

# Produits silico-calcaires

par **Michel VÉNUAT**

*Ingénieur de l'École Spéciale des Travaux Publics  
Docteur ès Sciences. Ingénieur Européen  
Professeur  
Expert National agréé par la Cour de Cassation*

<b>1. Développement.....</b>	<b>C 945 - 2</b>
1.1 Silico-calcaires denses .....	— 2
1.2 Silico-calcaires légers.....	— 2
1.3 Fibres-ciment-silice.....	— 2
<b>2. Fabrication .....</b>	<b>— 2</b>
2.1 Silico-calcaires denses .....	— 2
2.2 Silico-calcaires légers.....	— 3
2.3 Fibres-ciment-silice.....	— 3
<b>3. Propriétés principales et utilisations .....</b>	<b>— 3</b>
3.1 Silico-calcaires denses .....	— 3
3.2 Silico-calcaires légers.....	— 4
3.3 Fibres-ciment-silice.....	— 4
<b>Pour en savoir plus.....</b>	<b>Doc. C 945</b>

**L**es produits silico-calcaires sont essentiellement formés d'un mélange de matériaux siliceux finement broyés et de chaux hydratée  $Ca(OH)_2$  appelée **chaux grasse** (ou de ciment portland) soumis généralement à un traitement à l'autoclave. Deux catégories de produits sont fabriqués et utilisés comme matériaux de construction :

- les silico-calcaires denses ;
- les silico-calcaires légers.

On peut ajouter une troisième catégorie constituée par les fibres-ciment-silice.

## 1. Développement

### 1.1 Silico-calcaires denses

Le mélange de silice et de chaux ne constitue généralement pas un liant hydraulique à la température ambiante (la combinaison n'a lieu que si la silice est vitreuse et pouzzolanique) ; mais il n'en est pas de même en présence de vapeur d'eau sous pression.

Dans les pays producteurs, surtout en Russie et en Allemagne, on s'oriente vers des matériaux de plus grandes dimensions que la brique standard, pouvant être armés, et analogues aux éléments de béton préfabriqués ou de briques et blocs de terre cuite.

Il existe en Allemagne environ 130 usines, surtout localisées dans l'ouest du pays.

### 1.2 Silico-calcaires légers

Les silico-calcaires légers sont fabriqués à partir des mêmes matériaux que les silico-calcaires denses, mais avec ajout d'un constituant produisant des vides artificiels fermés, sous forme de bulles gazeuses obtenues par réaction chimique. Ils appartiennent à la classe des matériaux appelés improprement *béton cellulaire* ou *béton gaz*.

Les premiers brevets datent de 1890, mais on considère souvent le Suédois J. A. Eriksson comme le père de ces produits ; ses brevets datent de 1923 et il utilisa en 1929 le traitement à l'autoclave. Ces produits furent d'abord commercialisés en Suède en 1924 (Skovde, Gasbeton, Ytong, Durox), au Danemark en 1928 (Celcon, Siporex), en URSS en 1930. C'est dans ce dernier pays que l'on pensa, dès 1938, à renforcer les silico-calcaires légers grâce à des armatures d'acier (essais effectués par Kudrias Hoff).

Les principaux producteurs sont la Russie, le Japon, l'Allemagne, la Grande-Bretagne. La production française annuelle de béton cellulaire est de l'ordre de 600 000 m<sup>3</sup> avec 6 usines (1994).

### 1.3 Fibres-ciment-silice

Le fibres-ciment-silice est un matériau composite formé d'un mélange de pâte pure de ciment, parfois additionnée de silice, broyé et renforcé par des fibres minérales. Le fibres-ciment-silice est traité après durcissement en autoclave à la vapeur d'eau sous pression.

Le principe de fabrication, de très loin le plus répandu actuellement, s'apparente à celui du carton. Il a été breveté par l'Autrichien Hatschek vers 1900.

En dix ans apparaissent successivement les ardoises, les plaques planes, puis les plaques ondulées, les moussages et enfin les tuyaux.

#### Historique

Les premiers brevets, qui furent pris en 1880 par l'Allemand Michaelis, en 1886 par l'Anglais Van Derburgh, étaient relatifs à la fabrication de briques silico-calcaires obtenues par un mélange soigneusement dosé de chaux et de silice, broyé puis moulé par pression et traité à la vapeur. La première application industrielle a été faite en Allemagne vers 1894. Les pays qui ont les plus fortes productions de produits silico-calcaires denses sont : la Russie, l'Allemagne, les Pays-Bas, la Grande-Bretagne. En France, les premières usines furent construites vers 1900 ; on en comptait une vingtaine en 1920. Actuellement, la production est arrêtée depuis longtemps.

Le fibres-ciment est mentionné dans les produits silico-calcaires, parce qu'il est parfois autoclavé lorsque la matrice contient de la silice, comme c'est le cas pour les tuyaux (États-Unis, Mexique) ou pour certains produits spéciaux (plaques planes légères, isolantes ou à hautes résistances mécaniques).

Dans certains pays, on fabrique des produits légers en fibres-ciment-silice par incorporation de charges minérales légères réfractaires dans le mélange de ciment, de silice broyée et d'amiante.

## 2. Fabrication

### 2.1 Silico-calcaires denses

Les matériaux suivants sont utilisés :

— **sable** propre de 0/5 mm dont une certaine partie (5 à 10 %) peut être broyée à une finesse de l'ordre de 1 000 à 2 000 cm<sup>2</sup>/g (finesse Blaine) ;

— **chaux vive** CaO. Les rapports seront les suivants (en masse) :

- sables fins : 12,
- chaux vive CaO : 1 ;

— **eau** : de l'ordre de 4 à 8 % de la masse des matières sèches ;

— **colorants** (éventuellement) : pigments constitués par des oxydes métalliques.

Le mélange chaux vive + sable + eau est homogénéisé, puis passe dans des réacteurs.

L'homogénéisation de ces matériaux doit être parfaite afin d'obtenir des produits de résistances analogues.

Généralement, des mélangeurs continus alimentent d'une façon régulière les presses. Celles-ci sont souvent constituées par des tables tournantes munies d'alvéoles prismatiques. La matière est comprimée, ou comprimée-vibrée, suivant les modèles de presse, sous des pressions variant de 15 à 45 MPa, exceptionnellement 60 MPa. La résistance mécanique et la masse volumique sont fonction de la pression de moulage. Après démolage, les produits sont traités dans des autoclaves dont les diamètres varient de 2,5 à 4 m et les longueurs de 25 à 40 m. Le traitement dure de 6 à 14 h et la pression varie de 0,8 à 1,2 MPa (à 170 - 190 °C environ).

On fabrique, le plus souvent, des briques pleines ou perforées (les presses les plus modernes ont une capacité de production de près de 10 000 briques par heure), mais on peut également fabriquer des éléments de plus grandes dimensions.

Par exemple, en Allemagne, à côté des briques de format standard 7 × 11 × 24 cm (largeur × longueur × épaisseur), se fabriquent :

- des blocs pleins ou creux (avec 1 ou 2 trous verticaux) de 11 à 30 cm d'épaisseur, souvent de 25 × 50 cm ;
- des panneaux (avec 2 trous verticaux), également de 11 à 30 cm d'épaisseur et de 50 × 100 cm.

Ces éléments servent à la construction de cloisons et de murs de différentes épaisseurs. Il existe des éléments spéciaux (briques d'angle, de couronnement...).

Ils sont souvent de teinte claire (blanc), l'aspect extérieur pouvant être variable (plan, à relief, ou aspect pierre cassée).

Ces blocs et panneaux sont montés avec des mortiers spéciaux ou des mortiers-colles.

On importe en France des produits allemands. Ils sont conformes à la norme allemande DIN 106. La **désignation** est la suivante :

- référence à la norme ;
- désignation du produit ;
- classe de résistance en N/mm<sup>2</sup> (de 6 à 28 et exceptionnellement 36, 40 et 60) ;
- densité ;
- format ;
- épaisseur du mur à réaliser.

### Exemple de dénomination

Din 106 – KSL – R – 12 1,2 12 DF 240

Les abréviations données dans les DIN allemandes (normes), afin de caractériser les éléments, sont les suivantes :

- KS : Kalksandsteine
- L : Lochsteine (éléments avec des trous)
- R : Ratio
- D : Dünnmortel (mortier allégé)
- F : Format

## 2.2 Silico-calcaires légers

Ces matériaux sont obtenus par traitement à l'autoclave d'un mélange de sable siliceux (60 à 65 %), de chaux et de ciment (35 à 40 % pour l'ensemble), une multitude de petites cellules étant créées dans le béton par dégagement gazeux résultant de l'addition, au moment du gâchage, de poudre d'aluminium.

La fabrication comporte les phases successives suivantes :

- broyage du sable, au broyeur à boulets par voie humide (cf. rubrique *Fragmentation* dans le traité Génie des procédés) ;
- addition, à la boue obtenue, de la chaux, du ciment et des boues de recyclage, incorporation de la poudre d'aluminium et malaxage du mélange ;
- mise en place, dans les moules, des armatures protégées contre la corrosion par trempage dans un bain spécial, composé de ciment + eau + adjuvants (comme des résines à base de latex synthétique) (dalles armées pour toitures, planchers, murs et linteaux) ;
- coulage de la pâte dans les moules ;
- levée de la pâte et durcissement dans les moules ;
- découpage des éléments au fil ;
- autoclavage à 180 °C pendant 10 h environ ;
- conditionnement sur palettes pour les blocs, ou en paquets pour les dalles armées ;
- stockage.

## 2.3 Fibres-ciment-silice

La fabrication du fibres-ciment-silice est assez analogue à celle du carton. Les constituants sont les suivants.

■ **Fibres** : ces fibres peuvent être organiques (cellulose par exemple) ou minérales (verres, amiante surtout).

Trois amiantes sont employés industriellement :

- le *chrysotile* (silicate de magnésium hydraté) extrait surtout de roches ultrabasiques (serpentine) ; la fibre élémentaire est un tube de 0,02 µm de diamètre ;
- la *crocidolite* (silicate de sodium et de fer hydraté) appelée aussi amiante bleu ; la fibre élémentaire est un ruban de 0,02 µm de largeur ;
- l'*amosite* (silicate de fer et de magnésium hydraté).

La résistance à la traction de ces fibres d'amiante est de l'ordre de 2 500 à 3 500 MPa.

■ **Matrice** : le plus souvent, il s'agit de ciment portland de finesse modérée (2 800 à 3 000 cm<sup>2</sup>/g) de façon à éviter le bouchage du feutre et présentant une faible teneur en gypse et alcalis (du fait du recyclage de l'eau lors de la fabrication).

Lorsque les produits sont autoclavés, la matrice est constituée de silice (sable broyé, diatomite), de ciment et/ou de chaux grasse selon les caractéristiques recherchées.

■ **Colorants** (éventuellement) : après défibrage de l'amiante (broyeurs à meules, désintégrateurs), les fibres sont mélangées au ciment (à raison de 10 à 15 % en masse).

Habituellement (procédé Hatschek pour les plaques, procédé Mazza pour les tuyaux), la pâte très diluée (30 à 100 g/L) est envoyée dans une ou plusieurs cuves.

Dans chaque cuve tourne un tamis cylindrique d'environ 1 m de diamètre sur lequel se dépose une mince pellicule de ciment, de fibres et d'eau sous l'influence de la pression hydrostatique. Cette pellicule est transférée sur une bande sans fin appelée feutre, sur laquelle elle est essorée. Elle s'enroule ensuite sur un cylindre en fonte ou en acier jusqu'à ce que l'épaisseur désirée soit atteinte.

Dans le cas de la fabrication de plaques ou de pièces moulées, la plaque fraîche obtenue par découpe le long d'une génératrice est moulée sur une plaque en acier dont elle épouse la forme. Elle restera au contact de celle-ci durant les premières heures de durcissement.

Dans le cas des tuyaux, le cylindre, appelé alors mandrin, est retiré transversalement.

Les premières heures de durcissement peuvent se dérouler à température ambiante, en étuve (50 à 80 °C), ou en autoclave (150 à 175 °C).

De nombreux traitements de surface existent : coloration, anti-corrosion, émaillage au four.

## 3. Propriétés principales et utilisations

### 3.1 Silico-calcaires denses

Les briques silico-calcaires ont des résistances mécaniques en compression qui s'échelonnent entre 6 et 60 MPa. Leur masse volumique varie de 600 à 2 200 kg/m<sup>3</sup>. Leur conductivité thermique est de l'ordre de celle des matériaux usuels denses : béton, briques d'argile. Cette conductivité s'étend de 1,16 à 1,63 W/(m · K) pour des masses volumiques classiques de 1 700 à 2 100 kg/m<sup>3</sup>.

Lorsque la résistance en compression est supérieure à 200 MPa, les briques ont en général un très bon comportement au gel. Elles résistent bien à des températures pouvant atteindre 550 °C. Ces briques sont utilisées pour les travaux du bâtiment, comme matériaux de remplissage ou de parement (leur surface rugueuse facilite l'accrochage et l'adhérence du mortier). On peut s'en servir pour la construction des cheminées. Par suite du traitement subi, elles sont stables et gardent des faces rectilignes et des dimensions inchangées. Elles peuvent être de couleur blanche ou colorées, ce qui en fait un matériau de choix pour le revêtement des façades.

Il n'existe plus de normes AFNOR sur les briques silico-calcaires (on pourra se reporter aux normes actuelles allemandes DIN 106).

**Remarque** : il est possible d'obtenir en laboratoire, grâce à l'utilisation d'une silice très fine, d'un rapport optimal chaux/silice déterminé par des essais préalables et d'une forte pression de moulage (40 à 60 MPa), des briques d'une masse volumique de 2 100 kg/m<sup>3</sup> et d'une résistance en compression de 250 MPa. Mais ces super-produits reviennent deux fois plus cher que les autres et, industriellement, on arrive à une série de compromis afin de fabriquer le meilleur produit à un prix raisonnable.

## 3.2 Silico-calcaires légers

Les silico-calcaires légers ont en général des masses volumiques variant de 300 à 800 kg/m<sup>3</sup> et des résistances caractéristiques à la compression comprises entre 1,5 et 7 MPa ; masse volumique, résistance mécanique et conductivité thermique sont étroitement liées. Plus les produits sont légers, plus ils sont isolants mais plus les résistances mécaniques sont faibles.

Pour une masse volumique de 300 kg/m<sup>3</sup> la conductivité thermique du matériau sec est de l'ordre de 0,08 W/(m · K).

La conductivité thermique utile est supérieure aux valeurs ci-avant. Elle est définie :

- par le Comité thermique de l'Avis technique pour un taux d'humidité utile de 4 % en masse, pour les produits certifiés ;
- dans la norme P 50-702, compte tenu d'un taux d'humidité utile de 3 % en volume, pour les produits non certifiés, d'une masse volumique nominale comprise entre 400 et 800 kg/m<sup>3</sup>.

Ces matériaux sont appréciés aussi bien en hiver, dans les locaux à chauffage continu, qu'en été, dans les locaux conditionnés ou non. En effet, les parois d'épaisseurs courantes (comprises entre 20 et 37,5 cm) déterminent un coefficient d'amortissement et un retard de transmission des ondes de chaleur importants. Ces produits présentent par ailleurs l'avantage de pouvoir se travailler comme le bois, ils sont clouables et sciabiles. Ils permettent une réduction de masse importante, de 2 000 kg par m<sup>3</sup> pour le béton de granulats courants à 400 kg par m<sup>3</sup> pour les blocs de béton cellulaire courants. Cela entraîne une économie sur les éléments porteurs et sur les frais de manutention. On utilise ces matériaux sous forme de blocs de grandes dimensions pour maçonneries montées à joints minces au mortier collé, de dalles armées pour toitures, planchers, murs et linteaux.

Les blocs en béton cellulaire autoclavé font l'objet de la norme NF P 14-306. La conception des murs en maçonnerie est effectuée conformément aux spécifications du DTU 20.1 et la mise en œuvre conformément aux Avis techniques correspondant aux unités de production (six usines en France).

La conception et la mise en œuvre des dalles armées pour toitures, planchers et murs sont effectuées conformément aux spécifications de la norme P 10-202.

## 3.3 Fibres-ciment-silice

Les principales propriétés du fibres-ciment-silice autoclavé sont sa résistance moyenne à la flexion de 18 à 40 MPa (suivant les types de produit) et sa stabilité dimensionnelle. Sa masse volumique varie de 1 600 à 1 800 kg/m<sup>3</sup> (600 pour les produits isolants, 2 000 pour les tuyaux et les plaques planes comprimées).

La conductivité thermique varie de 0,45 à 0,90 W/(m · K) suivant la masse volumique.

Ces propriétés permettent de réaliser des éléments à la fois légers, minces, résistants, imperméables, pouvant être sciés ou cloués.

Le fibres-ciment est imputrescible, résiste bien aux agents atmosphériques. Il est incombustible. Il fond vers 1 500 °C.

On fabrique surtout des plaques de 6 à 12 mm d'épaisseur qui servent de parement intérieur ou extérieur, de revêtements pour constituer des bardages simples ou composés (avec une âme intérieure constituée de panneaux d'isolation thermique en laine minérale ou en polystyrène expansé).

# Produits silico-calcaires

par **Michel VÉNUAT**

Ingénieur de l'École Spéciale des Travaux Publics  
Docteur ès Sciences. Ingénieur Européen  
Professeur  
Expert National agréé par la Cour de Cassation

## Bibliographie

### Ouvrages

#### En français

- ANSTETT (F.). – *La brique silico-calcaire*. Circulaire Série M, n° 13, ITBTP, 20 mai 1944.
- HUGONNET (H.). – *L'amiante-ciment*. Techn. Architecture (F), n° 1-2 (1948).
- LEVY (J.P.). – *Les bétons légers*. Eyrolles (1955).
- MIRONOV (S.A.) et MALININA (P.A.). – *Le traitement du béton à l'autoclave*. 128 p., 14 x 22, 56 fig. traduit du russe par GLASSER (L.), Dunod (1962).
- VÉNUAT (M.). – *Les matériaux de construction silico-calcaires autoclavés*. Rev. Matériaux Construction (F), n° 604, janv. 1966.  
— *Les bétons spéciaux*. Notice E/18/fFédération de l'Industrie Cimentière (B) (1964).  
— *Les matériaux de construction silico-calcaires autoclavés*. Symposium International Londres Soc. Chemical Industry, mai 1965.  
— *Congrès International du Béton Léger*. Londres Brooks CCA Wexham Springs Slough-Buck, mai 1968.
- CORMON (P.). – *Bétons légers d'aujourd'hui*. Eyrolles (1973).

*Le fibres-ciment. Notions techniques*. Syndicat de l'Amiante-Ciment, mai 1980.

#### En allemand

- HÜHNERBERG (K.). – *Das Asbestzement Druckrohr*. Springer Verlag (1963).
- KLOS (H.). – *Asbestzement Technologie und Projektierung*. Springer Verlag (1967).
- RUDNAI (G.). – *Leichtbeton. Baukonstruktionen*. Akadomiai Kiado Kultura (1965).
- GUNDLACH (H.) et OHNEMULLER (W.). – *Untersuchungen über die Beeinflussung der Festigkeit dampfgehärteter Kallsilikat-Erzeugnisse*. Tonindustrie Ztg, août 1967.
- KÜNZEL (H.). – *Gasbeton Wärme- und Feuchtigkeitsverhalten*. Bauverlag GmbH (1971).

#### En anglais

- BESSEY (G.E.). – *Hydrated calcium silicate products other than hydraulic cements*. Dans : TAYLOR (H.F.W.) – *The chemistry of cements*. Vol. 2, chap. 16, Academic Press Londres (1964).

*The world development and economic significance of the aerated concrete industry*. International Congress on Lightweight Concrete Session C CCA Wexham Springs Slough-Buck, Londres mai 1968.

*International Symposium on autoclaved calcium silicate building products*. Soc. Chemical Industry, Londres mai 1965.

*International Congress on Lightweight Concrete*. CCA Wexham Springs Slough-Buck, Londres mai 1968.

*CEB manual of autoclaved aerated concrete design and technology*. The Construction Press Lancaster, Londres, New York (1978).

WITTMANN (F.H.). – *Autoclaved aerated concrete. Properties, design and testing*. RILEM, oct. 1992.

### Revues

#### France

*Revue des Matériaux de Construction et des Travaux Publics* (m)

#### Belgique

*Silicates Industriels* (m)

## Normalisation

### France

#### AFNOR Association Française de Normalisation

##### Silico-calcaires légers

- NF P 14-306 2.86 Blocs en béton cellulaire autoclavé pour murs et cloisons.
- DTU P 50-702 11.77 Règles Th K 77. Règles de calcul des caractéristiques thermiques utiles des parois de construction (et mises à jour).
- DTU P 10-202 9.85 DTU 20.1 Parois et murs en maçonnerie de petits éléments.

##### Fibres-ciment-silice

- DTU P 33-202 11.85 DTU 40-12. Couverture en ardoises d'amiante-ciment.

DTU P 33-201 5.92 DTU 40-31. Couverture en plaques ondulées en amiante-ciment.

### Allemagne

#### DIN Deutsches Institut für Normung e.V

- DIN 106 9.80 Teil 1. Kalksandsteine ; Vollsteine, Lochsteine, Blocksteine, Hohlblocksteine.  
Sandlime bricks and blocks ; solid bricks, perforated bricks, solid blocks, hollow blocks.
- 11.80 Teil 2. Kalksandsteine ; Vormauersteine und Verblender.  
Sandlime bricks and blocks ; facing bricks and hard-burnt facing bricks.

## Organismes

ATILH Association Technique de l'Industrie des Liants Hydrauliques  
CEBTP Centre Expérimental de Recherches et d'Études du Bâtiment et des Travaux Publics

CERIB Centre d'Études et de Recherches de l'Industrie du Béton Manufacturé  
CSTB Centre Scientifique et Technique du Bâtiment