche instantanée enregistrée lors du chargement de l'élément, une déformation par fluage se poursuit faiblement et lentement dans le temps.

Cet accroissement de flèche des dalles, sous l'effet d'une charge fixe permanente, diminue à mesure que les éléments avancent en Age. La relation Age/flèche fait l'objet de la courbe ci-dessous :

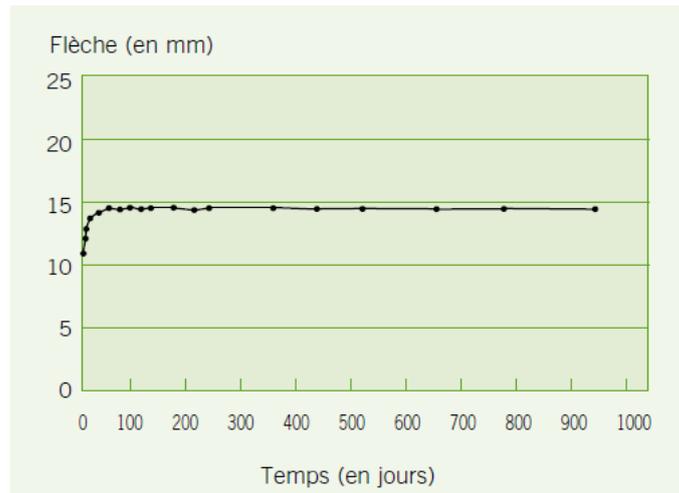


Figure II.12: courbe des éléments armés en béton cellulaire [7]

II.1.7.5 Diffusion de vapeur

La diffusion de vapeur au travers d'une paroi est provoquée par la différence de pression de vapeur entre les 2 cotés de cette paroi. Tout matériau de construction oppose une certaine résistance à cette diffusion Dénommée "coefficient de résistance a la diffusion de vapeur" de valeur μ .

La valeur μ de l'air est de 1. Celle d'un matériau indique combien de fois la résistance à la diffusion de Vapeur de ce matériau est supérieure a celle d'une couche d'air de la même épaisseur. Pour le beton cellulaire, la valeur varie entre 5 et 7 en fonction de sa masse volumique. Celle d'un Matériau étanche est infinie (∞). Plus petite est la valeur μ , meilleure est la diffusion de vapeur, qui s'évacue alors plus rapidement. Le beton cellulaire (mono mur Thermo pierre) étant un matériau a valeur très basse, on dit de lui qu'il "respire". Il constitue un véritable régulateur hygrométrique en adoucissant l'air sec par diffusion de vapeur ou en Absorbant l'humidité excessive. Il contribue ainsi à créer climat sain et agréable dans toute la maison [7].

Tableau II.8: facteur de résistance à la diffusion de vapeur

Facteur de résistance à la diffusion de vapeur d'eau (μ)		
Matériau	sec	humide
Béton cellulaire	10	6
Terre cuite	16	10
Bois non résineux	200	50
Béton armé	130	80
Béton plein	150	120
Polystyrène expansé	60	60
Asphalte	50 000	50 000
PVC	50 000	50 000
Verre	∞	∞
Couv. métallique	∞	∞

II.1.7.6 Résistance aux agents chimiques

La résistance aux agents chimiques du béton cellulaire est similaire à celle du béton lourd. L'un et l'autre résistent toutefois moins bien aux acides puissants que l'on ne trouve habituellement pas en habitation ou en construction industrielle.

Grace à son Alcalinité élevée, le béton cellulaire résiste aux pluies acides. Seuls quelques mm peuvent être légèrement altérés [2].

II.1.7.7 Absorption d'eau

En contact direct avec l'eau (y compris la pluie), les matériaux absorbent l'eau par capillarité suivant la formule :

$$M(t) = A \cdot \sqrt{tw}$$

$M(t)$ = eau absorbée par unité de surface (kg/m^2) pour une période t

A = coefficient d'absorption d'eau ($\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ 0,5)

tw = temps de contact avec l'eau (secondes) [7].

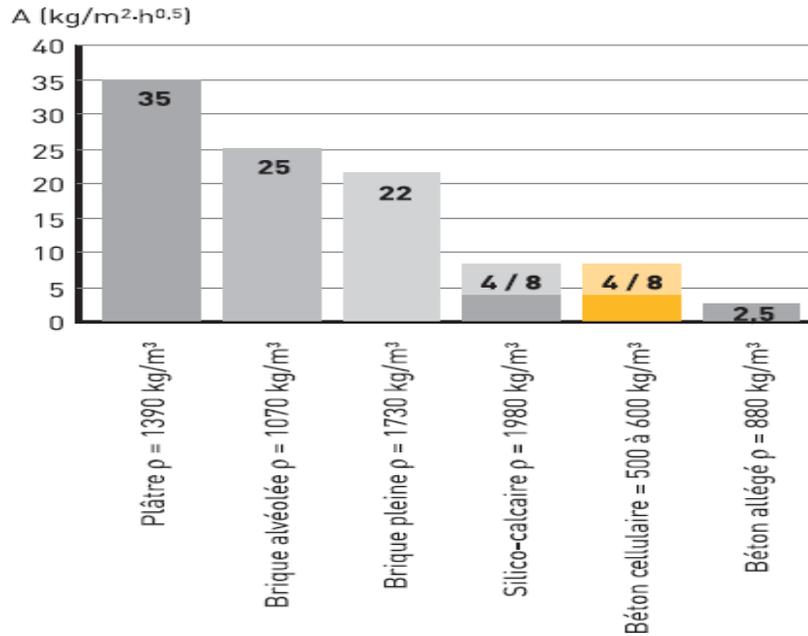


Figure II.13: coefficient d'absorption d'eau de différents matériaux

La valeur S_w du béton cellulaire varie entre $70 \cdot 10^{-3}$ et $130 \cdot 10^{-3} \text{ kg/ (m}^2 \cdot \text{s}^{0.5})$. Elle est nettement inférieure à celle de la terre cuite ou du plâtre. Dans le cas du béton cellulaire, grâce aux cellules fermées, le transfert de l'eau ne peut se faire que par la matière solide qui constitue les parois de celles-ci et qui ne représente que 20% du volume, ce qui ralentit très sensiblement la progression de l'eau [2].

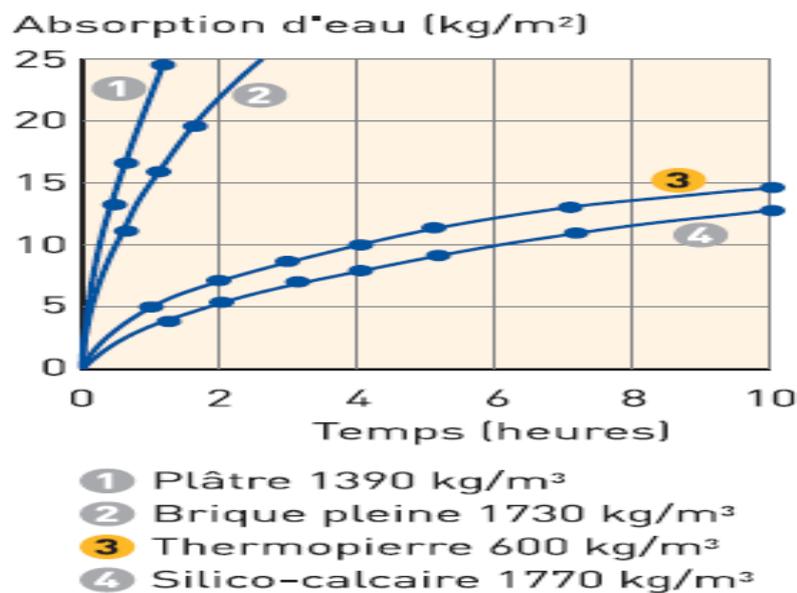


Figure II.14: courbe des Absorption capillaire pour différents matériaux [7]

II.1.7.8 Résistance au gel et dégel

En général, les cycles gel et dégel ne causent pas de dégât au béton cellulaire (mono mur Thermo pierre), grâce à sa structure cellulaire et à la faible capillarité qui en résulte [7].

II.1.8 Environnement et qualité de vie

Le béton cellulaire respecte l'environnement. Il ne contient ni matière toxique, ni élément radioactif. Il est l'ami de la nature durant son cycle de vie depuis sa production jusqu'à son utilisation dans les travaux du bâtiment [8].

II.1.8.1 Sauvegarde des ressources naturelles

Les matières premières nécessaires à la fabrication de béton cellulaire sont : le sable, la chaux, le ciment et, en très faible quantité (0,05%), la poudre d'aluminium. Toutes ces matières existent en abondance dans la nature et le béton cellulaire n'en abuse pas, puisque 500 kg à peine suffisent à produire 1m³ de produit fini, soit 1/3 environ de ce qui est nécessaire pour fabriquer d'autres matériaux de gros œuvre.

II.1.8.2 Besoins en énergie

Grâce au procédé d'autoclavage utilisé en cours de fabrication, 200 kWh suffisent à produire 1m³ de béton cellulaire.

Près de 90% de la vapeur d'eau produite pour l'autoclavage est réinjectée dans le circuit.

Grâce à la légèreté du matériau, le transport est réduit tant pour ce qui concerne les matières premières que pour les livraisons sur le chantier [2].

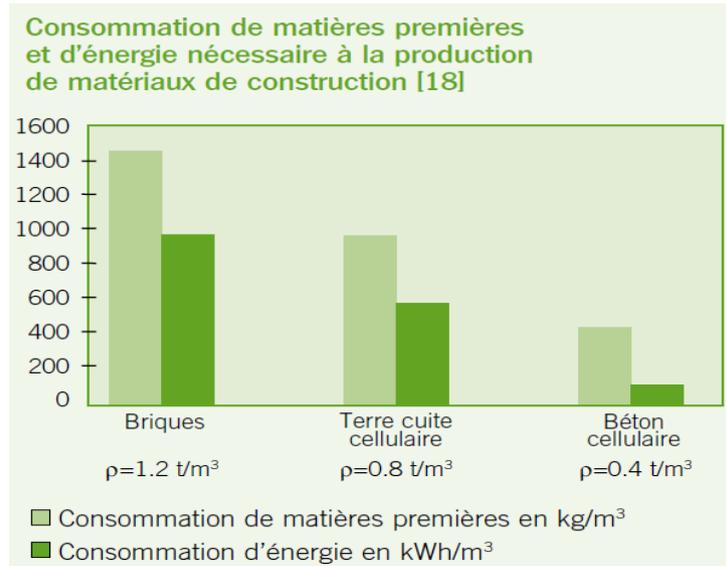


Figure II.15: Consommation de matières premières et d'énergie nécessaire à la production de matériaux de construction

II.1.8.3 Recyclage

En cours de fabrication, les chutes liées au découpage des produits aux dimensions voulues, sont intégralement réintégrées au circuit. Après l'autoclavage, quelques surplus, limités à quelques pourcentages, sont broyés et récupérés pour d'autres usages. La poudre d'aluminium, utilisée en très faible quantité (0,05%), est-elle même un produit de recyclage.



Figure II.16: Recyclage du béton cellulaire

II.1.8.4 Respect de l'environnement

La fabrication du béton cellulaire ne dégage aucun gaz toxique et n'entraîne aucune pollution de l'air.

II.1.8.5 Qualité de vie

Par ses qualités d'isolation et d'inertie thermiques, le béton cellulaire assure non seulement des économies d'énergie et le respect de l'environnement, mais contribue à un confort de l'habitat tout à fait particulier, tant en été qu'en hiver.

Les murs construits uniformément en béton cellulaire ne présentent pas de ponts thermiques et évitent ainsi les condensations et les moisissures qui en résultent. Grâce à leur valeur μ de résistance à la diffusion de vapeur d'eau très favorable, Les murs en béton cellulaire respirent bien et contribuent à la qualité de l'air ambiant des locaux [2].

II.2 Caractéristiques thermiques

II.2.1 Coefficient de conductivité thermique λ

Le coefficient de conductivité thermique λ exprime la quantité de chaleur transmise pendant 1 heure à travers un matériau d'une superficie de 1 m^2 et d'une épaisseur de 1 m , lorsque la différence de température entre les deux faces opposées est de 1 degré Kelvin (symbole K). La valeur λ dépend de la nature du matériau et de sa teneur en humidité. Plus la valeur λ d'un matériau est petite, meilleure est sa capacité d'isolation thermique [7].

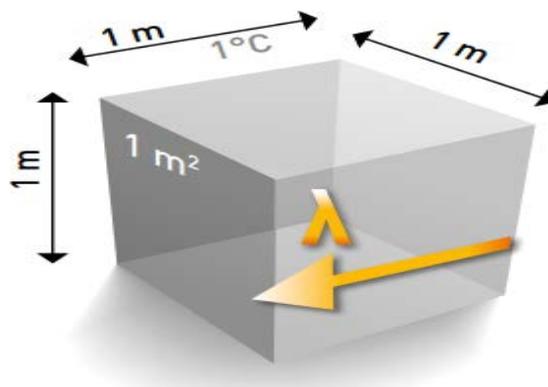


Figure II.17: Coefficient de conductivité thermique

Le coefficient de conductivité thermique λ dépend essentiellement : De la masse volumique du matériau (λ diminue lorsque la masse volumique diminue), De la teneur en eau du matériau (λ augmente avec l'augmentation de la teneur en eau) Pour le béton cellulaire, la teneur en eau à l'état d'équilibre prise en compte est de 4%. La valeur de conductivité thermique correspondant à cet état d'équilibre est appelée conductivité thermique utile.

II.2.2 Coefficient de conductibilité thermique λ pour murs en blocs de béton cellulaire

II.2.2.1 Valeurs de base des blocs de béton cellulaire

Les valeurs de base à prendre en considération sont les valeurs de la norme EN 1745 (2002) [2].

- **EN 1745 (2002) :**
 - Maçonnerie et produits de maçonnerie
 - Détermination des valeurs thermiques de calcul.

Tableau II.9: Valeurs de base

Masse volumique (kg/m ³)	$\lambda_{10,dry}$ (W/mK)
400	0,110
500	0,130
600	0,160

$\lambda_{10,dry}$: base sur le fractale 90% au niveau de confiance 90%.

II.2.2.2 Valeurs utiles des murs en béton cellulaire collés (Design values)

Les valeurs utiles λ_{Ui} et λ_{Ue} pour le calcul de la conductibilité thermique sont déterminées d'après les formules et les coefficients indiquent dans les normes EN 1745, EN 12524 et EN ISO 10456.

- **EN 12524 (2000):**
 - Matériaux et produits pour le bâtiment
 - Propriétés hygrothermiques
 - Valeurs utiles tabulées.
- **EN ISO 10456 (2000):**
 - Isolation thermique
 - Matériaux et produits du bâtiment
 - Détermination des valeurs thermiques déclarées et utiles.

Tableau II.10: Valeurs utiles des murs en béton cellulaire collés

Masse volumique (valeur de calcul) (kg/m ³)	λ valeurs utiles	
	λ_{Ui} (W/mK)	
300	0,09	
400	0,120	
500	0,140	
600	0,180	

λ_{Ui} : est utilisé pour les matériaux qui sont protégés contre la pénétration de la pluie, comme par ex. les murs intérieurs, la paroi intérieure d'un mur creux extérieur, les murs extérieurs protégés par un crépi, un bardage ou un autre revêtement étanche.

II.2.2.3 Valeurs utiles des dalles de bardage en béton cellulaire (Design values)

Tableau II.11: Valeurs utiles des dalles de bardage en béton cellulaire

Masse volumique (kg/m ³)	λ valeurs utiles	
	λ_{Ui} (W/mK)	λ_{Ue} (W/mK)
300	0,09	
400	0,120	
500	0,140	
600	0,180	0,29

λ_{Ue} : est utilisé pour les matériaux qui peuvent être mouillés par la pluie ou autres sources d'humidité.

II.2.2.4 Valeurs utiles des dalles de toiture en béton cellulaire (Design values) [2]

Tableau II.12: Valeurs utiles des dalles de bardage en béton cellulaire

Masse volumique (kg/m ³)	λ_{ui} (W/mK)
400	0,120
500	0,140
600	0,180

II.2.3 Valeurs de résistance thermique R

La résistance thermique mesure la capacité d'isolation d'une couche de matériau : plus la couche sera isolante, plus la résistance thermique sera élevée. L'outil donne, en plus du calcul de la résistance thermique de la paroi, la valeur de sa déperdition thermique appelée aussi coefficient de transmission thermique de la paroi. Plus celui-ci est faible, plus la paroi est isolante [9].

La résistance thermique est mesurée en mètres carrés Kelvins par Watt (m².K.W⁻¹ ou m².K/W). Elle est égale au rapport entre l'épaisseur e en mètres (m) et la conductivité thermique du matériau λ en Watts par mètre et par Kelvin (W.m⁻¹.K⁻¹ ou W/mK).

Elle est donnée par la formule :

$$R = \frac{e}{\lambda}$$

II.2.4 Résistance thermique totale RT d'une paroi

La résistance thermique totale **RT** d'une paroi est la somme des résistances R des matériaux qui la composent à laquelle s'ajoutent les résistances des surfaces intérieures R_i , extérieures R_e et de lame d'air R_a éventuelle [2].

Elle s'exprime en m² K/W.

Les valeurs R_{si} , R_{se} et R_a peuvent varier en fonction de la direction du flux de chaleur.

Tableau II.13: Les valeurs R_{si} , R_{se} [10]

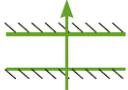
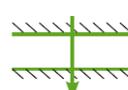
RESISTANCES SUPERFICIELLES EN $m^2 \cdot Kelvin / Watt$		PAROI EN CONTACT AVEC L'EXTERIEUR			PAROI EN CONTACT AVEC UN AUTRE LOCAL (Chauffé ou non) un comble ou un vide sanitaire		
		R_{si}	R_{se}	$R_{si}+R_{se}$	R_{si}	R_{se}	$R_{si}+R_{se}$
PAROI VERTICALE		0,13	0,04	0,17	0,13	0,13	0,26
PAROI HORIZONTALE AVEC FLUX ASCENDANT		0,10	0,04	0,14	0,10	0,10	0,20
PAROI HORIZONTALE AVEC FLUX DESCENDANT		0,17	0,04	0,21	0,17	0,17	0,34

La valeur R_a d'une couche d'air non ventilée est, suivant la norme EN ISO 6946.

• EN ISO 6946 (2003) :

- Composants et parois de bâtiments
- Résistance thermique et coefficient de transmission thermique
- Méthode de calcul

Tableau II.14: Résistance thermique R_a en $m^2 \cdot K/W$ des lames d'air confinées dans des plafonds, parois et planchers [2]

EN ISO 6946 : Résistance thermique de couches d'air non ventilées R_a (m^2K/W)			
Epaisseur de la couche d'air	Inclinaison des couches d'air et direction du flux de chaleur		
	Couches d'air verticales	Couches d'air horizontales	Couches d'air horizontales
			
Les deux plans avec $e \geq 0,82$ (émissivité)			
5 mm	0,11	0,11	0,11
10 mm	0,15	0,15	0,15
25 mm	0,18	0,16	0,19
50 mm	0,18	0,16	0,21

Note : Les valeurs intermédiaires peuvent être obtenues par interpolation linéaire.

II.2.5 Coefficient de transmission thermique U des parois

Le coefficient de transfert thermique d'une paroi est noté " U " (ou anciennement " k ") et caractérise la quantité de chaleur traversant une paroi, de l'intérieur vers l'extérieur, en régime permanent, par unité de temps, par unité de surface et par unité de différence de température entre les ambiances situées de part et d'autre de ladite paroi [10].

$$U = \frac{1}{R}$$

U : Coefficient de transmission thermique en **Watt/m².Kelvin**

R : Résistance thermique.

Le transfert thermique des parois «en série» consiste à calculer le « U » **global** (le coefficient de transfert thermique) pour l'ensemble des matériaux mis en multicouche.

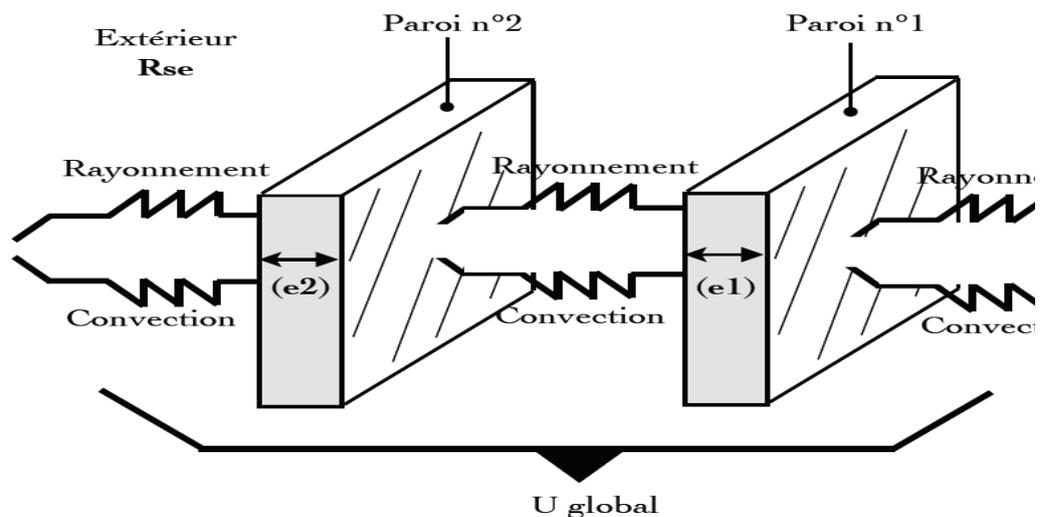


Figure II.18: Coefficient de transmission thermique U global

$$U_{\text{global}} = \frac{1}{R} = \frac{1}{R_{se} + \sum e / \lambda + R_a + R_{si}}$$

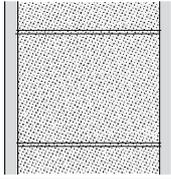
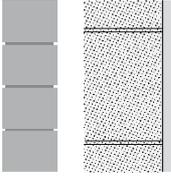
e : épaisseur du matériau en m (mètre).

λ : Lambda coefficient de conductivité thermique des matériaux.

R_{si} : Résistance superficielle intérieur m². Kelvin / Watt.

R_{se} : Résistance superficielle extérieur m². Kelvin / Watt.

Tableau II.15: Valeurs U de parois en béton cellulaire [2]

Description du mur	Béton cellulaire			Coefficient U du mur (W/m ² K)
	Epaisseur (mm)	Masse vol. (kg/m ³)	$\lambda_{U,i}$ (W/mK)	
 Mur massif en blocs de béton cellulaire collé + crépi extérieur de 12 mm et enduit intérieur de 10 mm	240	400	0,120	0,45
		500	0,140	0,52
		600	0,180	0,65
	300	400	0,120	0,37
		500	0,140	0,43
		600	0,180	0,54
 Mur double en blocs collés de béton cellulaire + parement en briques de 90 et enduit intérieur de 10 mm	200	400	0,120	0,49
		500	0,140	0,56
		600	0,180	0,68
	240	400	0,120	0,42
		500	0,140	0,48
		600	0,180	0,59
	300	400	0,120	0,35
		500	0,140	0,40
		600	0,180	0,49

Ces valeurs de $\lambda_{U,i}$ sont celles mentionnées dans la norme belge. Certains fabricants de blocs de béton cellulaire produisent de meilleures valeurs (declared value). Prendre contact avec le fabricant à cet effet.

Le fait de ne pas devoir ajouter d'isolant permet d'éviter :

- Une opération de mise en œuvre complémentaire et délicate.
- Un contrôle accru de la part du maître d'œuvre.
- Les risques fréquents de ponts thermiques dus à la pose non parfaitement jointive des éléments isolants rapportés (les ponts thermiques sont source de condensations, de moisissures et d'inconfort).
- Une chute du pouvoir isolant de la paroi causée par la circulation d'air froid entre l'isolant et le mur, rarement plan (blocs de gros œuvre irréguliers, joints épais débordants), sauf intervention complémentaire d'égalisation de la paroi.
- Les risques de ponts d'humidité lorsque, lors de la mise en œuvre ou ultérieurement, l'isolant est en contact à la fois avec le parement et le mur porteur.

II.2.6 Température de surface

Le confort thermique d'une maison est une sensation de bien-être que procure essentiellement la température de confort **tc**. Elle est définie comme la moyenne entre la température de l'air **ta** et la température moyenne de paroi **tpm**.

$$tc = \frac{ta + tpm}{2}$$

La zone de confort se situe entre $t_c=19^\circ\text{C}$ et $t_c=21^\circ\text{C}$. Dans un local donné, on remarque sur le diagramme ci-après que pour une température de paroi de 15°C , la sensation de bien-être ($t_a = 20^\circ\text{C}$) n'est atteinte que pour une température de l'air de 25°C [12].

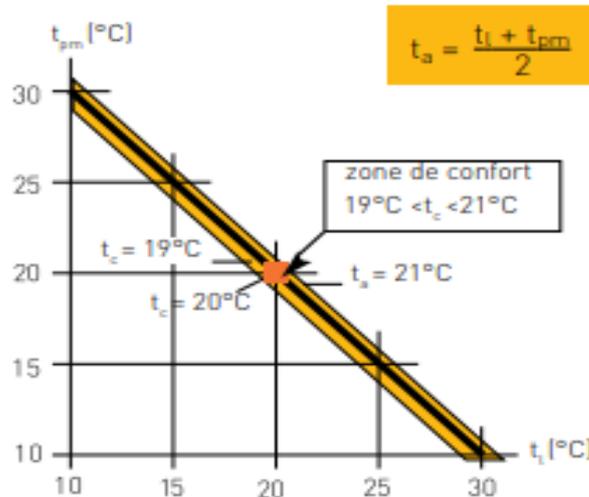


Figure II.19: diagramme Le confort thermique

T_{pm} = température moyenne de surface intérieure de parois (°C).

T_c = température de confort.

T_a = température de l'air (°C).

Sachant qu'une augmentation de la température de chauffe de 5°C correspond environ à une augmentation de 40% de la consommation d'énergie, on voit donc tout l'intérêt d'avoir une température de paroi élevée. Grâce à sa structure isolante, procure une température de paroi élevée, ce qui permet de réduire au maximum les coûts de chauffage, tout en jouissant d'un confort optimal.

II.2.7 Inertie thermique

II.2.7.1 Généralités

Le béton cellulaire Hebbel n'est pas seulement un bon isolant thermique; il permet aussi d'emmagasiner la chaleur ou la fraîcheur et de les restituer petit à petit. Grâce à ces atouts, le béton cellulaire régule naturellement la température à l'intérieur du bâtiment. De plus, la structure cellulaire du matériau massif équilibre l'humidité ambiante. Il s'agit là d'avantages non négligeables que l'on ne retrouve pas dans les constructions en matériaux plus légers [11].

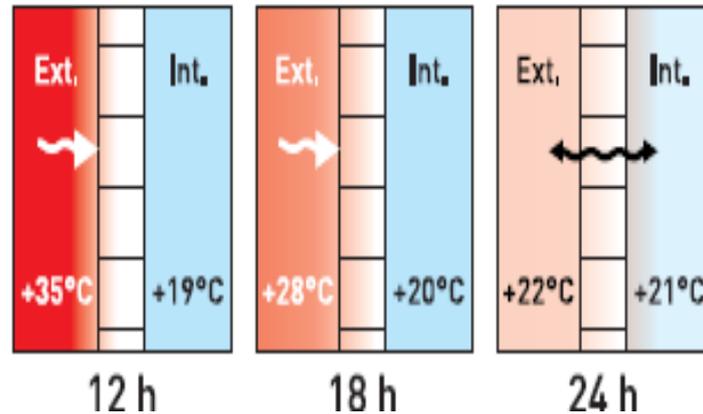


Figure II.20: L'inertie thermique d'un mur en thermo pierre assure la fraîcheur à l'intérieur

II.2.7.2 Capacité thermique

Tout matériau de construction absorbe une certaine quantité de chaleur quand la température environnante s'élevé. Cette quantité de chaleur qu'un matériau absorbe par m^2 et par degré d'augmentation de température est appelée capacité thermique :

$$Q_s = c \cdot \rho \cdot e \text{ [J/m}^2\text{K]}$$

Avec :

Qs = la capacité thermique.

c = la chaleur spécifique en $J/kg \cdot K$.

ρ = la masse volumique sèche en kg/m^3 .

e = l'épaisseur en m [2]

II.2.7.3 Amortissement thermique et déphasage

Pour un confort excellent en été, il faut que :

- Le déphasage F soit important. Il s'agit de la différence de temps entre les maxima de température extérieurs et intérieurs. Si le de phasage est important, l'influence du soleil frappant à midi ne se fera ressentir que le soir. Il suffira alors de ventiler la pièce pour garder un niveau de température constant.
- L'amortissement thermique soit grand. L'amortissement thermique est le rapport entre la température maximale extérieure et la température maximale intérieure. Si cet amortissement est grand, un pic de température de $40^\circ C$ a l'extérieur se traduira par un pic intérieur de $22^\circ C$ a l'intérieur [12].

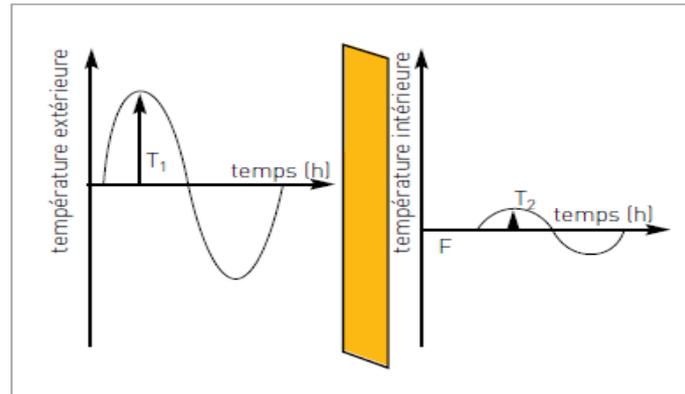


Figure II.21: Amortissement thermique et déphasage

Le déphasage F est le décalage en heures entre les maxima de température extérieure et intérieure. L'amortissement μ est le rapport entre l'amplitude maximale de température extérieure et l'amplitude maximale de température intérieure:

$$\mu = T_1/T_2.$$

Tableau II.16: les résultats des Amortissement thermique et déphasage [12]

Matériau	ρ (kg/m ³)	λ (W/mK)	e (m)	Amortissement μ	Déphasage F (h)
Maçonnerie en Ytong	400	0,11	0,24	9,09	11,4
Dalles de bardages et de toiture en Ytong	600	0,16	0,24	7,14	9,7
	500	0,14	0,20	8,06	8,7
Isolant	20	0,04	0,10	1,43	2,1
	20	0,04	0,15	1,49	3,1
Béton	2400	2,10	0,20	1,61	4,0
	2400	2,10	0,25	2,27	6,0
Bois	600	0,13	0,10	2,50	6,0

De ce tableau, il ressort que :

- 1) Pour le béton cellulaire, l'amortissement est important. Au plus grand est l'amortissement, au plus basse est la température intérieure. Ainsi, par forte Chaleur, la température intérieure sera plus faible avec le béton cellulaire qu'avec beaucoup d'autres matériaux.
- 2) Le déphasages est également plus important avec le béton cellulaire. L'avantage d'un déphasage important est qu'un maximum de température extérieure aux heures du midi ne se fera ressentir qu'en fin de journée. Ainsi il suffira d'une simple ventilation en soirée pour rafraichir l'atmosphère.

3) Les matériaux isolants purs pressentent un déphasage et un amortissement faibles. Si le soleil frappe à midi sur une toiture composée d'éléments non massifs, et d'isolant pur, la température intérieure deviendra vite insupportable sans air conditionné. C'est ce qu'on appelle l'effet caravane (bonne isolation thermique, mais inertie thermique nulle) [2].

II.3 Acoustique

II.3.1 Généralités

Une distinction doit être opérée entre les bruits aériens et les bruits d'impact pour l'isolation acoustique des éléments de construction. Pour assurer un bon confort acoustique aux habitants d'un bâtiment, les mesures nécessaires doivent être prises, tant contre le bruit aérien que contre le bruit d'impact.

- **les bruits aériens** : la source émet directement les sons dans l'air, **ex** : radio, TV.

- **les bruits d'impact** : la source occasionne des vibrations dans les éléments de construction (plancher ou paroi) qui se propagent dans la construction et qui diffusent le bruit dans un autre espace (par **ex** : les pas sur le plancher ou dans l'escalier).

La résistance contre la propagation des sons d'un espace à l'autre s'appelle l'isolation et s'exprime en décibels. Outre les problèmes d'isolation, il y a encore d'autres problèmes acoustiques, par **ex** : la résonance.

Les ondes sonores heurtant une paroi sont partiellement réfléchies, absorbées et la traversent également en partie [12].

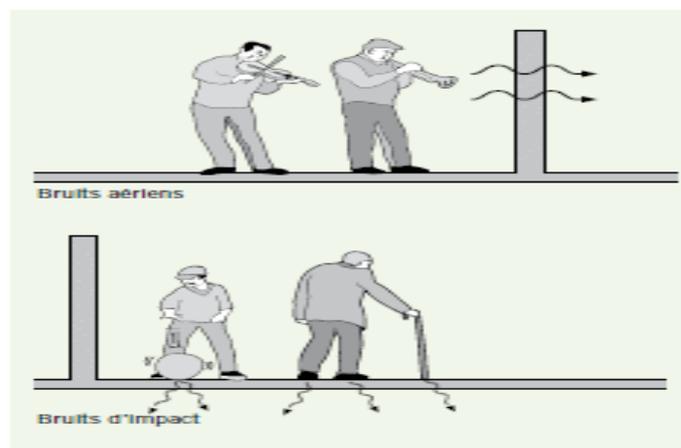


Figure II.22: Acoustique

II.3.2 L'absorption acoustique

Le coefficient d'absorption α d'un mur est :

$$\alpha = \frac{\text{energie sonore transmise + absorbee}}{\text{energie sonore incidente}}$$

Ce coefficient d'absorption est un nombre entre 0 et 1 sans unité.

$\alpha = 1$ signifie que tous les bruits sont absorbés ou transmis.

$\alpha = 0$ signifie que tous les bruits sont réfléchis

L'importance du coefficient α (facteur d'absorption acoustique d'après Sabine) est fonction de la fréquence du bruit d'incidence et des conditions de surface de l'élément [12].

Tableau II.17: Coefficient d'absorption (α) des différents matériaux [2]

Matériau	Fréquence (Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
Béton lisse	0,01	0,01	0,01	0,02	0,03	0,03
Plâtre ciment	0,03	0,03	0,04	0,04	0,05	0,06
Dalles et blocs en béton cellulaire	0,09	0,09	0,12	0,18	0,19	0,18
Tôle d'acier	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	0,03

Plus le bruit d'incidence sera réfléchi et moins absorbé, plus on aura l'effet de résonance dans un espace. L'absorption sonore d'un élément de construction évite la résonance du bruit à l'intérieur d'un espace. Si toute l'énergie sonore est parfaitement absorbée, la valeur de ce coefficient sera 1. L'absorption sonore peut être déterminée d'après la norme NBN EN 130- 354(2003).

En mesurant le temps de résonance T , la formule de Sabine nous permet de calculer le taux d'absorption.

De par sa structure alvéolée en surface, le béton cellulaire présente une capacité d'absorption sonore 5 à 10 fois supérieure à celle des matériaux lisses insonorisants.

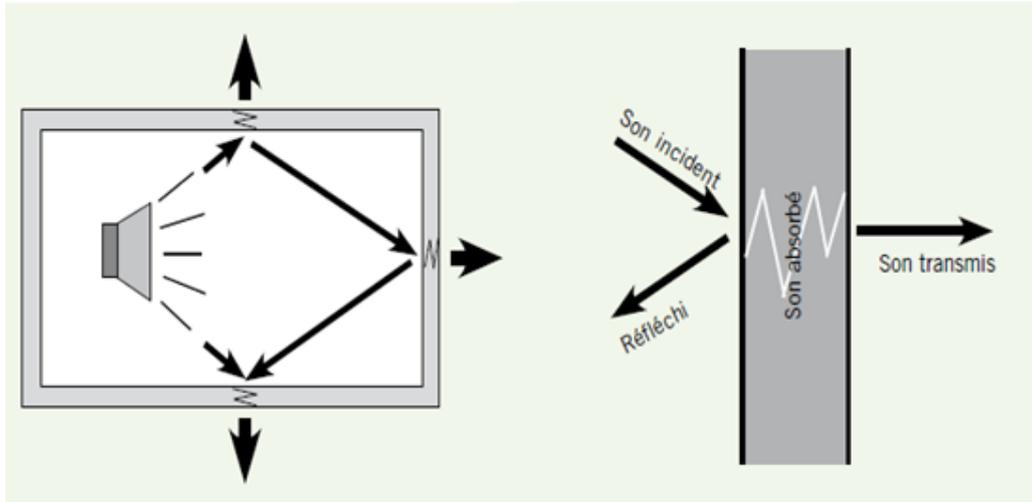


Figure II.23: Schéma du bruit incident [2]

II.3.3 Bruits aériens

L'isolation des bruits aériens peut être déterminée en mesurant la compression acoustique dans les espaces d'émission et de réception.

La norme **NBN S 01-005** définit l'index de l'amortissement acoustique R pour les bruits aériens lorsque le mesurage se fait dans un laboratoire. C'est une valeur normalisée qui tient compte de la surface de la paroi de séparation et des caractéristiques d'absorption des espaces d'émission et de réception.

Quand le mesurage se fait "in situ", la **NBN S 01-006** parle de l'isolation Acoustique brute normalisée pour les bruits aériens. En mur massif, les différentes épaisseurs donnent l'indice d'amortissement acoustique R suivant :

Tableau II.18: Indice d'amortissement acoustique de murs

Epaisseurs	Joints	Finition	Densités	Norme	Valeurs ISO 717-1
10 cm	Colles	Enduit des 2 cotes	C4/550	NBN S 01-005	38 dB
15cm	Colles	Enduit des 2 cotes	C4/550	NBN S 01-005	44 dB
20 cm	Colles	Enduit des 2 cotes	C3/450	NBN S 01-005	49 dB

II.3.4 L'isolation acoustique dans les bâtiments

Une paroi est normalement composée de différents éléments (portes, fenêtres, colonnes en béton, canalisations etc.). Pour l'appréciation d'un mur avec une telle composition, il faut tenir compte d'une différence fondamentale entre l'isolation acoustique et thermique.

L'isolation des bruits aériens d'un mur dépend naturellement, à l'instar de l'isolation thermique, des qualités isolantes de ses différents composants. En ce qui concerne l'isolation thermique, le niveau d'isolation d'un élément de construction est déterminé par la moyenne des valeurs des différents éléments, pondérée en fonction de leur Proportion dans la superficie totale. Ce n'est pas le cas de l'isolation acoustique.

Pour obtenir un bon confort acoustique dans une habitation, il convient toujours de prendre celui-ci en considération dès la conception des plans. Il importe en particulier de veiller à une bonne disposition des pièces à faible niveau sonore (chambre à coucher, chambres des enfants, living) et des espaces à haut niveau sonore (cuisine, cage d'escalier, sanitaires). Dans les maisons mitoyennes et les appartements, l'agencement des pièces doit encore tenir compte des murs (et planchers) mitoyens.

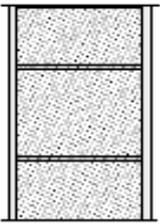
Pour réaliser les murs mitoyens, il est vivement conseillé d'opter pour la solution du mur double. Les deux murs doivent être séparés par une couche souple (air par exemple) [12].

II.3.5 Acoustique de la construction en béton cellulaire

II.3.5.1 Murs extérieurs massifs en blocs de béton cellulaire

Blocs de béton cellulaire avec crépi (12 mm) et enduit cote intérieur (10 mm).

Tableau II.19: valeur d'isolation R de mur extérieur

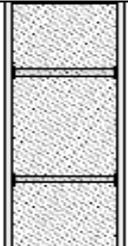
	Valeur d'isolation R (dB)			
	Classe de densité (kg/dm ³)	Épaisseur des blocs de béton cellulaire (mm)		
		240	300	365
0,400	-	47	50	
0,450	49	50	50	
0,550	52	50	-	
0,650	52	-	-	

Les chiffres indiqués sont les valeurs suivant la norme ISO 717-1.

II.3.5.2 Murs intérieurs en blocs de béton cellulaire

Blocs de béton cellulaire + enduit (10 mm) sur les deux faces.

Tableau II.20: valeur d'isolation R de mur intérieur

	Valeur d'isolation R (dB)			
	Classe de densité (kg/dm ³)	Épaisseur des blocs de béton cellulaire (mm)		
		100	150	200
0,450	-	40	45	49
0,550	40	44	48	52
0,650	-	-	51	52

Les chiffres indiqués sont les valeurs suivant la norme ISO 717-1.

II.3.5.3 Doubles murs de séparation entre habitations de rangée / habitations doubles / appartements

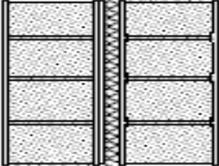
Par rapport à un mur massif de même poids, un mur double présente un avantage acoustique d'environ 12 dB (décibels).

Plus large est la lame d'air, meilleure est l'isolation acoustique. L'amélioration atteint :

Tableau II.21: Amélioration de l'isolation en fonction de la largeur de la lame d'air

Largeur de la lame d'air (mm)	Amélioration de l'isolation (dB)
30	0
40	2,5
50	4,4
60	6,0

Tableau II.22: Valeurs d'isolation des doubles murs de séparation

Structure du mur	Épais- seur (mm)	Valeur d'isolation R (dB)
		
Enduit intérieur	10	68
Blocs de béton cellulaire C4/550	175	
Lame d'air avec des plaques de laine minérale de 40mm	50	
Blocs de béton cellulaire C4/550	175	
Enduit intérieur	10	
Enduit intérieur	8	57
Blocs de béton cellulaire C4/550	200	
Lame d'air	20	
Blocs de béton cellulaire C4/550	200	
Enduit intérieur	8	
Les chiffres indiqués sont les valeurs suivant la norme ISO 717-1.		

II.3.5.4 Murs intérieurs en blocs de béton cellulaire avec élément rapporte sur 1 ou 2 faces

Tableau II.23: Valeurs d'isolation Murs intérieurs

Structure du mur	Épaisseur (mm)	Valeur d'isolation R (dB)
Enduit intérieur	10	53
Blocs de béton cellulaire C4/550	150	
Laine de verre	40	
Plaque de plâtre	10	
Plaque de plâtre	10	58
Laine de verre	40	
Blocs de béton cellulaire C4/550	150	
Laine de verre	40	
Plaque de plâtre	10	63
Laine de verre	60	
Blocs de béton cellulaire C4/550	150	
Laine de verre	60	
Plaque de plâtre	10	

Les chiffres indiqués sont les valeurs suivant la norme ISO 717-1.

Tableau II.24: Toiture en dalles de béton cellulaire avec couverture

Structure de la toiture	Épaisseur (mm)	Valeur d'isolation R (dB)
Tuiles ou ardoises	-	56
Plaques d'isolation	50	
Dalles de toiture en béton cellulaire	200	
Enduit intérieur	10	

Structure de la toiture	Épaisseur (mm)	Valeur d'isolation R (dB)
Couche de gravier	50	55
2 couches de matériau d'étanchéité pour toiture	-	
Dalles de toiture en béton cellulaire	200	
Lattage - 2x30 mm	60	
Plaques de plâtre	10	

Les chiffres indiqués sont les valeurs suivant la norme ISO 717-1[2].

II.4 Résistance au feu du béton cellulaire

Le béton cellulaire offre une résistance au feu excellent. Il ne contribue pas à la propagation du feu et ne développe pas de fumées toxiques pendant l'incendie.

Ces propriétés physiques en font un des matériaux les plus performants pour la construction des murs coupe-feu et des murs pare-feu.



Figure II.24 : Exemple d'incendie dans un bâtiment de stockage, compartimenté par des murs coupe-feu en béton cellulaire.

II.4.1 Détermination de la résistance au feu

Pour déterminer la résistance au feu, on tient compte des trois critères suivants:

- **stabilité (R)** : Le temps pendant lequel le matériau assume sa fonction portante (stabilité, déformations, ...).
- **étanchéité aux flammes (E)** : Le matériau doit rester étanche aux flammes, aux fumées et aux gaz chauds qui pourraient propager l' incendie aux locaux adjacents.
- **isolation thermique (I)** : Doit être suffisante pour protéger les matériaux et les revêtements qui se trouvent de l' autre cote de la paroi contre la combustion spontanée due à l' augmentation de la température de surface [12].

Le classement des éléments résistant au feu comprend trois catégories :

- Stable au feu (SF) : seul le critère 1 est requis ;
- Pare-flamme (PF) : les critères 1 et 2 sont requis ;
- Coupe-feu (CF) : les critères 2 et 3 sont requis et le 1 pour les CF porteurs [7].

II.4.2 Une assurance contre le feu du béton cellulaire

Du fait de sa résistance exceptionnelle au feu, le béton cellulaire est régulièrement

Utilise pour des ouvrages nécessitant des précautions particulières au niveau d'incendie (entrepôts de matières inflammables, compartimentage...).

Les assurances en tiennent compte et baissent leurs tarifs pour ces types de bâtiments construits en béton cellulaire.

II.4.3 Résistance au feu des parois en béton cellulaire

II.4.3.1 Murs en blocs collés

La résistance au feu minimale des murs non enduits en blocs de béton cellulaire est spécifiée dans la norme **NBN B 21-002**.

Des essais officiels réalisés sur des blocs de béton cellulaire placés au mortier colle donnent les valeurs suivantes :

Tableau II.25: Les valeurs des murs en blocs collés

Épaisseur	Résistance au feu	Remarque
100 mm	EI 180	Mur non porteur
200 mm	REI 240	Mur porteur
240 mm	REI 360	Mur porteur

II.4.3.2 Murs en dalles armées

Tableau II.26: Les valeurs des murs en dalles armées

épaisseur	Résistance au feu	Remarque
100 mm	EI 180	Mur non porteur
200 mm	REI 240	Mur porteur
240 mm	REI 360	Mur porteur

II.4.3.3 Dalles de toiture et de plancher

La résistance au feu des dalles de toiture et de plancher est fonction de la portée, de la surcharge ainsi que de l'enrobage de l'armature inférieure. Une dalle armée perd sa résistance quand l'armature atteint la température critique de 550°C. Dans ce sens on peut se référer à la **norme DIN 4102** qui donne la résistance au feu pour les dalles en béton cellulaire en fonction de l'enrobage de l'armature principale.

Tableau II.27: La résistance au feu des dalles de toiture et de plancher

Résistance au feu	REI 30	REI 60	REI 120	REI 180
Enrobage minimum [mm]	12	20	40	55

II.4.4 Comportement du béton cellulaire en cas d'incendie

Le béton cellulaire combine deux qualités essentielles qui lui confèrent un excellent comportement au feu : une réaction au feu nulle, et une très bonne résistance au feu.

II.4.4.1 Réaction au feu

La réaction au feu d'un matériau de construction est l'élément que le matériau apporte au maintien de la combustion et à son développement.

Le béton cellulaire est ininflammable et n'apporte aucune contribution à la combustion. En cas d'incendie, le béton cellulaire n'émet donc aucune fumée et ne contribue pas à la propagation du feu.

II.4.4.1 Résistance au feu

La résistance au feu des éléments de construction est la durée pendant laquelle les éléments de la construction continuent à remplir le rôle qui leur est dévolu, malgré l'action d'un incendie. La paroi doit rester stable, être étanche aux flammes et être isolante thermiquement [2].

Chapitre III

Caractéristiques des produits en béton cellulaire

III.1 Caractéristiques des produits

III.1.1 Eléments non armés

III.1.1.1 les blocs

Les blocs en béton cellulaire sont classés dans la catégorie des bétons très légers et extra légers selon **la norme PTV 21-002** intitulée : Eléments de maçonnerie en béton cellulaire autoclavé.

Les blocs peuvent être utilisés en murs intérieurs ou extérieurs, porteurs ou non porteurs. Leur utilisation est préconisée pour des maisons individuelles, des appartements, des bureaux, des garages, des bâtiments industriels ou agricoles, des magasins, des hôpitaux, des murs coupe-feu, etc.

Leur pose est réalisée au moyen d'un mortier-colle posé à joints minces [1].

Les profils

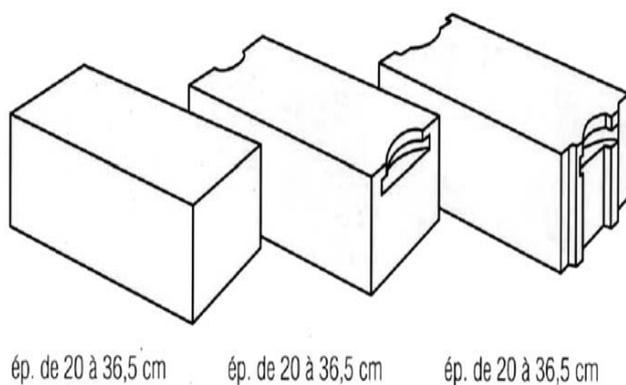


Figure III.1: Profils de béton cellulaire



Figure III.2: Bloc de béton cellulaire

FICHE TECHNIQUE DES BLOCS [2]

Tableau III.1: Dimensions

Caractéristiques	Valeurs	Commentaires
<ul style="list-style-type: none"> • Longueurs (en mm) • Hauteurs (en mm) • Épaisseurs (en mm) • Tolérances sur dimension • La plupart des blocs sont livrés avec tenon et mortaise 	<p style="text-align: center;">600</p> <p style="text-align: center;">250</p> <p style="text-align: center;">50-70-100-150-175- 200- 240-300-365</p> <p style="text-align: center;">2 mm max.</p>	<p style="text-align: center;">De 1, 4 à 6,6 blocs par m², seulement.</p> <p style="text-align: center;">Pour certaines particularités spécifiques aux fabricants, voir leur documentation</p>

Tableau III.2: Classification suivant la norme PTV 21-002

Type	Classe	Critères masse volumique	Critères de résist. à la compression	Commentaires
C2/400	ρ 0,4	$350\text{kg/m}^3 \leq \rho < 400\text{kg/m}^3$	$f_{bm} \geq 2 \text{ N/mm}^2$	Tous les produits en béton cellulaire vendus en Belgique répondent à l'une de ces classes et aux critères qui y correspondent
C3/450	ρ 0,5	$400 \text{ kg/m}^3 \leq \rho < 450\text{kg/m}^3$	$f_{bm} \geq 3 \text{ N/mm}^2$	
C4/550	ρ 0,6	$500\text{kg/m}^3 \leq \rho < 550\text{kg/m}^3$	$f_{bm} \geq 4 \text{ N/mm}^2$	
C5/650	ρ 0,7	$600\text{kg/m}^3 \leq \rho < 650\text{kg/m}^3$	$f_{bm} \geq 5 \text{ N/mm}^2$	

Tableau III.3: Mise en œuvre

Type de mortier	Directives	Commentaires
Mortier colle	<ul style="list-style-type: none"> • Préparation : 1 sac de mortier colle de 25 kg 5 à 7 l d'eau • Joints de 2 à 3 mm 	1 sac de mortier colle de 25 kg. suffit à réaliser 1,5 m ³ de maçonnerie (utiliser uniquement le mortier colle fourni par le fabricant des blocs)
Mortier ciment	Nécessite l'ajout d'un rétenteur d'eau. Est utilisé pour la pose de la première rangée de blocs. Dans des cas particuliers il est possible de réaliser l'entièreté de la maçonnerie en mortier ciment à joints épais (±10 mm)	<p>Cette mise en œuvre est nettement moins performante au niveau de :</p> <ul style="list-style-type: none"> - la rapidité de mise en œuvre - la résistance à la compression - l'isolation thermique - l'apport d'humidité

Tableau III.4: Valeurs thermiques des maçonneries de blocs colle

Type de paroi	Béton cellulaire épaisseur en mm	Masse volumique	Valeurs U* (W/m ² K)	Commentaires
Mur massif avec crépi et enduit Intérieur	240	400	0,45	Les murs massifs sont thermiquement et économiquement plus performants
	300	400	0,37	
Mur double avec parement brique de 90 mm et enduit intérieur	200	400	0,49	Dans le cas où la paroi intérieure des murs extérieurs est maçonnée à joints épais (± 10 mm) la valeur U est de 20% moins performante
	240	400	0,42	
	300	400	0,35	

III.1.1.2 Linteaux

Un linteau est une poutre qui sert à franchir une ouverture de porte, de fenêtre ou de cheminée. Il existe des linteaux porteurs et non porteurs. Un linteau porteur doit pouvoir résister au poids de la section murale située au-dessus de l'ouverture. Les linteaux sont également utilisés pour reprendre le poids d'un éventuel planché les surplombant. Les linteaux non porteurs n'ont pas de fonction spécifique, ce sont de simples éléments de complément.

Les linteaux présentent des dimensions appréciables et un seul suffit à couvrir une ouverture, ce qui signifie un gain de temps. Ils permettent en outre que les chambranles de porte et de fenêtre restent désolidarisés de la section murale supérieure [13].

Linteaux en béton cellulaire contribue également à l'homogénéité de la construction et du support de finition. Les linteaux sont livrés en même temps que les blocs. Grâce à leur poids réduit, ils sont faciles à mettre en œuvre.

Les armatures sont calculées et disposées pour permettre au linteau de reprendre des charges importantes (voir fiche technique ci-dessous et documentation des producteurs pour certaines spécificités).

Lors de leur mise en œuvre il est obligatoire de respecter le sens de pose indiqué par le fabricant et apparent sur le linteau. Les produits étant composés de la même matière que les blocs leur pouvoir d'isolation thermique est similaire et ainsi ne créent pas de ponts thermiques [2].



Figure III.3: Linteau en béton cellulaire

FICHE TECHNIQUE LINTEAUX [2]

Tableau III.5: Dimensions

Caractéristiques	Valeurs	Commentaires
• longueurs (en mm)	1250-1500-2000-2500- 3000	D'autres longueurs peuvent être obtenues sur demande
• hauteurs (en mm)	250	
• épaisseurs (en mm)	100 - 150 - 175 - 200 - 240 - 300 – 365	

Tableau III.6: Surcharges

Caractéristiques	Valeurs	Commentaires
• admissible pour linteaux porteurs	Surcharge	Variable en fonction de la portée. Consulter nécessairement la documentation des fabricants. Pour des portées ou surcharges supérieures, d'autres produits plus particuliers (en forme de U), peuvent être obtenus sur demande chez les producteurs. Tenir compte du sens de pose Indiqué sur le linteau (consulter le fabricant).

Tableau III.7: Appui

Caractéristiques	Valeurs	Commentaires
	200 mm minimum de chaque côté	

Tableau III.8: Valeurs thermiques

Caractéristiques	Valeurs	Commentaires
	Sensiblement les mêmes que pour les blocs	Ils permettent d'obtenir des parois homogènes sans pont thermique

III.1.2 Éléments armés

III.1.2.1 Dalles de bardage (Panneaux de façade)

Les dalles de mur sont généralement utilisées en combinaison avec une ossature en béton, en acier ou en bois. La mise en œuvre peut être horizontale ou verticale.

Elles sont placées devant ou entre les colonnes. Elles sont autoportantes et superposables jusqu'à des hauteurs usuelles en constructions industrielles.

Certains éléments peuvent être spécialement renforcés pour reprendre des charges particulières (**par exemple**: allèges, linteaux, frontons, silos à pomme de terre...) [2].



Figure III.4: Dalles de bardage



Figure III.5: Panneaux de façade [1]

Les principales caractéristiques des éléments armés pour murs sont reprises dans le tableau ci-dessous :

FICHE TECHNIQUE DALLES DE MUR [2]

Tableau III.9: Dimensions

Caractéristiques	Valeurs	Commentaires
<ul style="list-style-type: none"> • longueurs : - standards (en mm) - spéciales (en mm) • largeurs (en mm) • épaisseurs (en mm) 	<p style="text-align: center;">jusque 6000 jusque 7500</p> <p style="text-align: center;">600 et 750 100 - 150 - 200 - 240 - 300</p>	Les éléments armés sont fabriqués à la demande sur base des mesures et plans fournis au fabricant. D'autres épaisseurs peuvent être obtenues sur demande.

Tableau III.10: Valeurs thermiques

épaisseur (en mm)	Densité	Valeur U (W/m ² K)*	Commentaires
150	CC4/600	0,86	Valeurs U pour un taux d'humidité d'équilibre De 2,5% en volume.
200	CC3/500	0,53	
240	CC3/500	0,45	
300	CC3/500	0,37	

Tableau III.11: Résistance au feu

Caractéristiques	Résistance au feu	Commentaires
Conformément aux normes NBN 713-020 et ISO 834.	A partir de 150 mm d'épaisseur : EI = 360 min	Sécurité assurée pour autant que la structure ait les mêmes performances.

III.1.2.2 Dalles de toiture

Les dalles de toiture des systèmes de construction sont armées et à forte capacité portante. Elles servent à la réalisation de toitures isolantes, massives et portantes. La planéité de leur surface intérieure est utilisée directement pour les plafonds.

Elles sont disposées horizontalement ou en rampant, parallèlement à l'axe de faîtage, leurs extrémités reposant sur les murs porteurs transversaux.

Elles sont dimensionnées et fabriquées sur mesure en usine selon un plan de calepinage

Les dalles de toiture en béton cellulaire apportent de nombreux avantages :

- Elles augmentent la résistance thermique de la construction.
- Elles améliorent le confort intérieur par leur forte inertie thermique.
- Elles sont massives et solides.
- Elles garantissent la pérennité de la construction.
- Elles diminuent les dépenses de chauffage [1]



Figure III.6: Dalles de toiture

FICHE TECHNIQUE DALLES DE TOITURE [2]

Tableau III.12: Dimensions

Caractéristiques	Valeurs
• longueurs (mm) :	
- standards	jusque 6000
- spéciales	jusque 7500
• largeurs (en mm)	600 et 750
• épaisseurs (en mm)	100 - 150 - 200 - 240 - 300

Tableau III.13: Surcharges admissibles

Caractéristiques	Valeurs	Commentaires
• standard	1150 N/m ²	Par exemple pour lestage
• sur demande	plus élevées	

Tableau III.14: Valeurs thermiques coefficients: U (W/m²K)

épaisseur en mm	Type B.C.	Valeurs U (Wm ² K)*	Commentaires
100	CC4/600	1,20	Valeurs pour un taux d'équilibre de 2,5% en volume
150	CC4/600	0,86	
200	CC3/500	0,55	
240	CC3/500	0,47	
300	CC3/500	0,38	

Tableau III.15: Flèche admissible

Caractéristiques	Valeurs
	1/300 sous surcharge et poids propre

Tableau III.16: Résistance au feu

Caractéristiques	Commentaires
	REI 30 à REI 180 min en fonction de l'enrobage de l'armature principale voir (II 4.3)

III.1.2.3 Dalles de plancher

Les dalles de plancher en béton cellulaire armé porteuses et isolantes sont destinées à la réalisation de planchers. Elles sont adaptées à un emploi sur vide sanitaire ou en tant que plancher intermédiaire. Elles rendent inutiles les coffrages et étalements et diminuent considérablement le volume de béton à couler ; la dalle de compression est, en effet, évitée, et seuls les joints entre dalles sont à claveter.

.Les dalles de plancher en béton cellulaire apportent de nombreux avantages :

- Pose directe à sec.
- Rapidité de mise en oeuvre (100 m² en 5 h).
- Praticabilité immédiate.
- Absence de coffrage, de temps de séchage ou d'étais de soutien.
- Excellente isolation thermique.
- Solution idéale pour les chauffages par le sol [1].



Figure III.7: Dalles de plancher [1]

FICHE TECHNIQUE DALLES DE PLANCHER [2]

Tableau III.17: Dimensions

Caractéristiques	Valeurs	Commentaires
• longueurs (en mm)	Limitées en fonction des surcharges et flèches exigées 600 200 - 240 – 300	Consultez les fabricants
• largeurs (en mm)		
• épaisseurs (en mm)		

Tableau III.18: Flèche admissible

Caractéristiques	Valeurs
	1/500 de la portée sous surcharge

Tableau III.19: Valeurs thermiques

épaisseur (en mm)	Type B.C.	U (Wm ² K)*	Commentaires
200	CC4/600	0,53	Valeurs pour un taux d'équilibre de 2,5% en volume
240	CC4/600	0,45	
300	CC4/600	0,37	

Tableau III.20: Résistance au feu

Caractéristiques	Commentaires
	REI 30 à REI 180 min en fonction de l'enrobage de l'armature principale voir (II.4.3)

III.1.2.3 Dalles de cloison intérieure

Il s'agit de panneaux de séparation livrés à hauteur d'étage en épaisseur 70 et 100 mm. Ils conviennent tout particulièrement pour la réalisation des cloisons non portantes en appartements, bureaux, homes...

Ce système présente les avantages suivants :

- pose rapide
- finition mince, moins coûteuse
- résistance au feu exceptionnelle

Épaisseur 70 mm - EI 180 min

Épaisseur 100 mm - EI 180 min [2].



Figure III.8: Dalles de cloison intérieure

FICHE TECHNIQUE DALLES DE CLOISONS INTERIEURES [2]

Tableau III.21: Dimensions

Caractéristiques	Valeurs	Commentaires
longueurs (en mm)	Hauteur d'étage	Fabriquées sur mesure sur base de plans
largeurs (en mm)	600	
épaisseurs (en mm)	70-100	

Tableau III.22: Résistance au feu

Caractéristiques	Résistance au feu	Commentaires
<ul style="list-style-type: none"> épaisseurs (en mm) 	70 → EI 180 min 100 → EI 180 min	Valeurs largement supérieures aux exigences habituelles Sécurité renforcée

III.2 Utilisation des produits

III.2.1 Eléments non armés

III.2.1.1 Blocs et linteaux

Ils sont utilisés pour la réalisation de toutes les sortes de murs, porteurs ou non et dans tous les types de bâtiments. Leur mise en oeuvre au mortier colle, à joints minces de +/- 2 mm, plutôt qu'au mortier ordinaire, augmente sensiblement les performances des murs :

- Rapidité de mise en oeuvre (15 l de mortier colle / m³ à préparer, transporter et placer);
- Finition moins épaisses et moins coûteuses;
- Résistance à la compression supérieure (+15%);
- Isolation thermique supérieure (+20%);
- Comportement au feu plus efficace (étanchéité aux gaz de combustion et au passage des flammes).

En béton cellulaire ; également collés, rend la maçonnerie homogène, évite les ponts Thermiques et les tensions dues à l'utilisation de matériaux hétérogènes.

Les producteurs disposent de petits guides pratiques de mise en oeuvre, fort complets et détaillés. Ils sont envoyés gratuitement sur simple demande.

III.2.2 Éléments armés

III.2.2.1 Les dalles de mur

Murs sont destinées à être posées soit horizontalement soit verticalement. Elles sont utilisées pour la construction de :

- Murs posés contre une ossature métallique, en béton ou en bois dans les bâtiments à caractère industriel ou commercial;
- Murs portants pour la construction de bureaux ou de logements jusqu'à trois niveaux. Dans ce cas, ils sont toujours posés verticalement ;
- Murs coupe-feu, compartimentage.

Les murs en dalles de béton cellulaire sont:

- Économiques et de poses rapides;
- Thermiquement très performants et participent largement au confort d'été;
- Résistants au feu;
- Idéaux au niveau acoustique (absorption acoustique).

III.2.2.2 Dalles de toiture

Elles sont utilisées dans tous types de bâtiments à toiture plate ou inclinée. Elles sont utilisées principalement dans la construction de grandes surfaces tels que usines, hangars, supermarchés, garages, logements collectifs, etc. Elles peuvent aussi prendre place dans des logements individuels conçus à cet effet.

Les toitures en béton cellulaire:

- Peuvent participer au contreventement des constructions industrielles;
- Peuvent reprendre des surcharges plus importantes (lestage - toitures vertes);
- Sont thermiquement très performantes;
- Contribuent très largement au confort d'été grâce à la linéarité thermique du béton cellulaire (amortissement et déphasage thermiques...);
- Participent au confort acoustique grâce à son excellent pouvoir d'absorption acoustique.

III.2.2.3 Dalles de plancher

Les dalles de plancher sont utilisées pour la réalisation de planchers du type **P** tel que décrit par la **norme NBN 539**. Ce type de plancher est défini comme étant constitué de dalles juxtaposées et placées sur deux appuis avec remplissage des joints. Suivant la fonction recherchée, isolation thermique ou légèreté, le domaine d'application des dalles en béton cellulaire s'étend aux catégories suivantes:

- Planchers isolants sur vide sanitaire;
- Planchers isolants sur cave;
- Planchers de grenier;
- Planchers légers pour bâtiments à ossature béton ou métallique autostable;
- Planchers intégrés dans un système complet de logements.

III.2.2.4 Dalles de cloison

Les dalles, fournies à hauteur d'étage, conviennent particulièrement aux murs non portants dans de grands immeubles tels que bureaux, hopitaux, cliniques, écoles, hôtels, magasins, etc. Elles sont également utilisées en logements prévus entièrement en éléments armés.

Les murs de cloisonnement en dalles de cloison sont :

- un système de cloisonnement d'exécution rapide et économique ;
- très résistants au feu:

Épaisseur 70 mm : EI 180 min

Épaisseur 100 mm : EI 180 min

- de surfaces suffisamment planes pour permettre des finitions minces ou pelliculaires [2].

Chapitre IV

Finitions du béton cellulaire

IV.1 Finitions intérieures

IV.1.1 Enduits minces (2 à 5 mm d'épaisseur)

La règle générale à respecter est que l'enduit intérieur ne peut être appliqué lorsque l'étanchéité extérieure est en place. Pour les enduits intérieurs, il n'y a pas lieu de tenir compte des conditions climatiques ils doivent cependant laisser passer l'humidité de l'air ambiant. Pour les murs intérieurs, il existe divers enduits monocouche que l'on peut appliquer à condition de prévoir un primer et de suivre les instructions du fabricant.

On trouve sur le marché de fins enduits intérieurs monocouche spéciaux pour béton cellulaire, dont les caractéristiques ont été adaptées à un support en béton cellulaire. Comme ils contiennent des matières synthétiques, ils sont tellement solides que, contrairement aux enduits intérieurs ordinaires, ils peuvent être appliqués en une fine couche (5 mm) et directement lisses.

L'application d'un primer s'impose si elle est recommandée par le fabricant de l'enduit. Puisque l'enduit intérieur est appliqué en une épaisseur de 5 mm seulement, il est conseillé d'humidifier préalablement le support. Les saignées des câbles électriques et des installations sanitaires sont d'abord bouchées avec du mortier de ragrage pour béton cellulaire et recouvertes d'une toile en fibre de verre.

Aux endroits où il existe un risque de fissuration, une toile en polyamide est incorporée dans l'enduit. Les angles et les coins sont équipés de cornières d'angle. L'enduit est appliqué en une épaisseur de 5 mm environ et égalisé à la règle de plafonneur ou au grand couteau. Dès que l'enduit a pris, lisser avec la taloche recouverte de feutre ou de caoutchouc mousse tout en humidifiant constamment [2].

Si le mur est collé et correctement réalisé, il est possible de placer un enduit mince. Travailler avec un enduit mince offre de nombreux avantages:

- Finition plus rapide et plus économique ;
- L'enduit mince est nettement plus vite sec qu'un plafonnage traditionnel. Il est donc plus vite prêt à peindre ;
- Aspect fini semblable aux enduits traditionnels [14].



Figure IV.1: Enduit intérieur pour béton cellulaire

IV.1.2 Peinture intérieure

Utiliser uniquement les matériaux spécialement recommandés par le fabricant pour le traitement du béton cellulaire. Toujours demander les consignes de mise en oeuvre pour béton cellulaire au fabricant de peinture. L'application ou le renouvellement d'une couche de peinture ne peut s'effectuer que lorsque le mur est sec à l'air, c.-à-d. lorsqu'il a une teneur en humidité inférieure à 14% en volume [2].



Figure IV.2: Peinture intérieure pour béton cellulaire

IV.1.3 Finition intérieure des dalles en béton cellulaire

Du côté intérieur, les dalles de mur peuvent être peintes si on le souhaite. Utiliser uniquement les matériaux qui sont spécialement recommandés par le fabricant pour application sur du béton cellulaire. Toujours demander les consignes de mise en oeuvre pour le béton cellulaire au fabricant de peinture.

L'application ou le renouvellement d'une couche de peinture ne peut s'effectuer que si le mur est sec à l'air, c.-à-d. s'il a une teneur en humidité inférieure à 14% en volume. Parfois, la nature de l'air ambiant ou les conditions de l'environnement (vapeurs agressives) imposent un traitement spécial de surface. En pareil cas, il faut absolument veiller à ce que tous les joints horizontaux et verticaux ainsi que tous les joints de jonction soient parfaitement fermes.

IV.1.4 Finitions intérieures des dalles de toiture en béton cellulaire

Outre les finitions traditionnelles (peinture, plafonnage) un faux plafond peut être accroché facilement sous les dalles de toiture ou de plancher en béton cellulaire. Il faut veiller à ce que, dans le vide compris entre le plafond et le dessous des dalles, il règne les mêmes conditions climatiques que dans le local situé plus bas. Pour cela, il suffit de ventiler suffisamment cet espace intermédiaire. Ceci est réalisé en laissant suffisamment d'ouvertures entre le raccord du faux plafond et le mur. À défaut, il peut se créer des conditions physiquement incontrôlables qui peuvent conduire à de grands dégâts. Pour la suspension des faux plafonds, on prévoit des crochets ou des bandes métalliques dans les joints. Une autre possibilité est de les fixer à l'aide de chevilles appropriées dans la face inférieure des dalles. Toutes les tiges et tous les profils de suspension doivent être en acier inoxydable ou galvanisé [2].

IV.1.5 Carrelages

Les carrelages peuvent être placés directement sur Ytong (sans couche de fond), à condition que la maçonnerie soit correctement collée. Pour ce faire vous pouvez utiliser soit la colle pour carrelage, soit une colle pour carrelage "élastique" adaptée au béton cellulaire (suivre les prescriptions du fabricant - placer le cas échéant une couche d'accrochage) [14].

IV.2 Finitions extérieures

IV.2.1 Briques de façade

Le mur extérieur, qui est généralement maçonné avec une brique de façade au choix, est relié au moyen de crochets de mur classiques au mur sec réalisé en blocs collés. Ces crochets de mur sont enfoncés au marteau dans les blocs. Ils sont fixés uniformément à hauteur des blocs tous les 60 cm dans les joints horizontaux de la contre-façade.

Si nécessaire, le crochet mur sec peut également être fixé dans le joint vertical. L'espace vide doit faire au moins 3 cm de manière à éviter tout contact (ponts de mortier) entre les deux murs. Si le mur Ytong présente une épaisseur suffisante (17,5 cm minimum en C3/450), la pose d'un isolant dans le vide n'est pas nécessaire pour satisfaire aux exigences du décret sur l'isolation [14].

IV.2.2 Enduits extérieurs

Une des méthodes de construction les plus performantes est de placer un enduit minéral (crépi) directement sur Ytong. On construit un mur massif en Ytong de 24, 30, 36,5, 40 ou 50 cm d'épaisseur sur lequel on place un enduit minéral (de 1 à 2 cm d'épaisseur). On obtient ainsi un mur extérieur esthétique, très bien isolé, durable et très résistant, pour un prix de revient très compétitif. Lors du choix d'un crépi, il est très important de choisir un produit approprié. Les propriétés de l'enduit doivent être adaptées à celles du support.

Les principaux points à observer à ce niveau sont les suivants:

- L'adhérence du crépi sur le support doit être garantie ;
- La perméabilité à la vapeur d'eau du crépi doit être élevée afin de ne pas entraver la diffusion de la vapeur d'eau à travers le mu ;
- L'absorption d'eau par l'enduit doit être suffisamment faible pour garantir l'imperméabilité à la pluie ;
- Les caractéristiques mécaniques de l'enduit doivent être compatibles avec celles du support d'enduisage afin d'éviter la fissuration ;
- Le crépi doit pouvoir supporter suffisamment les chocs thermiques ;

- Les caractéristiques physicochimiques de l'enduit doivent être compatibles avec les caractéristiques physico-chimiques du support [14].

IV.2.3 Peinture extérieure sur blocs de béton cellulaire

L'application d'une peinture extérieure sur des blocs de béton cellulaire ne permet pas d'obtenir une protection absolue contre les précipitations et est donc déconseillée. Le traitement avec un produit d'imprégnation hydrofuge n'est pas non plus une solution.

Ces produits résistent mal aux rayons UV et, puisqu'ils sont incolores, c'est seulement lorsque des dégâts surviennent qu'on se rend compte qu'ils ont perdu leur efficacité [2].



Figure IV.3: Peinture extérieure pour béton cellulaire

IV.2.4 Finition des dalles de mur en béton cellulaire

Les dalles de mur en béton cellulaire sont étanches à la pluie à partir d'une épaisseur de 150 mm (le point faible où l'eau peut éventuellement s'infiltrer étant les Joints). Il est toutefois conseillé de prévoir une finition sur les dalles de mur en béton cellulaire, et ce pour les raisons suivantes :

1) En cas de forte pluie, le béton cellulaire absorbe l'eau jusqu'à une profondeur d'environ 20 mm. Une fois la couche extérieure saturée, le reste de l'eau de pluie ne pénétrera plus dans le mur, mais s'écoulera simplement. Avec comme résultat cependant que le pouvoir isolant du béton cellulaire, l'une de ses principales propriétés en sera réduit.

2) La couche extérieure humide est un endroit où se développeront facilement moisissures et mousses ou qui s'encrassera plus rapidement, surtout si le bâtiment est entouré de verdure.

3) Le béton cellulaire est un matériau de gros œuvre qui, pour des raisons esthétiques, nécessite une finition. Comme c'est le cas de tout produit fabriqué à partir de matières naturelles, des différences de teinte peuvent apparaître à la production, même entre des dalles fabriquées au cours d'un seul et même processus de production. De plus, les dalles risquent de s'encrasser aussi bien lors du stockage que lors du transport et sur le chantier.

Les dalles de mur en béton cellulaire sont généralement finies du côté extérieur avec une couche de peinture, une couche de grains de quartz ou un bardage (Plaques d'acier, panneaux en PVC, etc.).

Les dalles de mur en béton cellulaire doivent être protégées contre l'humidité ascensionnelle et contre tout contact avec la terre. Il est donc nécessaire de prévoir une plinthe en béton jusqu'à 300 mm au moins au-dessus du niveau du sol [2].

IV.2.4.1 Peinture extérieure sur dalles en béton cellulaire

Les dalles de mur en béton cellulaire peuvent être protégées contre les effets du climat au moyen d'une couche de peinture. A cet effet, utiliser une peinture acrylique pour l'extérieur (peinture de dispersion de résine synthétique, hydrofuge). Employer uniquement les matériaux qui sont recommandés spécialement par le fabricant pour une mise en oeuvre sur du béton cellulaire. Toujours demander les consignes de mise en oeuvre pour le béton cellulaire au fabricant de peinture. Les murs en béton cellulaire ne peuvent être peints ou repeints que lorsqu'ils sont secs à l'air, c.-à-d. lorsqu'ils présentent un degré d'humidité inférieur à 14% en volume.

IV.2.4.2 Enduit extérieur sur dalles en béton cellulaire

Il n'est possible d'appliquer un enduit extérieur sur des dalles de béton cellulaire qu'à condition de prendre certaines dispositions :

- Les dalles de mur sont collées les unes aux autres avec le mortier colle pour béton cellulaire en provenance du fabricant des dalles ;

- Les joints horizontaux sont fermés avec du mortier de ragréage pour béton cellulaire et recouverts d'une toile de joint de 100 mm de large ;
- Dans la première couche de l'enduit extérieur, une toile en polyamide est incorporée sur toute la surface de la façade ;
- Les joints verticaux sont des joints de mouvement et doivent être prolongés dans l'enduit extérieur.

Les propriétés, consignes de mise en oeuvre et détails d'exécution de l'enduit extérieur sur dalles sont les mêmes que celles décrites pour les blocs.

IV.2.5 Finition des dalles de toiture en béton cellulaire

La couverture de toiture peut être réalisée, en fonction de la pente des dalles de toiture, avec du roofing, des couvertures synthétiques, des tôles métalliques, des tuiles, des ardoises, etc.

Dans le cas des toitures plates, ce sont généralement les dalles de toiture elles-mêmes qui sont disposées en légère pente (> 5%). A défaut, on applique un béton le roofing ou les couvertures synthétiques sont soit collés, soit fixés mécaniquement aux dalles. Il faut surtout veiller à assurer un raccord parfait avec le bord de la toiture, les évacuations, les gargouilles, etc.

Il est aussi toujours possible de poser une couche supplémentaire de gravier [2].

PARTIE II:
PARTIE PRATIQUE

Chapitre V

Etude de cas pratiques

V.1 Utilisation pratique des bétons cellulaires

V.1.1 Echantillons recueillis auprès du marché couvert situé à oued zenati

V.1.1.1 Description

Marché de 20 magasins de produits divers principalement la zalabia, situé dans le centre-ville de oued zenati. La construction est du type mixte : béton armé et béton cellulaire.



Figure V.1: Situation du marché couvert

Le béton cellulaire a été utilisé sous forme de dalles dans la construction des planchers (voir photos ci-après).

V.1.1.2 Photos

Prises le 05/01/2018



Figure V.2: Dalles en béton cellulaire ceinturées par des poutres en béton armé



Figure V.3: Dalles en beton cellulaire photos agrandies

V.1.2 Echantillons recueillis auprès de l'usine de brique rouge de bordj Sabath

V.1.2.1 Description

L'usine de brique rouge Située dans la ville de bordj Sabath sur la rive de la vallée de Bouhamdane. Les murs de la construction sont du type mixte : béton cellulaire et charpente métallique.



Figure V.4: Situation de l'usine de brique rouge

V.1.2.2 Photos

Prises le 19/04/2018



Figure V.5: mur en beton cellulaire



Figure V.6: Photo agrandie du mur



Figure V.7: Séparation de 2 murs par un poteau en charpente métallique



Figure V.8: Enduits de mur



Figure V.9: Détail de la jonction mur-poteau métallique



Figure V.10: Autre photo du mur en béton cellulaire



Figure V.11: Béton cellulaire armé



Figure V.12: du béton cellulaire utilisé dans la construction du mur

V.2 Essais expérimentaux

V.2.1 Essai non destructif de résistance à la compression

Le contrôle par ultrasons est une méthode de contrôle non destructif permettant la détection de défaut à l'intérieur d'un matériau.

Les essais ont été réalisés dans le laboratoire de recherche de génie civil.



Figure V.13: Appareil d'ultrasons



Figure V.14: Appareil d'ultrasons (photo agrandie)



Figure V.15: Essai à l'ultrason au laboratoire de recherche LGCH* sur un échantillon de mur en béton cellulaire

*Laboratoire de Génie Civil et Hydraulique

Résultat de l'essai

Essai 1 :

$V=1598 \text{ m/s}$

$T=67.6 \text{ } \mu\text{s}$

Essai 2 :

$V=1602 \text{ m/s}$

$T=67.4 \text{ } \mu\text{s}$

$$V = \frac{1598+1602}{2} = 1600 \text{ m/s}$$

$$T = \frac{67.6+67.4}{2} = 67.6 \text{ } \mu\text{s}$$

Commentaire

La vitesse ultrasonique dans un béton ordinaire est comprise entre 3700 et 4200 m/s. Celle du béton cellulaire testé au laboratoire de LGCH 1600 m/s (moyenne de 2 mesures).

Cette différence importante est due à la présence des pores (cellules) dans le béton cellulaire.

V.2.2 Densité

$$d = \frac{Mv \text{ de la matière}}{Mv \text{ de l'eau}}$$

Résultat de l'essai

$Mv \text{ de l'eau} = 1000 \text{ kg/m}^3$

Mv de la matière :

$$\text{La masse volumique} = \frac{m}{v}$$

$\text{La longueur} = 123.33 \text{ mm} = 0.123 \text{ m}$

$\text{La largeur} = 108.00 \text{ mm} = 0.108 \text{ m}$

$\text{La hauteur} = 102.00 \text{ mm} = 0.102 \text{ m}$

$\text{Le volume} = 0.123 \times 0.108 \times 0.102 = 13.54 \times 10^{-4} \text{ m}^3$

$\text{La masse} = 691.76 \text{ g} = 0.69176 \text{ kg}$



Figure V.16: Masse de l'échantillon du béton cellulaire ($M = 691.76 \text{ g}$)

La masse volumique = $\frac{0.69176}{13.54 \times 10^{-4}} = 510.90 \text{ kg/ m}^3$

Donc

$$d = \frac{510.90}{1000} = 0.510$$

Commentaire

La densité obtenue par l'expérimental ($d = 0.510$) est comparable à la densité bibliographique ($d = 0.3 - 1.8$).

CONCLUSION GÉNÉRALE

Le béton est un matériau de construction formé par l'association de gravillons, de sable, de ciment et d'eau. Ce mélange est mis en œuvre, à l'état plastique, dans un moule appelé coffrage. Après durcissement, le béton se présente sous la forme d'un élément de construction monolithique très résistant. En faisant varier la nature et les proportions des composants, on obtient des bétons aux propriétés et caractéristiques très différentes.

Le béton cellulaire est une autre variété, il est constitué d'un mélange de sable, de ciment, de chaux, d'eau et de poudre d'aluminium. Cette dernière, par réaction chimique, crée dans le produit une multitude de petites bulles qui confèrent au béton cellulaire des propriétés isolantes élevées. De plus, ces microcellules allègent la masse volumique de ce béton (400 à 800 kg/m³ contre 2400 kg/m³ pour le béton ordinaire).

En étudiant ce thème, nous contribuons à la valorisation de ce matériau « béton cellulaire » en Algérie car il reste très peu connu dans le domaine de génie civil malgré le gros intérêt qu'il présente. Sa fabrication ne nécessite pas des techniques difficiles.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] **Collectif syndicat national des fabricants de béton cellulaire**, *construire en béton cellulaire*, Editeur Eyrolles 2011, page 14-15.
- [2] **Jos Cox, Albert Ingelaere, Jacques Sizaire, Pascal Meulders, Elly Van Overmeire** : *Le béton cellulaire matériau d'avenir*, Belgique, fédération Belge du béton cellulaire (FeBeCel). Année non notée sur le document.
- [3] **SAITI Issam** *Étude d'un procédé d'élaboration d'un béton léger cellulaire à base de sable d'une de la région de GHARDAIA*, Mémoire de magister, université d'Ouargla 2014, 90 pages.
- [4] http://www.ciment.wikibis.com/beton_cellulaire.php, dernière visite le 21/01/2018.
- [5] **R. BELOUETTAR J.R. KLEPACZKO, M.T. ABADLIA**, *Etude du comportement mécanique du beton cellulaire autoclave produit en Algérie*, Sciences & Technologie – N°18, Décembre (2002), pp. 49-54.
- [6] **UNTEC**, *Mémento technico-économique du béton cellulaire 2012*, syndicat national des fabricants de beton cellulaire, page 6.
- [7] **Le Pré Châtelain - Saint-Savin**, *Le système de construction en Thermo pierre*, YTONG, L'ANNUEL DES PRIX - Édition 2011, page 45.
- [8] **OULD- SAADA MANEL** : *Le béton cellulaire*. Travail dirigé par Mr A. GRINI exposé de la matière TMC :, Année 2014. Université de Constantine.
- [9] <https://calculis.net/resistance-thermique>, dernière visite le 21/01/2018
- [10] **FICHE CALCUL**, *Thermique du bâtiment, calcul des charges thermiques*, Version 001-2013, Page 1 / 6.
- [11] <https://www.xella.be/fr/docs/Fiche-Hebel-Isolation-et-performance.pdf>, dernière visite le 22/01/2018.
- [12] **B2 Caractéristiques physiques et mécaniques - Xella** 2014 pages 68-80.

[13] [https://www.xella.be/fr/kozijnen en lateien 1555.php](https://www.xella.be/fr/kozijnen_en_lateien_1555.php), dernière visite le 01/02/2018.

[14] **B5 Finitions**, les pierres angulaires d'un avenir meilleur, Xella 2014 page 204.

[15] https://fr.wikipedia.org/wiki/Contrôle_par_ultrasons, dernière visite le 05/05/2018 .

[16] **Département Génie Civil**, *TP Matériaux De Construction: analyse par Ultrasons de béton durci*, Université de Bouira 2013-2014.

[17] **AGOUMIMELCHA Ahmed, OUANNOUGHI Billal**, *Formulation et caractérisation d'un béton léger à base de granulats obtenus par recyclage des boues de barrage*, Mémoire de master, universite de m'hamed bougara – boumerdes 2017, 82 page.