

## 4. Caractéristiques physiques et mécaniques

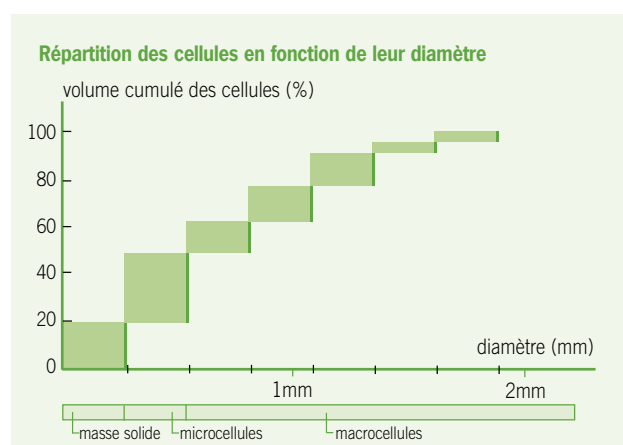
### 4.1 Aspect et structure

C'est la présence de nombreuses cellules minuscules qui détermine la structure du béton cellulaire.

Il est fabriqué en différentes masses volumiques pouvant varier entre 350 et 650 kg/m<sup>3</sup> (béton ordinaire : 2400 kg/m<sup>3</sup>).

Les cellules occupent 80% du volume total.

On distingue deux sortes de cellules : les macrocellules (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.



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

- Macrocellules 50%
- Microcellules capillaires réparties dans la masse solide 30%

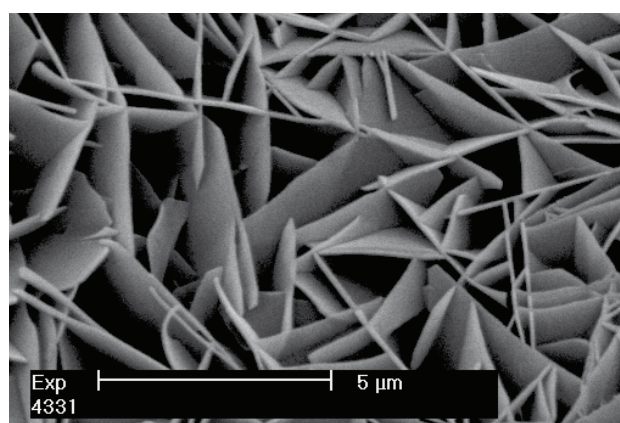
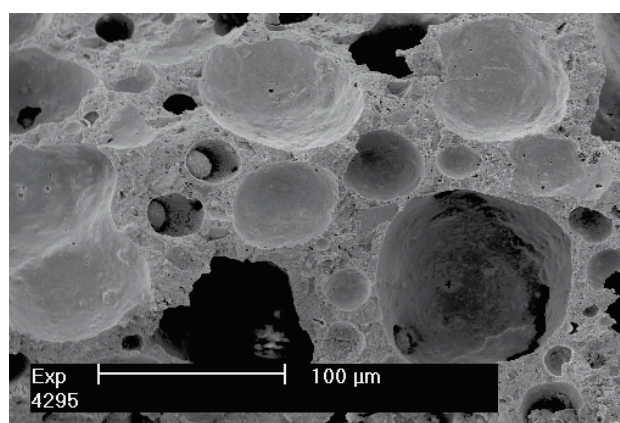
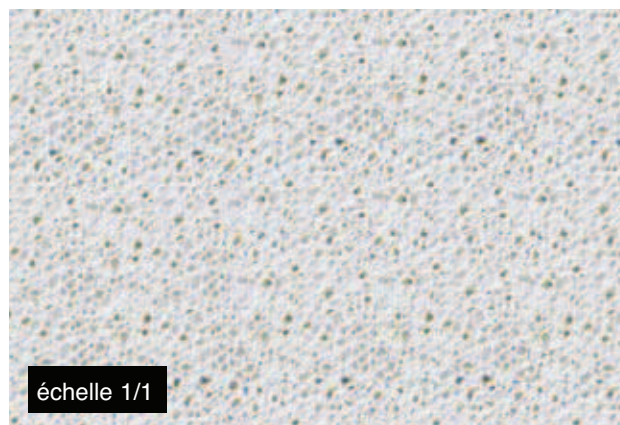
Au total le volume d'air représente donc 80% du volume du béton cellulaire, tandis que la masse solide est de 20%.

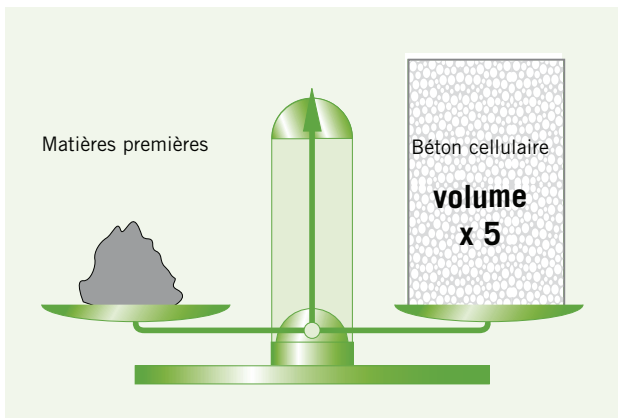
1 m<sup>3</sup> de matières premières permet donc de produire 5 m<sup>3</sup> de matériau de maçonnerie en béton cellulaire.

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

A titre d'information, la surface des cellules dans 1 kg de béton cellulaire est de 20 m<sup>2</sup>.

Reportée au m<sup>3</sup>, elle est de +/- 10.000 m<sup>2</sup>.





Il est extrêmement important que les cellules soient petites, sphériques et réparties de façon très homogène dans la masse. Les grandes cellules affaiblissent la résistance car le transfert des contraintes se réalise au travers des parois des cellules. Au plus grandes elles sont, au plus grande est la concentration des contraintes dans les parois. Ceci contrairement à ce qui se passe dans un béton ordinaire où le transfert des efforts se fait au travers des granulats, le ciment servant de liant entre les agrégats.

En adaptant minutieusement la recette de fabrication, on peut modifier le diamètre et le nombre de cellules (toujours fermées) et adapter la masse volumique (de 350 à 650 kg/m<sup>3</sup>)



## 4.2 Masse volumique sèche apparente

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),

classifient qualitativement le béton cellulaire en catégories en fonction de leur masse volumique sèche apparente (classe  $\rho$ ) et de leur résistance à la compression (classe  $f$ ).

Résistance moyenne à la compression ( $f_{bm}$ )

Classe $\rho$	Critères
$\rho$ 400	$350 \text{ kg/m}^3 \leq \rho < 400 \text{ kg/m}^3$
$\rho$ 450	$400 \text{ kg/m}^3 \leq \rho < 450 \text{ kg/m}^3$
$\rho$ 550	$500 \text{ kg/m}^3 \leq \rho < 550 \text{ kg/m}^3$
$\rho$ 650	$600 \text{ kg/m}^3 \leq \rho < 650 \text{ kg/m}^3$

Classe $f$	( $\text{N/mm}^2$ )
f2	$f_{bm} \geq 2$
f3	$f_{bm} \geq 3$
f4	$f_{bm} \geq 4$
f5	$f_{bm} \geq 5$

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

Actuellement, les catégories qualitatives les plus courantes présentes sur le marché belge sont les suivantes :

Catégories blocs :

Désignation	Classe $f$ ( $\text{N/mm}^2$ )	Classe $\rho$
C2/400	2	$\rho$ 400
C3/450	3	$\rho$ 450
C4/550	4	$\rho$ 550
C5/650	5	$\rho$ 650

Catégories éléments armés :

Désignation	Classe $f$ ( $\text{N/mm}^2$ )	Classe $\rho$ ( $\text{kg/m}^3$ )
CC3/500	3	$400 \leq \rho < 500$
CC4/600	4	$500 \leq \rho < 600$

Sur demande, d'autres catégories peuvent être produites par les fabricants.



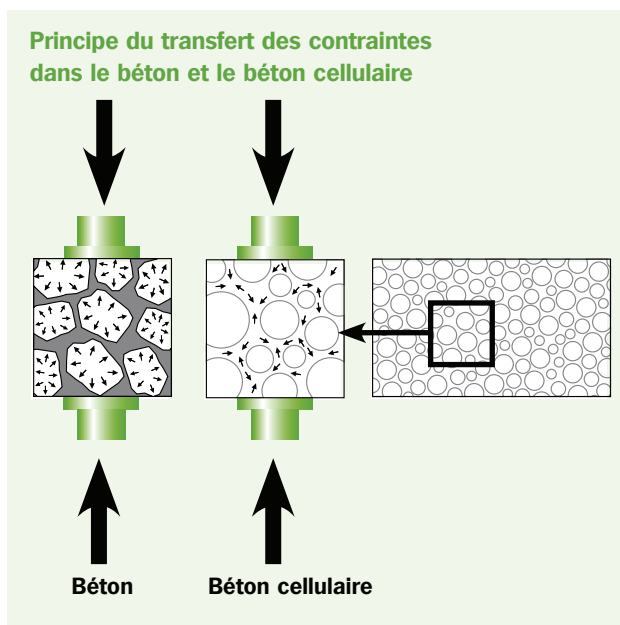
### 4.3 Résistance à la compression

La résistance à la compression augmente en fonction de la masse volumique du béton cellulaire comme en attestent les tableaux extraits des normes belges PTV 21-002 et NBN B 21-004 repris au § 4.2.

Lors du calcul d'un mur, il y a lieu de tenir compte de la résistance supérieure des maçonneries à joints collés (ce qui est le cas en béton cellulaire) par rapport à celles maçonneries à joints de mortier.

De façon générale, les maçonneries en blocs de béton cellulaire collés de type C4/550 permettent la construction de bâtiments jusqu' à 5 niveaux.

Pour des performances supérieures, un type de densité plus élevée peut être préconisé par la firme productrice de béton cellulaire ou prescrit par le maître d'œuvre, après calcul et suivant la norme "maçonnerie" NBN B 24-301 ou NBN EN 1996-1-1 (voir § 4.9.2).



### 4.4 Résistance à la traction par flexion

Tous les bétons sont nettement moins performants en traction qu'en compression. A défaut de données expérimentales, il y a lieu de prendre en considération les chiffres suivants :

Pour le béton cellulaire, la résistance caractéristique à la traction pure représente 12% de la résistance en compression. ( $f_{ctk} = 0,12 f_{ck}$ )

La résistance caractéristique à la traction par flexion est de 22% de la résistance en compression :

$f_{ctfk} = 0,22 f_{ck}$  (NBN EN 12602).

Valeurs caractéristiques de la résistance à la traction par flexion

Classe	$f_{ctfk}$
f2	0,44 N/mm <sup>2</sup>
f3	0,66 N/mm <sup>2</sup>
f4	0,88 N/mm <sup>2</sup>
f5	1,10 N/mm <sup>2</sup>



#### 4.5 Résistance au cisaillement

Les valeurs à prendre en compte pour la résistance au cisaillement du béton cellulaire, sont les suivantes [24] :

Catégorie	$\tau$
CC3/500	0,07 N/mm <sup>2</sup>
CC4/600	0,10 N/mm <sup>2</sup>

#### 4.6 Module d'élasticité (Valeur E)

"E" s'exprime en N/mm<sup>2</sup>. Il est équivalent au quotient de la contrainte agissant sur un corps, par la déformation obtenue.

A défaut de valeurs expérimentales, il y a lieu de calculer la valeur E suivant la norme NBN B 21-004 et NBN EN 12602

$$E_c = 5 (\rho_{\text{sec}} - 150) \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

avec

$$\rho_{\text{sec}} = \text{masse volumique sèche en kg/m}^3$$

Catégorie	$E_c$
CC3/500	1750 N/mm <sup>2</sup>
CC4/600	2250 N/mm <sup>2</sup>

L'autoclavage des produits en béton cellulaire permet d'obtenir un fluage moindre que celui du béton ordinaire.

Le coefficient de fluage ( $\phi$ ) du béton cellulaire est de 0,3. [24]

La flèche, sous surcharge permanente, est calculée en introduisant le module d'élasticité à long terme  $E_{c^{\infty}}$

$$E_{c^{\infty}} = \frac{E_c}{1 + \phi} = \frac{E_c}{1,3}$$



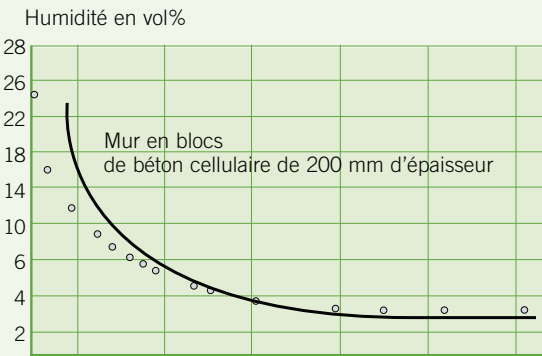
**4.7 Comportement dans le temps**

**4.7.1 Séchage du béton cellulaire**

A la sortie de l'autoclave, la teneur en humidité du béton cellulaire est de +/- 23% en volume.

Comme l'indique le graphique ci-dessous, la majorité de l'humidité présente a disparu après 3 mois lorsque la construction en est encore au stade du gros œuvre.

**Courbe de séchage des blocs en béton cellulaire à température ambiante intérieure [24]**

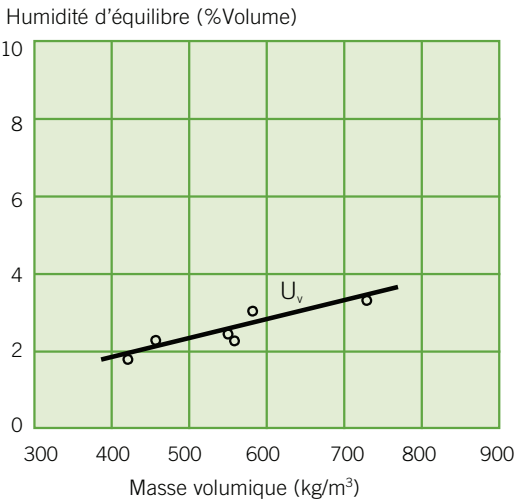


Dans la pratique, compte tenu de l'eau apportée par la mise en œuvre et les finitions, ainsi que par les intempéries en cours de chantier, le taux d'équilibre de 2.5% en volume des maçonneries en béton cellulaire de masse volumique 450 kg/m<sup>3</sup> est atteint après 12 à 24 mois d'occupation du bâtiment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

**Teneur en humidité d'équilibre (en volume) en fonction de la masse volumique [22]**

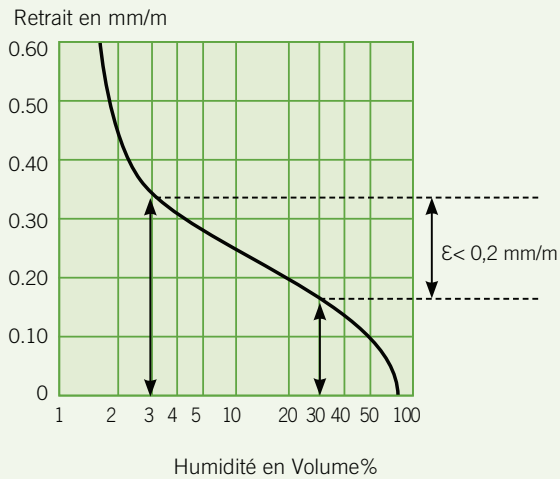


L'eau résiduelle dans le béton cellulaire se retrouve sous diverses formes :

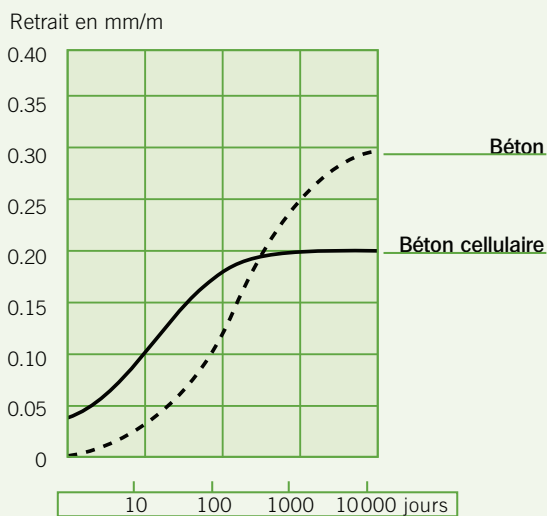
- d'eau liée chimiquement (cristaux)
- d'eau gélifiée dans les micropores et comme eau libre
- dans l'air des capillaires et les macropores.

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.

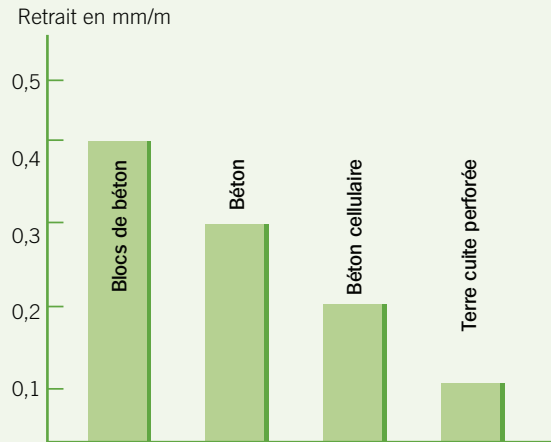
#### Retrait dû au séchage pour le béton cellulaire [17]



#### Retrait dans le temps



#### Comparaison de retrait dû au séchage pour différents matériaux



#### 4.7.2 Retrait dû au durcissement

Le durcissement du béton cellulaire 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.

#### 4.7.3 Dilatation thermique

Le coefficient de dilatation linéaire d'un matériau est la variation de longueur d'un élément de 1m par 1K de variation de température.

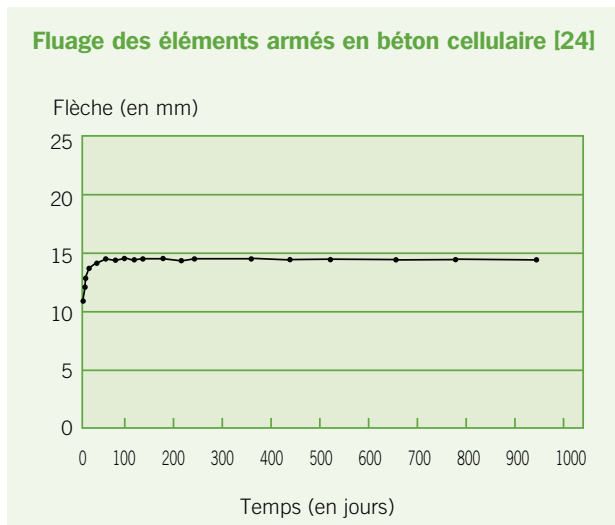
Pour le béton cellulaire, ce coefficient de dilatation est de :  $8 \cdot 10^{-6}$  m/mK

A titre comparatif, voici le coefficient de dilatation linéaire de différents matériaux de maçonnerie (en m/mK) :

- brique  $5 \cdot 10^{-6}$  m/mK
- blocs silico-calcaires  $9 \cdot 10^{-6}$  m/mK
- granit  $5 \cdot 10^{-6}$  m/mK
- béton  $10 \cdot 10^{-6}$  m/mK
- béton cellulaire  $8 \cdot 10^{-6}$  m/mK

#### 4.7.4 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 âge. La relation âge/flèche fait l'objet du tableau ci-dessous.



#### 4.7.5 Diffusion de vapeur

La diffusion de vapeur au travers d'une paroi poreuse est provoquée par la différence de pression de vapeur entre les 2 côtés de cette paroi.

Cette différence de pression n'a aucune action mécanique mais permet la diffusion de vapeur dans la direction de la chute de pression.

Tout matériau de construction oppose une certaine résistance à cette diffusion dénommée "coefficient de résistance à la diffusion de vapeur" de valeur  $\mu$ .

La valeur  $\mu$  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 à celle d'une couche d'air de la même épaisseur.

Pour le béton cellulaire la valeur  $\mu$  varie entre 5 et 10 en fonction de sa masse volumique. Celle d'un matériau étanche est infinie ( $\infty$ ).

Exemples de matériaux (valeurs EN 12524) :

• air	$\mu = 1$
• béton cellulaire	
C2/400	$\mu = 5$
C3/450, CC3/500	$\mu = 6$
C4/550, CC4/600	$\mu = 7$
• terre cuite	$\mu = 20$
• bois	$\mu = 50 \text{ à } 200$
• béton	$\mu = 100 \text{ à } 130$
• béton armé	$\mu = 130$
• isolant synthétique	$\mu = 20 \text{ à } 300$
• polystyrène extrudé	$\mu = 150$
• asphalte	$\mu = 50.000$
• PVC	$\mu = 20.000$
• verre	$\mu = \infty$
• couverture métallique	$\mu = \infty$

Plus petite est la valeur  $\mu$ , meilleure est la diffusion de vapeur d'eau. Elle s'évacue donc plus rapidement. Le béton cellulaire étant un matériau à valeur  $\mu$  très basse, on dit de lui qu'il "respire".

#### 4.7.6 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. Grâce à son alcalinité élevée, le béton cellulaire résiste aux pluies acides. Seuls quelques mm peuvent être légèrement altérés.



#### 4.7.7 Absorption d'eau

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

$$m(t) = A \cdot \sqrt{t_w}$$

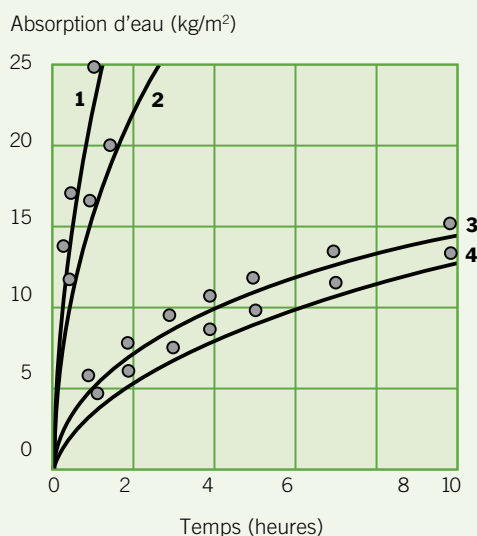
$m(t)$  = eau absorbée par unité de surface (kg/m<sup>2</sup>)  
pour une période  $t$

$A$  = coefficient d'absorption d'eau (kg/(m<sup>2</sup>.s<sup>0.5</sup>))

$t_w$  = temps en contact avec l'eau (secondes)

La valeur  $A$  du béton cellulaire varie entre  $70.10^{-3}$  et  $130.10^{-3}$  kg/(m<sup>2</sup>.s<sup>0.5</sup>). 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.

Absorption capillaire pour différents matériaux [12]



- 1. Plâtre 1390 kg/m<sup>3</sup>
- 2. Brique pleine 1730 kg/m<sup>3</sup>
- 3. Béton cellulaire 600 kg/m<sup>3</sup>
- 4. Silico-calcaire 1770 kg/m<sup>3</sup>

#### 4.7.8 Résistance au gel et dégel

En général, les cycles gel et dégel ne causent pas de dégâts au béton cellulaire. Uniquement pour quelques constructions spéciales, des précautions doivent être prises, par exemple, la construction de chambres froides. En général, les matériaux poreux ne résistent pas au gel au-dessus d'une teneur en humidité critique. Ceci est le cas tant pour le béton lourd que pour le béton cellulaire. Le seuil d'humidité critique pour un béton cellulaire, type C4 n'est atteint qu'au taux de 45% du volume.

En principe, ce taux n'est jamais atteint sur chantier. Peu après l'occupation de la construction, le taux se stabilise entre 2 et 4% d'humidité en volume. Dans le cas où les murs extérieurs en béton cellulaire ne seraient pas protégés ou traités, ce taux peut atteindre 10%. Si le traitement des surfaces extérieures est souhaitable pour éviter une absorption d'eau en surface diminuant ainsi le pouvoir isolant thermique du béton cellulaire, il est indispensable que la couche de protection soit perméable à la vapeur d'eau. Si la couche de protection est imperméable à la vapeur d'eau, celle-ci se condense à la partie la plus extérieure du mur. Dans ce cas, elle peut atteindre la saturation et ainsi dépasser le taux d'humidité critique avec, comme conséquence, des dégâts dus au gel. Ce principe est valable pour la plupart des matériaux. Pour qu'un revêtement soit perméable à la vapeur d'eau, il doit répondre aux **critères de Kunzel**, à savoir :

Coefficient d'absorption d'eau :

$$A \leq 0,5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0,5})$$

Résistance à la diffusion de vapeur d'eau :

$$S_d \leq 2 \text{ m}$$

où  $S_d = \mu \cdot d$ , soit le coefficient de résistance à la diffusion de la vapeur d'eau multiplié par l'épaisseur. Le produit de ces deux paramètres est soumis à l'exigence suivante :

$$A \cdot S_d \leq 0,2 \text{ kg}/(\text{m} \cdot \text{h}^{0,5})$$