



HAL
open science

Les briques de verre

Gilles Zanolin

► **To cite this version:**

| Gilles Zanolin. Les briques de verre. Matériaux. 2003. dumas-01258488

HAL Id: dumas-01258488

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01258488>

Submitted on 19 Jan 2016

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

MEMOIRE DE 3eme CYCLE

**ARCHITECTURE, STRUCTURE ET
MATERIAUX**

Ecole d'Architecture de Versailles
Enseignant resp. : M. Guillermo WIELAND

Année 2002-2003
Etudiant : M. Gilles ZANOLIN

LES BRIQUES DE VERRE



1. LE BETON ARME TRANSLUCIDE (BAT)
 - 1.1. Historique
 - 1.2. La recherche sur le moulage BAT
 - 1.3. La conception et la réalisation

2. LA BRIQUE DE VERRE SOUFFLEE OU MOULEE
 - 2.1. L'invention de Falconnier
 - 2.2. Les transparois

3. LA FABRICATION DES BRIQUES DE VERRE
 - 3.1. Caractéristiques techniques
 - 3.2. Une étonnante variété de formes et de décors

4. LA MISE EN ŒUVRE DES BRIQUES DE VERRE
 - 4.1. Règles de bases de la mise en œuvre
 - 4.2. Pose traditionnelle et préfabrication
 - 4.3. Nouveaux procédés de montage
 - 4.4. Mise en oeuvre des parois intérieures

5. ETAT DU MARCHE

6. NORMES ET REGLEMENTATION

7. EXEMPLE D'ARCHITECTURE : MAISON HERMES, TOKYO, JAPON

8. LEXIQUE

9. BIBLIOGRAPHIE

10. ANNEXES

1. LE BETON ARME TRANSLUCIDE (BAT)

1.1. Historique

L'ancêtre des constructions lumineuses, incorporant directement des éléments en verre moulé dans sa structure est le châssis-dalle de verre. Les lentilles de verre coulé utilisées sur le deck des bateaux et servant à éclairer la cale dès 1808, en sont à l'origine. On leur donne même parfois le nom de dalles-marines. Glaces brutes de 20 à 40 mm d'épaisseur, coulées et laminées sur table, parfois moulées, elles s'incluaient dans une charpente métallique. Des dalles de verre ont été utilisées dès le milieu du XIX^{ème} siècle, pour éclairer les sous-sols, dans les grands magasins (La Samaritaine de Frantz Jourdain), dans les banques (la Société Générale ou le Crédit Lyonnais à Paris). Le verre prismatique inventé en Allemagne, près d'un siècle plus tard, fut protégé sous le nom de marque: Luxfer-prismen. Saint-Gobain, qui possédait un accord avec la société belge dépositaire en fabriqua aussi.

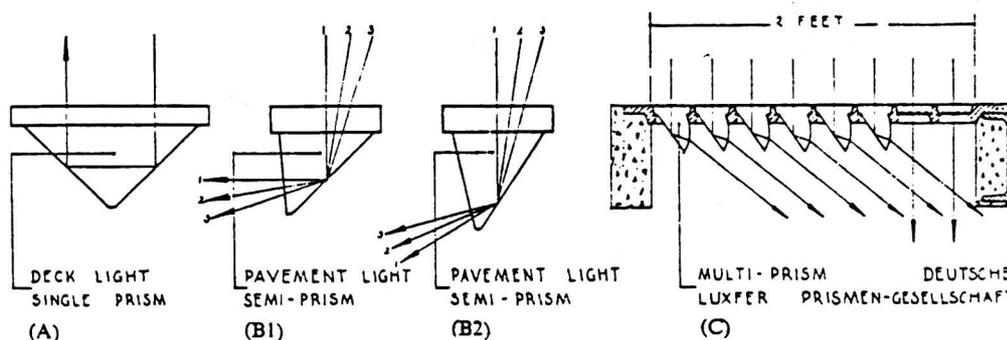


Figure 1: Des premières dalles marines aux Luxfer-prismen.

Les prismes sont chargés d'éclairer, en faisant diverger les rayons, les régions qui ne sont pas directement situées sous la partie verrée. Les dalles (plus tard les pavés et les briques) portent souvent des prismes dans leurs faces inférieures (fig1).

Comme la pierre de verre Garchey, à laquelle Saint-Gobain s'intéressa aussi (elle fut utilisée en carreaux moulés dans le métro parisien notamment), ces dalles coulées présentaient le défaut de s'user rapidement et de devenir glissantes. Il fallait les orner pour remédier à ce défaut. D'autre part les châssis

de fer s'oxydaient, se déformaient et n'étaient plus étanches, ils exigeaient un grand entretien, de masticage et de nettoyage.

Le béton armé translucide (BAT) est un plancher de béton avec des nervures renforcées dans lequel sont incorporés des pavés de verre pour former une structure monolithique. Cette structure n'est pas toujours plane, elle peut être courbe, par exemple, en voûte ou en coupole. C'est un entrepreneur en maçonnerie et béton armé, Gustave Joachim, spécialisé dans la construction de planchers translucides, qui, dès le début du 20ème siècle, se demanda s'il n'était pas possible d'incorporer au mortier des blocs de verre qui tiendraient la place des cailloux et gravillons. Joachim avait déjà noté la parfaite adhérence du verre au ciment lorsqu'il enchâssait les dalles dans les fers cornières. Dans le même temps, un autre entrepreneur en béton armé, François Hennebique incorporait des dalles en verre de grandes dimensions directement dans des hourdis en béton, des exemples sont conservés à la villa Hennebique à Bourg-la-reine (fig2) et dans l'immeuble de la rue Danton, construit en 1901. Cette application ne fut jamais brevetée par Hennebique et resta tout fait empirique.

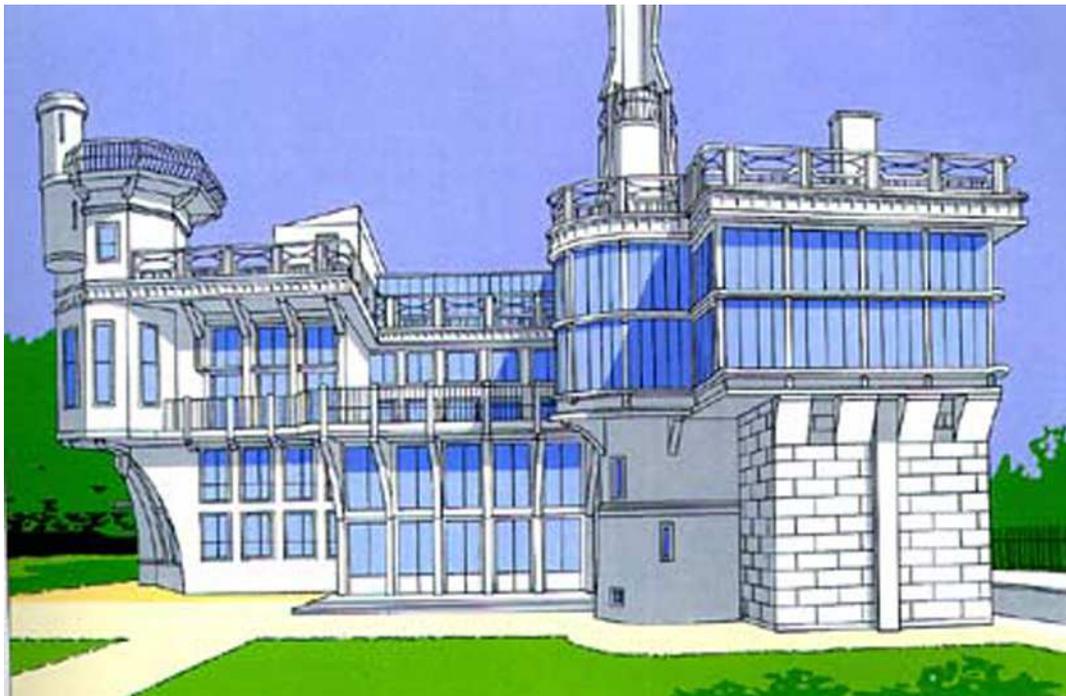


Figure 2: La villa Hennebique à Bourg-la-reine

A la suite des premiers essais en 1904, Joachim entra en contact avec Saint-Gobain, ce qui aboutit à la création de pavés ronds et carrés, pleins, moulés en verre clair. La première application fut réalisée dans la cour de la gare Saint-Lazare (éclairage des galeries de raccordement du métro au Nord-sud) en 1908.

Le 13 mai 1909, il déposa un brevet pour la construction de "Panneau lumineux à ossature de ciment armé pour planchers et autres applications similaires" et deux ans plus tard la marque "béton armé translucide".

A l'origine du procédé on noyait les pavés de verre dans le hourdis de béton, en ayant soin de placer dans les cannelures des barres d'acier ancrées aux appuis (fig3) .

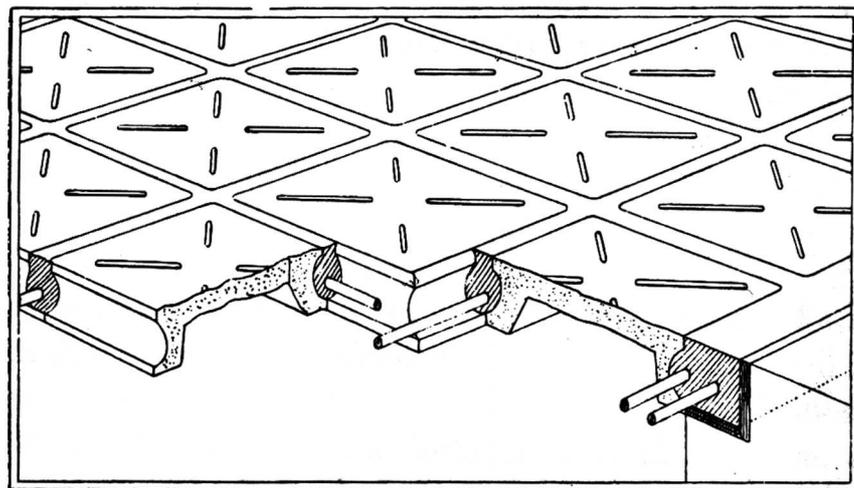


Figure 3: Pavés de verre, le béton armé translucide

Les pavés carrés laissaient passer pour chaque dalle plus de lumière que les pavés ronds. La qualité de la luminosité des planchers, était cependant amoindrie du fait du quadrillage obscur formé par les joints. Pour remédier à cet effet négatif, il fallait un système de pose jointive des carrés, c'est-à-dire l'emploi de pavés dont la base inférieure est plus grande que la base supérieure. Ce système est l'invention en 1911 d'un allemand, Frederick Keppler. Dans un brevet déposé en 1917, il présenta quatre modèles, l'un plus spécifique pour les constructions verticales, les autres, pour les coupoles et les planchers. Grâce à ces pavés à embases débordantes, on avait l'impression d'une superficie complètement verrée sans joints

de béton apparents. Joachim, impressionné, obtint de Keppler une licence de fabrication pour Saint-Gobain et une exclusivité d'exploitation pour trois ans. Après 1919, Saint-Gobain fabriqua les modèles « SUPERLUX », qui étaient une variante des pavés Keppler un peu améliorés. En fait, l'utilisation de ces pavés ne fut jamais satisfaisante, les embases des moulages se brisant trop facilement sous l'effet de la dilatation du béton et de très nombreuses recherches en France et Allemagne ne réussirent pas à pallier à ce défaut. Saint-Gobain reprit le principe en lançant le modèle « MAXIMA » en 1927, avec un évidement de la partie inférieure. En effet, des calculs démontraient que la partie inférieure des pavés ne subissaient quasiment pas la compression. Les pavés évidés étaient donc plus légers et par conséquent moins chers.

Les ruptures de moulages dans les premiers ouvrages réalisés, étant malheureusement assez fréquentes, on se préoccupa rapidement de leur remplacement. Il apparut alors un pavé hélicoïdal, qui se remplaçait en revissant dans le pas de vis en béton mis à nu, un nouveau pavé ; Une encoche était réservée dans la face supérieure du pavé pour le visage à force. Ce pavé, breveté par Saint-Gobain fût peu utilisé car il avait un rendement lumineux très faible.

Avant le premier conflit mondial. Joachim utilisa aussi les premiers pavés de couleur dans les coupoles. Les autres entrepreneurs de BAT, Degaine Frères, Dindeleux, E. Divorne ne devaient pas être en reste.

Divorne breveta en 1928 et 1929 deux pavés spécialement étudiés pour leur rendement lumineux, le pavé IDEAL et le NOVALUX (6 modèles ronds et 12 modèles carrés, poids de 900 gr à 5 kg selon les modèles), ce dernier pavé, destiné à une grande diffusion, contribua à la faveur croissante du BAT. Fabriqués sans gorges ou cannelures, en forme de double claveau de voûte, les NOVALUX étaient effectivement plus éclairants, mais aussi plus résistants et plus faciles à remplacer, ce qui explique leurs succès. Avant l'apparition de ces pavés, Saint-Gobain avait créé des modèles baptisés SG, évidés dont la forme en calottes sphériques laissaient mieux passer la lumière.

Des aspects plus décoratifs ont même été envisagés pour le BAT. En 1924, Gustave Joachim proposa un brevet pour une "mosaïque lumineuse armée". Les éléments la constituant étaient combinés avec un réseau de fils ou lames métalliques, disposé entre eux et destiné à être rendu rigide et solidaire de ces éléments au moment de la pose par un liant approprié, tel que le ciment ou autre, dans le but de communiquer ainsi à l'ensemble de la mosaïque une résistance propre.

Ce principe permettait la construction de coupoles, plafonds et dômes. Vers 1927, Paul Dindeleux avait mis au point une solution intermédiaire entre la mosaïque lumineuse et le béton translucide, en créant des modèles de pavés de dimensions moitié réduites par rapport aux pavés normaux, ce qui donnait la possibilité d'élever le nombre de verres au mètre carré de 50 à 250 environ, avec des joints réduits. Dès 1930, il cherche à perfectionner encore ce procédé et il expérimenta de véritables "verrières" en BAT, Il ne s'agissait plus de pavés, mais d'éléments moulés réguliers, de toutes les couleurs qui prenaient des formes variées, susceptibles de s'associer; rectangles, triangles isocèles, équilatéraux, trapèzes, losanges, hexagones.



Figure 4: Eglise Saint-Louis à Marseille.

Le procédé a été utilisé pour la réalisation de l'église Saint-Louis à Marseille par l'architecte Jean Sourdeau en 1935 (fig4). Les rosaces y sont constituées de pavés enchâssés dans un coulis de béton, qui vient remplir les intervalles entre les pavés, en enrobant un réseau d'armatures métalliques. Ces vitraux sont bien sûr réalisés pour une vue de l'intérieur mais de l'extérieur le passant peut déjà se rendre compte de l'effet. Avec cinq couleurs et cinq formes de pavés, les verriers sont arrivés à un résultat satisfaisant au goût de l'époque, sensible à l'archaïque et à la stylisation. Cette application purement décorative du pavé de verre trouve sa justification dans les qualités d'économie, de solidité et de durée identiques à celles de la structure en béton armé.



Figure 5: Eglise St Croix du port (Ivry-sur-Seine)

Vers 1930-1932, on s'orienta vers de nouveaux pavés, mieux étudiés et surtout trempés¹, ce qui leur accordait une résistance beaucoup plus grande et la propriété lorsqu'ils se brisaient de rester cohérents et en place malgré tout. En

¹ Voir le xique

1934 fut mis au point le modèle SECUREX (10 modèles différents, ronds ou carrés, poids variant de 600 gr à 2,9 kg), qui fut fabriqué jusqu'en 1950, avant d'être remplacé par le LUMAX, combinant la résistance mécanique et le rendement lumineux et qui est encore diffusé par Saint-Gobain.

Les pavés CRISTALLUX furent déposés en 1931 par Divorve, en verre extra-blanc et de forme allongée (5.5.23 cm), ils furent souvent employés pour des effets décoratifs, leur section prismatique assurait d'autre part un très bon rendement lumineux. D'autres modèles comme le pavé ISOLATOR moulé en deux parties et soudé comme une brique de verre, ou TEPIDOR, pavé chauffant (grâce à une métallisation à l'aluminium jouant le rôle de résistance), datant respectivement de 1935 et 1937 ne connurent jamais de grande diffusion.

1.2. La recherche sur les moulages de BAT : structure et forme.

Les difficultés de mise au point d'un pavé de verre, lumineux, résistant et facile à mettre en oeuvre, ont amené les ingénieurs et les inventeurs à réfléchir sur les causes des accidents constatés et les moyens d'y remédier. Ils isolent trois sources d'accidents: la nature du verre, la nature du ciment, la conception et l'exécution de l'ouvrage.

a. Le verre

Le verre à moulages doit posséder une grande résistance à la traction, résister fortement aux intempéries, et absorber le moins possible la lumière. Le meilleur gage de résistance mécanique est bien entendu, l'homogénéité du verre; Une fusion mal conduite ou un mauvais mélange dans le four sont les causes les plus répandues du manque d'homogénéité, ces défauts sont connus par les verriers sous les noms de "gommes", de "sirops".

La composition chimique est également importante, et on utilise un mélange plutôt calcique, qui augmente la résistance à la traction. Néanmoins, on s'est rendu compte qu'une teneur importante en alumine jouait ce rôle également.

Les verres calciques résistent aussi mieux à l'action des intempéries; mais l'absorption de la lumière est, elle, fonction de la teneur en fer. Celui-ci provient de résidus dans les composants du mélange vitrifiable, et des matériaux réfractaires du four, auxquels une attention toute particulière doit être donnée. Les verreries ont le plus souvent recours à la décoloration physique sous l'action de l'oxyde de néodyme ou l'oxyde de nickel ; Parfois la décoloration se fait chimiquement et physiquement grâce au sélénium. Le verre à moulage est alors un verre « blanc », qui reste tout de même très sensible aux radiations solaires et n'est pas aussi stable qu'un verre décoloré chimiquement, qualifié, d' « extra-clair ». Les qualités de diffusion de la lumière étant difficiles à obtenir, les fabricants français ont préféré offrir à leur clientèle "un verre insensible aux intempéries, ne se brisant pas sous l'action des contraintes les plus élevées développées dans le béton" plutôt qu'un verre plus lumineux.

En fait se sont les recherches sur la forme la plus convenable qui ont été les plus fructueuses pour le BAT. Ces améliorations de la forme ont visé un meilleur rendement lumineux mais surtout une des propriétés du béton armé ont aidé à l'étude de formes les plus rationnelles. Le béton en contact avec les parois latérales du moulage absorbe une quantité importante de lumière, l'autre partie est renvoyée à l'intérieur; L'attention doit, en conséquence se porter sur la forme adéquate des parois latérales. Il est préconisé un badigeonnage avec une couche métallique réfléchissante, pour améliorer le facteur de transmission.

b. Le ciment

Si les premiers ouvrages en BAT résistèrent bien à l'épreuve du temps, c'est en partie grâce aux fers surabondants et au ciment Portland², le plus souvent utilisé, qui s'accommodait mieux des contraintes de retrait que les

² voir lexique

superciments, plus résistants de l'après-guerre. Lorsque des réalisations plus ambitieuses furent tentées, sans que la connaissance théorique du BAT ait beaucoup progressé, on déplora de nombreux accidents. Deux causes de rupture sont les plus fréquentes: le retrait et l'effet de dilatation.

-Le retrait: lorsque le béton fait prise, un phénomène de retrait s'amorce en même temps que le durcissement et peut se prolonger pendant plusieurs années. Le retrait est du même ordre de grandeur pour tous les ciments mais la contrainte est d'autant plus élevée que le coefficient d'élasticité est lui-même plus élevé. L'adaptation sera d'autant moindre que le ciment sera plus résistant et que le retrait se manifestera plus rapidement. En conséquence la contrainte de retrait est maximum avec les ciments à hautes résistances initiales; elle décroît pour les artificiels, les ciments à base de laitier³, les ciments naturels et les chaux.

-la dilatation: le coefficient de dilatation thermique du béton est de 11.10 par degré centigrade celui du verre est de 8.10. Cette petite différence peut causer des efforts de compression complémentaires; mais il faut surtout faire attention aux changements de température qui peuvent majorer l'effet du retrait

1.3. La conception et la réalisation

Le premier point important dans l'amélioration de la réalisation des ouvrages en BAT est de ne pas le considérer comme un monolithe de béton. Des méthodes de calcul spécifiques ont été mises en place au fur et à mesure que l'on s'est rendu compte des problèmes spécifiques, posés par le BAT. En règle générale il y a intérêt à fragmenter le plus possible les ouvrages, en laissant les hourdis⁴ jouer librement sur les poutres pour les planchers, et s'appuyer dans des feuillures⁵ spéciales, pour les voûtes. Il existe de très

³ voir lexique

⁴ voir lexique

⁵ voir lexique

nombreuses formes de pavés dont l'emploi est recommandé dans différents cas. Certains modèles sont employés dans un châssis, métallique ou en béton; d'autres dans les coupoles en BAT; Dans ce cas, en particulier, les pavés trempés sont fortement recommandés, car ils subissent des contraintes très importantes. Il est recommandé d'utiliser un ciment le moins riche possible et le moins mouillé, d'utiliser une eau de gâchage⁶ très pure et de "serrer" le mortier; Enfin de surveiller de près les différences de températures et d'en limiter l'effet le plus possible. Les pavés jointifs (de type Superlux, Maxima), beaucoup plus délicats à poser sont recommandés dans des installations intérieures uniquement, à cause des phénomènes de dilatation, fonction des différences sensibles de température. Dans les cas de forte surcharge, les pavés ronds sont recommandés. Une aération sérieuse est absolument indispensable dans tous les cas, pour éviter la condensation, mais celle-ci dépend de l'atmosphère hygrométrique de la pièce et des solutions générales sont difficiles à établir.

2. LA BRIQUE DE VERRE, SOUFFLEE OU MOULEE

Nous avons choisi de parler d'abord des pavés de verre moulés inclus dans le BAT, cette deuxième sous-partie est consacrée à la brique de verre; d'abord à l'invention de Falconnier, qui chronologiquement méritait la première place puis au moulages, qui ont pris la première place aujourd'hui et font partie de notre environnement le plus banal.

2.1. L'invention de Falconnier :une brique de verre soufflée

Gustave Falconnier, architecte vaudois, installé à Nyon en Suisse, justifiait l'importance de sa découverte en disant que les briques de verre avaient toutes les qualités des doubles fenêtres sans en avoir les défauts. "Elles sont isolatrices contre le froid, contre la chaleur, contre le bruit et contre

⁶ voir lexique

l'humidité." Elles étaient en verre soufflé donc, "comme des bouteilles ordinaires", fermées à chaud par une pastille de verre. Elles existaient de différentes formes selon les usages proposés.

Il semblerait que l'inventeur ne se soit pas beaucoup soucié de faire la promotion de son produit, néanmoins, il déposa son brevet dans tous les grands pays européens et aux Etats-Unis entre 1886 et 1889, puis successivement différentes additions au brevet initial. Employées assez couramment dans la dernière décennie du XIXème siècle, on ne rencontre quasi plus de briques Falconnier après la grande guerre. Les briques se posaient avec un mortier de ciment, on pouvait armer les joints dans le cas de grandes surfaces et pour éviter les effets de dilatation, Falconnier préconisait d'enduire le champ des briques d'une couche de colle forte qui, un fois détruite par le ciment réserverait un peu de jeu entre les briques. Il existait cinq modèles, no3, 5, 7, 8 et 9, les deux premiers étaient carrés, les trois autres respectivement hexagonal, en coquille, en losange ; Ils existaient en différents modules: plein, 3/4, 1/2, 1/4. Ces briques de couleurs variées, ornées de facettes, possédaient un réel intérêt décoratif (Figure 6). En outre les facettes permettaient de briser les rayons lumineux et empêchaient la visibilité, même le soir.

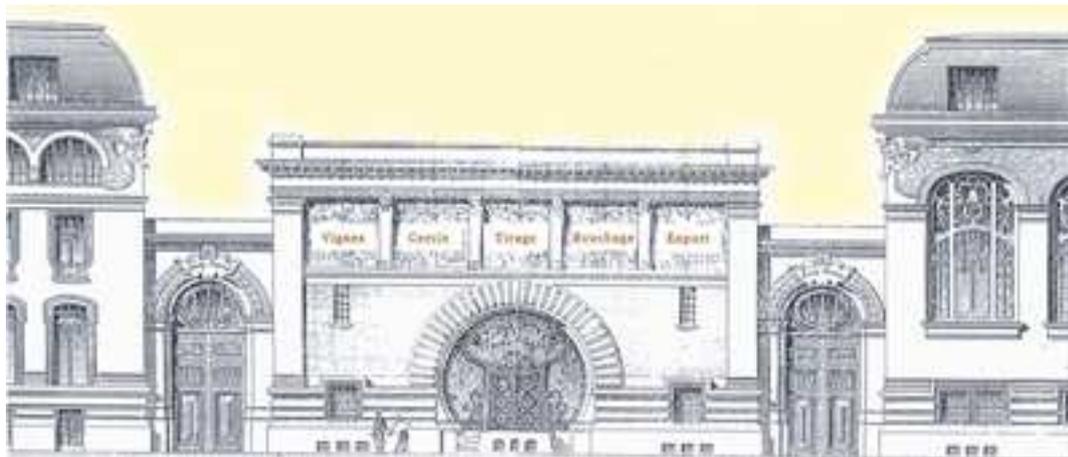


Figure 6: En 1898, la maison Mumm fait construire des celliers et bureaux ; la porte et entourée de briques de verre Falconnier frappées d'un aigle (marque de la maison).

Ces deux aspect peuvent expliquer la faveur qu'elles ont rencontré auprès des architectes de la mouvance « Art Nouveau », Plumet, Sauvage, Guimard; et

d'autres comme Perret ou Le Corbusier qui les ont aussi employées. Comme ce sera le cas avec les ouvertures en briques de verre moulées, celles qui étaient réalisées en briques Falconnier n'étaient pas assujetties aux servitudes de distance légale des fenêtres ordinaires.

2.2. Les transparois : briques de verre moulé

Comme pour les briques Falconnier et pour le BAT, ce que l'on demande aux parois en brique de verre est de laisser passer abondamment la lumière, là où cela n'est possible qu'en second jour ou pour contourner des règlements administratifs, sur les ouvertures entre deux maisons rapprochées par exemple. Les briques n'ont pas besoin de présenter de caractères de résistance mécanique aussi élevés que les pavés de BAT, en effet elles constituent obligatoirement des éléments non porteurs ou dans le cas des briques trempées, autoporteurs. Les transparois ont connu une faveur considérable dans les années d'après-guerre. Tombées en désuétude dans les années 60-70, à tel point que Saint-Gobain abandonna la production en 78, elles sont aujourd'hui revenues en force dans notre quotidien.

Sans doute parce que les transparois ne sont pas associées aussi intimement au béton que les pavés, leur utilisation est moins problématiques, de ce fait, elles ne font l'objet d'aucun DTU. Un principe cependant, est fondamental: le panneau doit être indépendant du gros oeuvre. La résistance au vent est assez grande (100kg/m²), mais elle limite néanmoins les dimensions d'un panneau utilisé en paroi extérieure ; Le plus souvent les briques de verre servent à exécuter des cloisons translucides intérieures. Les joints de béton ne doivent pas obligatoirement être armés et les briques sont parfois enchâssées dans des cadres métalliques. Il faut toujours prévoir un léger jeu de chaque côté du panneau et utiliser un ciment pauvre et le gâcher très sec.



Figure 7: Bruno Taut, Pavillon de verre, exposition du Werkbund à Cologne, 1914.

Les briques moulées se divisent en deux catégories, pleine ou creuse, ces dernières moulées en deux parties et assemblées.

Les NEVADA, lancées en 1928 par Saint-Gobain appartenaient à la première catégorie. Elles étaient carrées, mesurant 20 cm de côté et 4 cm d'épaisseur, elles possédaient un évidement concave caractéristique pour les alléger (leur poids approximatif était de 2,8 kg) et un aspect granité. Ces briques avaient été précédées de nombreux essais aux Pays-Bas et en Allemagne dont témoigne parfaitement le pavillon de Bruno Taut à l'Exposition du Werkbund à Cologne en 1914 (fig7). Les NEVADA furent utilisées pour une « première » architecturale magnifique: la maison de verre du docteur Dalsace commandée en 1928 et dont Pierre Chareau exposa la maquette (réalisée par Dindeleux) au Salon d'Automne de 1931 (fig8). La pose des briques pouvait se faire normalement par assises successives mais Saint-Gobain recommanda la confection à plat avec coffrages, qui est une meilleure garantie d'homogénéité et de résistance. Néanmoins, l'œuvre de Chareau devait rester unique, la brique NEVADA, pleine ne possédant aucune qualité thermique, le mur verré était une peau peu protectrice.

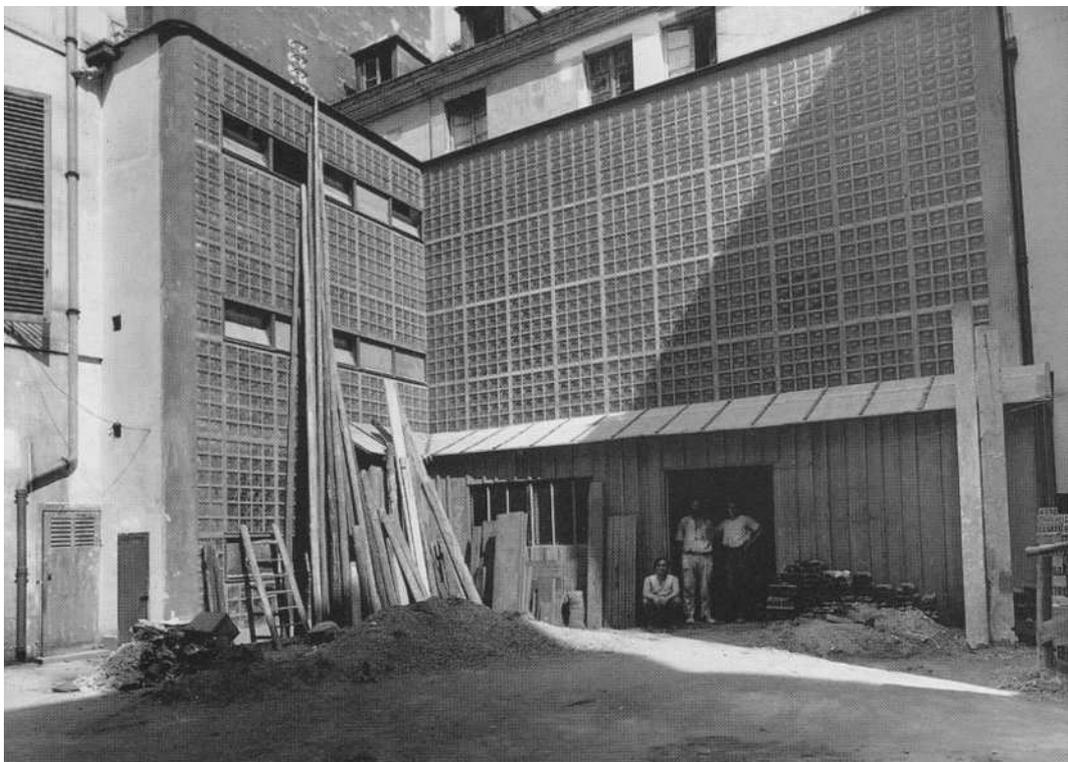


Figure 8: Maison de verre, façade sur cours en chantier, vers 1930.

Un autre type de brique fut bientôt disponible, la brique STANDARD, brique creuse évidée (5,5.11.22 cm, 1,6 kg), avec des encoches, conçue un peu sur le principe d'un lego, toutefois, il ne semble pas qu'elle ait connu un grand succès. En 1934, Saint-Gobain annonça la mise sur le marché d'un nouveau modèle, la brique ISOLATOR (un pavé du même nom et possédant les mêmes qualités fut aussi lancé), qui n'était pas fabriqué par Saint-Gobain mais par les verreries de Passavant-La Rochère, détentrices des moules. En verre extra-clair, elles étaient assez lumineuses mais surtout, creuses et assemblées par soudure à chaud, elles avaient des propriétés "antithermiques et antisonores" appréciables, attendues par tous les professionnels du bâtiment. Ces qualités qui furent donc largement soulignées à l'époque (avec l'aptitude à résister au feu) rappelaient celles des vieilles briques Falconnier.

La brique VERISOLITH (dimensions 30.30.10 cm, 8,5 kg) avait, quand à elle des qualités de résistance et d'assemblage. Les deux parties de la brique étaient trempées comme des pavés, ce qui les rendaient beaucoup plus résistantes mais surtout ouvrait le champ à d'autres modes d'assemblage des demi-parties. Ces moitiés de briques étaient métallisées à l'aluminium et soudées à l'étain au moyen du procédé « Alcustan ». Pour en améliorer les capacités réfléchissantes, on enduisait les parois internes d'une peinture blanche, amenant alors le facteur de transmission à 40%. L'isolation thermique était remarquable surtout si l'on mouchetait les faces intérieures d'aluminium, ce qui diminuait néanmoins leur facteur de transmission lumineuse.

Les recherches ont débouché sur un modèle, appelé ALUVER qui en comparaison avec un mur en briques céramiques traditionnelles possédait un pouvoir d'isolation à peu près équivalent, et à surfaces égales un poids est 2,5 fois inférieur. Bien que répondant aux exigences des architectes : Profusion de lumière, bon isolement calorifique, effet décoratif agréable, entretien à peu près nul, de telles briques étaient extrêmement coûteuses (trempe, soudure à l'aluminium, d'autant que ces procédés étaient loin de bénéficier d'une conception industrielle efficace) et d'un emploi particulier, elles ne furent pas commercialisées très longtemps. Aujourd'hui Saint-Gobain ne propose plus que les traditionnelles NEVADA et un autre modèle, PRIMALITH, brique creuse

et assemblée par soudure autogène (apparue entre 1937 et 1946), existant en différents modèles et poids, avec notamment une brique d'angle.

3. LA FABRICATION DES BRIQUES DE VERRE

La Fabrication des briques s'est peu à peu automatisée, mais à l'origine les briques étaient fabriquées par moulage à la poche. Le verrier cueillait la paraison⁷ dans le four grâce à une louche ou poche et la portait vers la presse, le presseur coupait la quantité voulue et abaissait un poinçon pour mouler la brique. Avec l'automatisation, à la sortie du four, un feeder recueille la quantité exacte de matière en fusion qui arrive sur une presse à table tournante comportant plusieurs moules. Ce moule forme la face extérieure de la brique. La réunion des deux demi briques est une étape importante et plusieurs modes d'assemblage ont été expérimentés, aluminium, résines, asphalte ou ciments variés, afin de garantir une bonne étanchéité. Aujourd'hui le scellage se fait par soudure autogène⁸. On réchauffe les bords de chaque partie, on laisse le temps à l'air de s'échapper puis les deux morceaux sont soudés. Les briques sont ensuite recuites quelques heures dans une arche de cuisson. Une dernière étape de vérification élimine les briques défectueuses. Les finitions qui interviennent alors visent à améliorer l'aspect et les qualités de la brique. En général une couche de peinture réfléchissante recouvre les bords de la brique pour améliorer le coefficient de transmission lumineuse et dissimuler le ciment gris du joint. Hormis les motifs obtenus par la variété des moules et des divers coloris pris dans la masse du verre, la gamme décorative peut être agrandie par des traitements de surface.

3.1 Caractéristiques techniques des briques et des parois

Les formats européens vont de 11.5x11.5 à 30x30 cm, les formats américains de 15x15 à 30x30 cm (6 pouces par 6 à 12 pouces par 12), trois épaisseurs sont possibles, 5, 8 ou 10 cm, mais l'épaisseur de 10 cm, la plus

⁷ voir lexique

⁸ voir lexique

fréquente aux états-unis, tend à se répandre. Les briques de 5 cm d'épaisseur sont spécialement adaptées au raccordement avec une paroi intérieure et beaucoup moins utilisées. Il existe également des briques d'angle et de ventilation, ainsi que des briques rondes, plus décoratives. Le poids des briques varie approximativement de 1 kg pour le format 11.5x 11.5 cm à 7 kg pour le module de 30x30 cm.

Grâce à leur épaisseur et leur masse les briques de verre offrent généralement une bonne isolation acoustique. En fonction de l'épaisseur des joints, le facteur de transmission lumineuse peut varier de 75 à 85 %, la taille de la brique est également un facteur important : plus le format est grand, meilleure est la luminosité. La taille des joints varie entre un et deux centimètres. Avec des briques de grand module, les joints sont moins nombreux et les points thermiques limités.

Solidaires d'une trame de béton armé (montage traditionnel) les briques de verre font preuve d'une bonne tenue au feu. Coupe-feu d'un quart d'heure, elles sont pare-flammes d'une demi-heure à deux heures selon l'épaisseur et le format. Pour obtenir une paroi étanche au feu, il est nécessaire de placer des raidisseurs (poteaux en béton par exemple), dans un intervalle de six mètres et de ne pas excéder une hauteur de trois mètres trente. Actuellement des recherches sont sur le point d'aboutir pour obtenir des briques dont la tenue au feu serait nettement supérieure, il est probable que les progrès soient rapides dans ce domaine.

L'entretien des parois de briques de verre est minime. Les parois de briques sont lisses et ne retiennent pas la poussière.

3.2 Une étonnante variété de forme et de décors

Toutes sortes de décor sont possibles, en variant la forme du plongeur de la presse, on obtient une grande variété de motifs internes, sans compter les briques de couleur ou agrémentées d'inclusions colorées. Les briques émaillées de couleur vive des années 1950 ne sont plus utilisées aujourd'hui et la nouveauté est la gamme des tons pastel et les traitements de surface qui

modifient et tamisent la lumière (fig9). Malgré tout, la majorité des parois de briques de verre posées visent plutôt la transparence et la luminosité maximum. Les briques teintées sont souvent réservées aux cloisons intérieures. La coloration se fait directement par adjonction d'oxydes colorés dans le four à bassin ou bien dans le feeder. L'aspect mat et velouté est obtenu par un traitement de surface, un dépolissage effectué soit par sablage soit par traitement à l'acide (satinage), ces traitements fragilisent néanmoins la surface. Certains modèles plus originaux sont adaptés aux angles ou aux extrémités : brique hexagonale, briques pare-balles ou des briques garnies intérieurement d'une couche de fibre de verre pour réduire et tamiser la lumière, mais qui sont aussi décoratives.



Figure 9: Catalogue VETROARREDO

4. LA MISE EN ŒUVRE DES BRIQUES DE VERRE

La réalisation de grandes parois en briques de verre nécessite des études préalables qui doivent être confiées à des entreprises spécialisées de ce matériau; En effet la mise en oeuvre des parois est déterminante et l'absence d'un document technique unifié (DTU) ou de normes est une difficulté voire un obstacle dont on peut espérer qu'il sera bientôt levé. La brique de verre permet de réaliser une grande variété de parois, de la façade plane aux parois courbes, sinueuses, à pans coupés ou en dégradés.

4.1. Deux règles de base de la mise en oeuvre

Une règle de base pour la réalisation d'une paroi en briques de verre est son indépendance par rapport au gros oeuvre, afin d'éviter que les mouvements de la structure ne se répercutent dans le verre. Une brique de verre ne se pose pas comme n'importe quel parpaing. Un panneau ne doit jamais être scellé, c'est un élément rapporté dans une structure existante. La seconde règle est de permettre la dilatation du panneau (fig10). Il faut absolument ménager un joint de dilatation tout autour du panneau mais aussi à l'intérieur d'une paroi dès qu'elle atteint 13 à 19 m². La paroi de briques de verre peut être retenue de différentes manières, en feuillure, en rainure, avec des pattes ou des goujons ou encore dans un profilé métallique... En partie basse, elle repose sur un joint d'appui, en partie haute et sur les cotés on pose le joint de dilatation; il faut ensuite assurer l'étanchéité de la feuillure par un joint de silicone. Le montage peut être volontairement souligné par un profilé de couleur par exemple mais on peut aussi rechercher la plus grande discrétion possible. La brique de verre est autoportante et de ce fait très résistante à la compression cependant toute paroi est sensible aux effets de la poussée du vent et aux chocs. Généralement on se contente pour la tenue du panneau d'une fixation limitée sur deux côtés, mais quand elle est répétée sur les quatre côtés la résistance est considérablement augmentée. Cette condition est obligatoire pour réaliser une paroi étanche au feu.

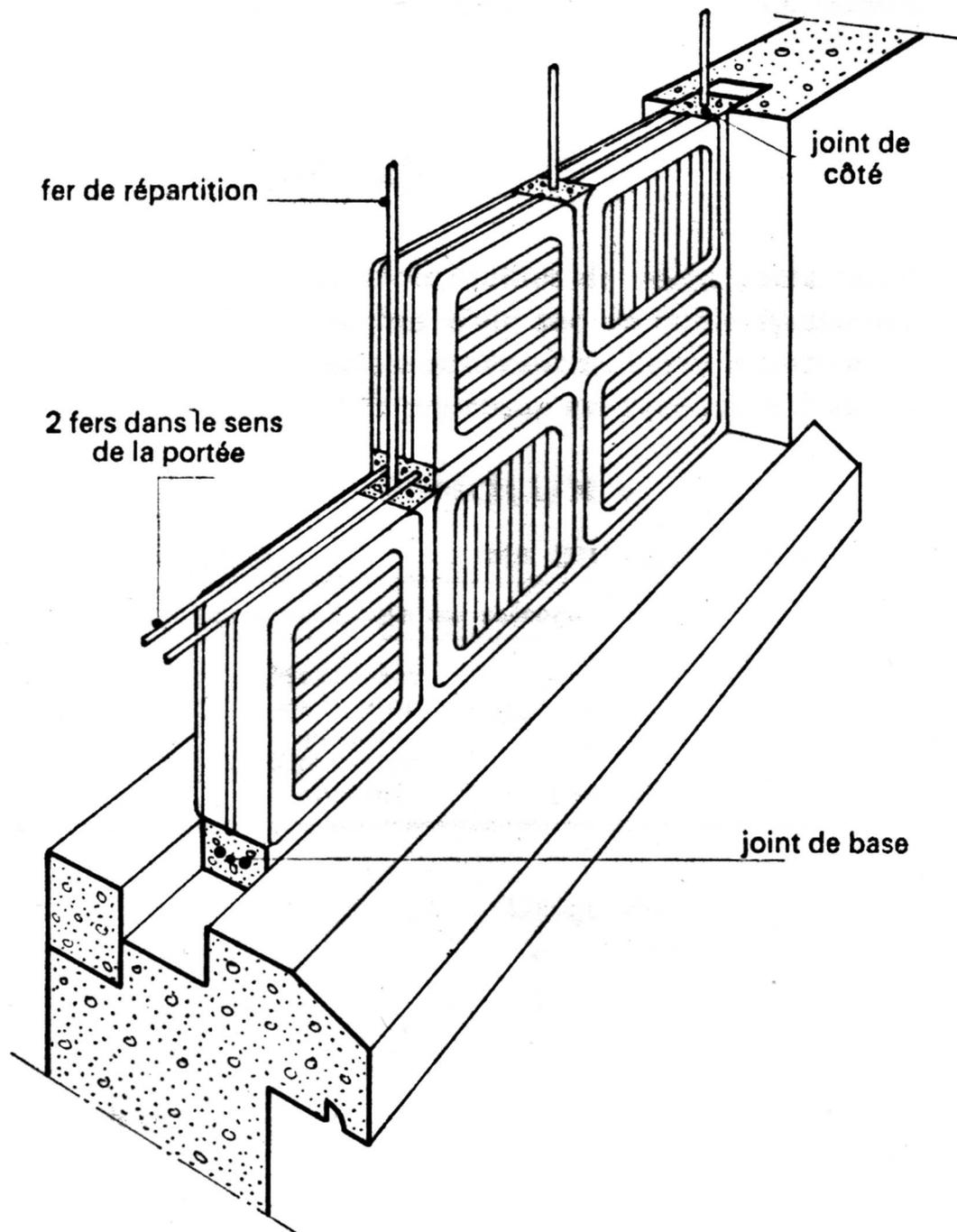


Figure 10: Montage traditionnelle de panneau en briques de verre

4.2. Pose traditionnelle et semi-traditionnelle par la préfabrication

La pose traditionnelle, rang par rang, avec armature et mortier est délicate et coûteuse, car elle exige coffrage, calage et ferrailage, elle doit être exécutée par un professionnel. A l'heure actuelle on utilise surtout des panneaux préfabriqués (fig11) qui peuvent se combiner entre eux, différents modules sont couramment disponibles et s'utilisent en assises horizontales ou verticales. Ces panneaux garantissent une grande régularité des joints. La réalisation de parois courbes, spectaculaires, est facilitée par la préfabrication sur mesure des éléments et cette solution est souvent retenue par les prescripteurs. S'il est toujours possible de percer un ouvrant dans un mur de briques de verre, des châssis basculants préfabriqués sont disponibles en accord avec les différents modèles de briques distribués.



Figure 11 : Usine de préfabrication SAVERBAT à Grandvilliers (60).

4.3. Nouveaux procédés de montage

Toutefois, différents procédés brevetés assurent aujourd'hui une mise en œuvre, plus rapide et plus facile. On peut distinguer deux grands types de systèmes.

Des systèmes d'aides à la pose où des profilés en PVC servent à la fois de structure, de coffrage et d'espacement entre les briques et qui permettent la réalisation de joints bien réguliers et nettement soulignés. Le montage se fait brique à brique avec un mortier prêt à l'emploi et s'adapte très facilement à la réalisation de parois courbes.

Les autres systèmes utilisent le montage à sec avec cadre métallique solidaire du gros œuvre, des raidisseurs métalliques plats, des clips en nylon servant d'entretoises entre les briques et un mastic silicone spécifique. Ce dernier procédé permet de réduire au minimum les joints (3 à 4 mm) et grâce à la souplesse du silicone il évite d'avoir à couper la parois tous les six mètres par un joint de dilatation. Ce système est donc plus avantageux pour les grandes surfaces. Il faut toutefois noter que des progrès notables ont aussi été réalisés dans la composition des mortiers qui sont aujourd'hui plus isolants, grâce à des adjuvants organiques.

Un dernier système breveté récemment offre une solution d'assemblage brique à brique originale. Chaque brique est enrobée d'une colle à base de PVC et assemblés par emboîtement, l'entourage du panneau reçoit une ceinture en PVC. Le panneau est très résistant aux chocs et grâce à la ceinture de PVC les joints de dilatation ne sont plus nécessaires. Ce procédé garantit une isolation thermique supérieure ainsi qu'une meilleure étanchéité, assurée directement par le collage et l'emboîtement.

4.4. Mise en œuvre des parois intérieures

La mise en œuvre pour des cloisons intérieures est moins contraignante, néanmoins, toutes les solutions déjà citées se retrouvent. Des systèmes de structures modulaires verre et bois sont développés spécifiquement pour

l'intérieur. On utilise plus volontiers les briques colorées en intérieur. Des éléments mobiliers, comme des bars ou des comptoirs sont fréquemment réalisés.

5. ETAT DU MARCHE

Le marché du produit « brique de verre » se répartit en deux grands secteurs qui sont, d'une part le bâtiment, et d'autre part, l'agencement et la décoration intérieure. La totalité de ce marché représente une consommation de trois millions d'unités par an. Un chiffre très nettement en retrait quand on le compare à celui de nos voisins directs que sont l'Italie et l'Espagne qui tiennent le « haut du pavé » avec... quatorze millions d'unités par an. Comment expliquer une telle différence entre ces trois pays ? Peut-être un manque de développement du marché en France... sachant que les fabricants ou fournisseurs de pavés de verre restent très peu nombreux.

D'après une étude menée par un observatoire international de la construction, basé à Rome, la consommation française devrait doubler ces trois prochaines années, passant donc de trois à six millions d'unités par an. Toujours d'après cette étude, ce fort développement devrait concerner la partie « agencement /décoration » et non pas « bâtiment » qui représente tout de même aujourd'hui 95 % de la consommation. A noter enfin, que 50 % des applications dans le secteur « agencement/décoration » concernent la salle de bains.

6. NORMES ET REGLEMENTATION

S'il n'existe pas encore de norme française sur la brique de verre, la volonté est forte cependant, d'aboutir à une norme européenne. Un groupe d'experts, réunissant principalement des Suisses et des Allemands, devrait aboutir à l'élaboration de normes pour la mise en œuvre. Le fait qu'il n'existe pas de Document Technique Unifié (DTU), n'incite pas toujours à s'aventurer

dans cette technique à réputation difficile. L'Allemagne a codifié plusieurs normes DIN pour les briques et la mise en oeuvre (DIN 18175 pour les dimensions et le poids des briques, DIN 67507 pour la transmission lumineuse, etc...

Il faut bien constater aujourd'hui que l'aire d'influence de la brique de verre reste avant tout le continent américain (etats-unis, Mexique) et les pays du nord de l'Europe, Allemagne, Pays-Bas en particulier.

7. EXEMPLE D'ARCHITECTURE

Maison Hermès, Tokyo, Japon

Conception 1998

Client Hermès Japon

Renzo Piano Building Workshop, architectes

Placé au cœur de Tokyo, sur l'artère commerçante de Ginza, Le siège social de la filiale japonaise du groupe français Hermès occupe une surface au sol extrêmement réduite. Large de 10 mètres et long de 45, le terrain seul coûte 9 fois plus cher que le bâtiment : Le principal enjeu consiste donc à rentabiliser l'espace au maximum.

L'emplacement du site, Ginza, est un quartier au bâti très dense et empire des enseignes lumineuses, qui la nuit venue, en font une véritable lanterne magique. Les façades du bâtiment sont entièrement faites en briques de verre, et deviennent, la nuit, un écrin de lumière. L'empreinte « Hermès » s'inscrit dans un édifice qui capte la lumière à la manière japonaise, tout en restant un morceau d'Europe au Japon.

Le bâtiment en verre s'accroche pratiquement à la façade de l'immeuble voisin. Entre les deux se trouvent les « lames », éléments structurels opaques abritant les services (locaux techniques, ascenseurs etc...) (fig12).

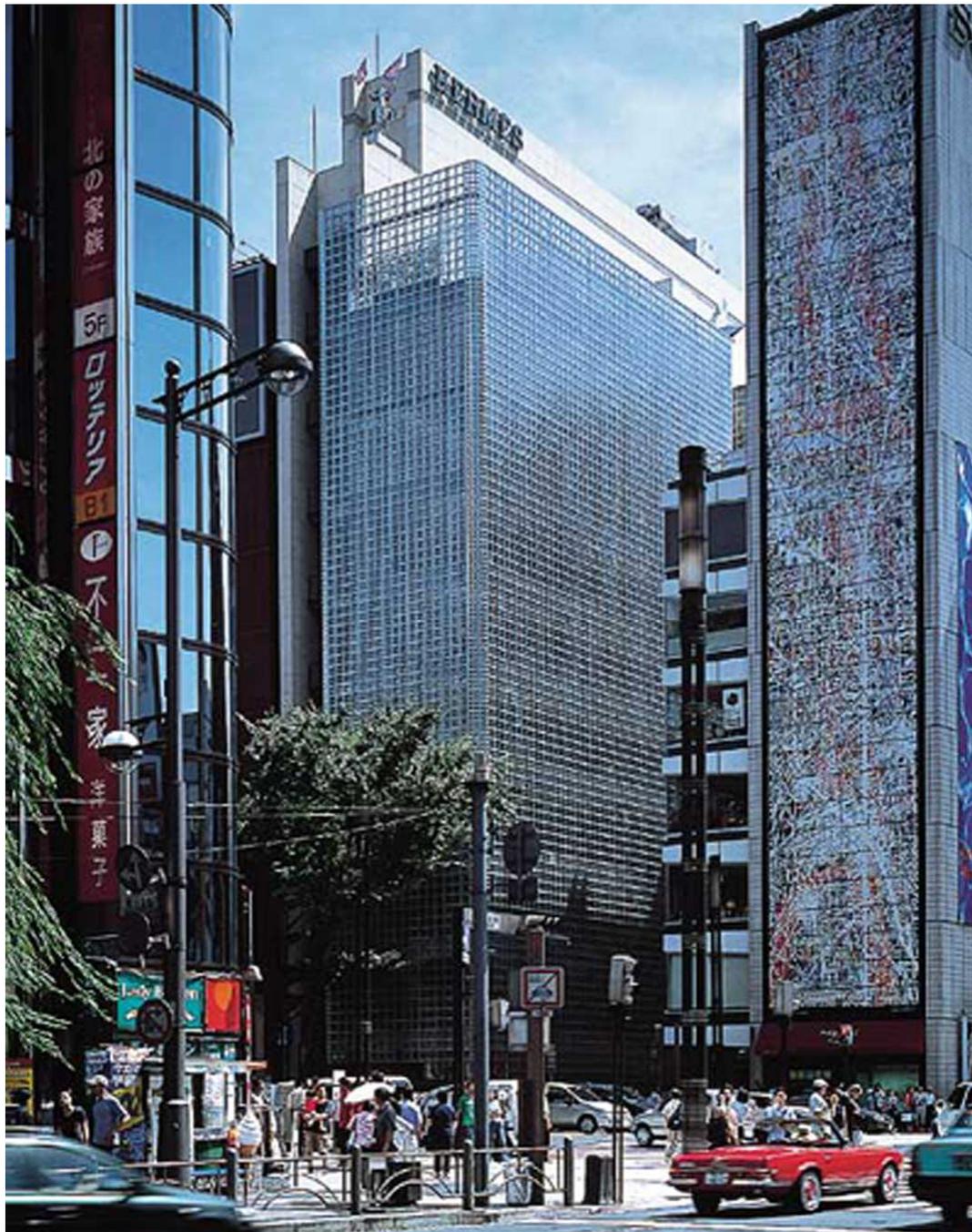


Figure 12: Insérée dans le quartier Ginza, la "Maison Hermès" est habillée d'un voile de briques de verres.

La structure se compose de ces deux lames verticales, sur amortisseurs, qui portent les planchers, conçues de sorte que les masses ne se mettent pas en mouvement et, le cas échéant, n'entrent pas en résonance.

Les différentes dalles qui composent les étages sont donc indépendantes les unes des autres. En cas de séisme, elles auront chacune des mouvements

indépendants, qui suivront ceux du sol, et l'immeuble se remettra en place après les secousses (fig13).



Figure 13: La structure métallique d'une élasticité multidirectionnelle répondant aux contraintes parasismique et celle fixant le voile de verre sont quasiment autonomes.

Les pavés de verre de la façade, sont de 45x45 cm, à l'échelle du bâtiment, et non pas au standard de 22x22 cm. L'entreprise italienne VETROARREDO

chargée de leur fabrication a dû concevoir une machine spéciale ; des Suisses ont réalisé les joints, des Japonais la mise en œuvre. L'effet de limpidité recherché a demandé énormément d'ingéniosité. Compte tenu des risques de séismes, la « jupe » translucide qui se déploie depuis le sommet a été pensée pour pouvoir bouger indépendamment des planchers. Elle est libre, elle peut subir des efforts de flexion, de compression, etc...., sans que le verre ne casse : les joints absorbent les chocs. La façade pourra donc suivre la vibration sismique sans opposer de résistance, sans se briser.

L'édifice donne sur la rue principale, doublée en sous-sol par une voie qui permet l'accès au métro.

Situé au-dessus d'une station importante, l'immeuble s'adapte également à la ville, et aux flux de visiteurs qu'il crée : Les voyageurs peuvent sortir directement sur une petite place située au centre du bâtiment.

Au-dessus de cette place, une sculpture de l'artiste japonais Shingu est suspendue : elle fait office de « Moulin de lumière », prenant la lumière au niveau du toit, pour la renvoyer ensuite au niveau de la rue.

Référence aux escaliers qui relient traditionnellement les bâtiments à la rue, un escalator pénètre jusqu'au cœur du bâtiment, où est aménagée la petite place, lieu de passage amène, urbain. Ce qui est excitant ici, c'est le mélange entre invention technique et image.

A Tokyo en particulier, la ville change radicalement d'aspect entre le jour et la nuit ; le soir venu, elle n'est plus qu'une forêt de néons. Un édifice destiné à Hermès ne pouvait être qu'un contenant sobre et raffiné. Pour lui donner un véritable signe de distinction, le bâtiment est imaginé comme une simple boîte de verre, d'environ 60 m de haut, diaphane le jour, lumineuse la nuit. Comme pour la Maison de verre de Pierre Chareau: le secret de ce petit chef-d'œuvre de poésie tient à sa façade translucide, et non pas transparente (fig14).



Figure 14: La maison de verre de Pierre Chareau, façade sur cour.

Hermès a « cassé sa tire-lire » et investi 17 milliards de yens (160 M euros) pour ouvrir « sa maison » à Ginza, au cœur de Tokyo.

Prouesse architecturale mais aussi technologique, la Maison Hermès comprend cinq étages de boutiques surmontés par cinq étages de bureaux et salles d'exposition ou de réunion. Elle accueille aussi un atelier du cuir, métier d'origine du sellier devenu un des grands noms du luxe, un musée et un petit auditorium (fig15).

En dépit de l'effondrement des prix du foncier au Japon, après l'éclatement de la bulle spéculative au début des années 90, le prix du mètre carré à Ginza reste parmi les plus élevés au monde. Mais s'installer dans ses propres murs, à Tokyo, est néanmoins devenu possible pour les marques de luxe européennes. Louis Vuitton et Christian Dior, du géant LVMH, font actuellement construire sur Omotesando, l'avenue "branchée" de la capitale nipponne

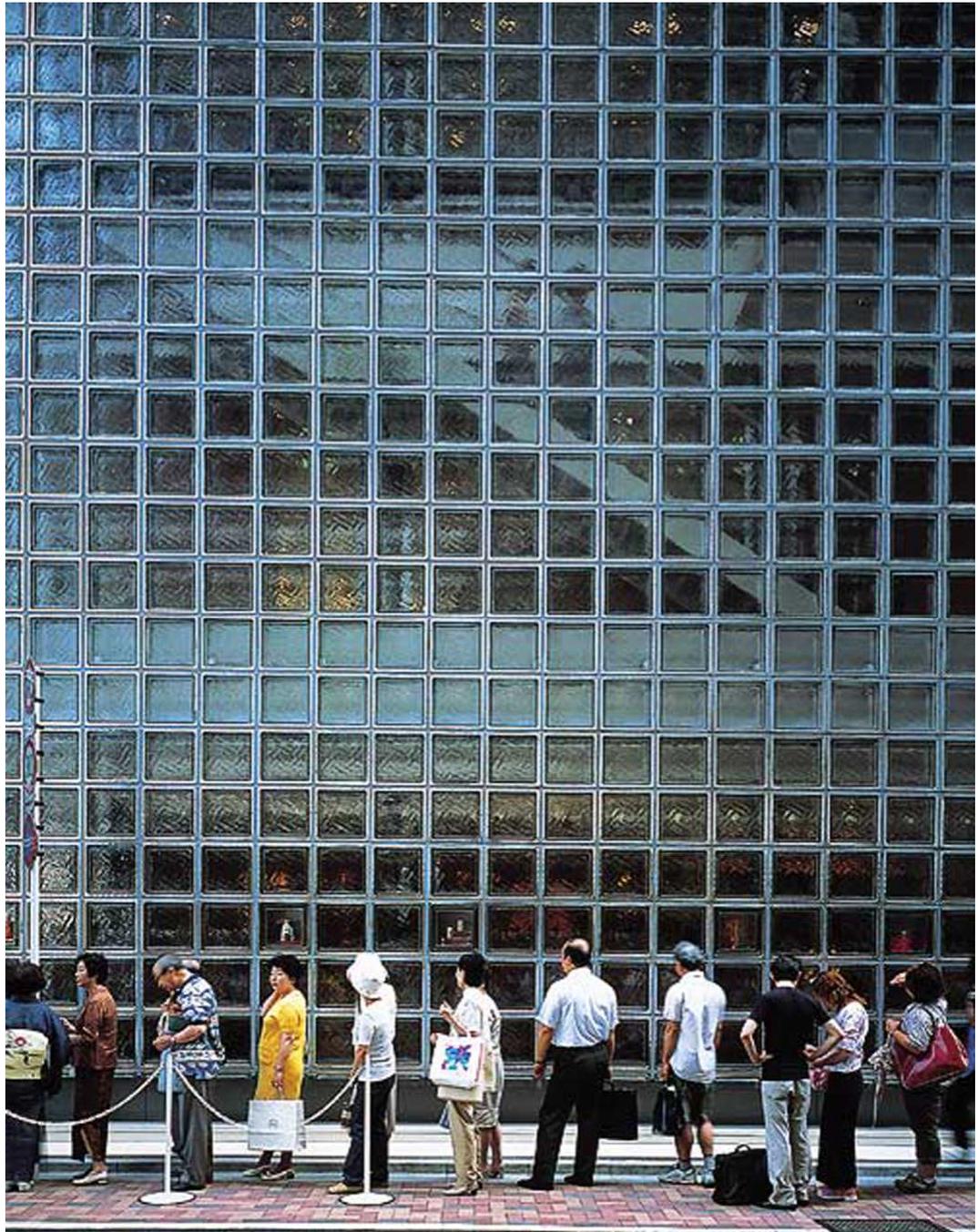


Figure 15: Depuis la rue, une façade changeant selon les heures et les activités intérieures: magasins, bureaux, expositions.

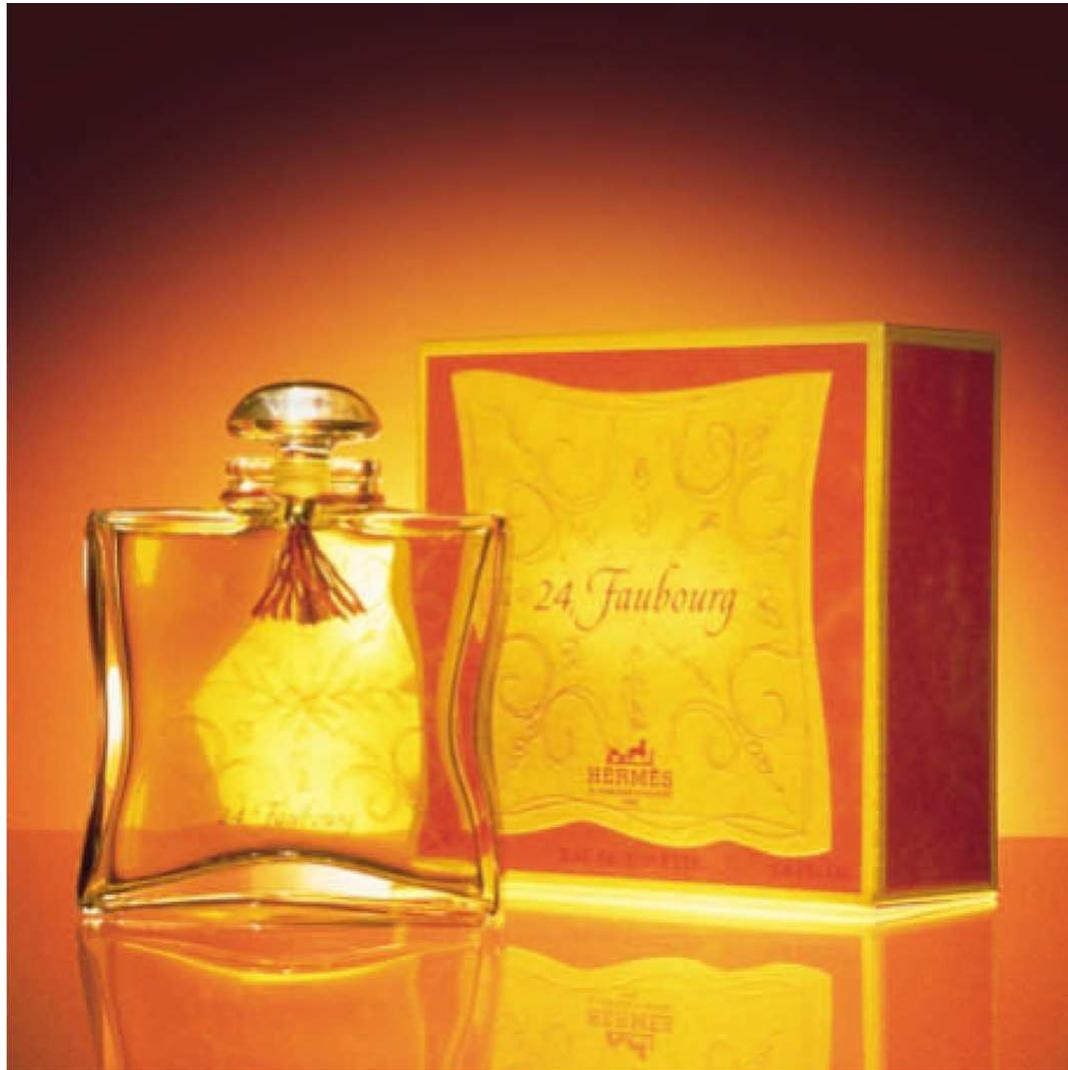


Figure 16: Flacon de parfum Hermès qui évoque le célèbre "Carré", mais aussi une brique de verre. Réalisé par Saint-Gobain fin 1996.

CONCLUSION

Après des années de désaffection et de mauvaise presse pour cause d'accidents de montage, il semble bien que la brique de verre ait retrouvé une nouvelle jeunesse. Les architectes n'hésitent plus à faire appel à ce matériau versatile et doué. Plus que d'autres produits verriers la brique de verre ne laisse

pas indifférent et son emploi est une véritable déclaration d'intention de la part d'un architecte, la sensation d'une enveloppe sensible en verre est renforcée. Si les réalisations françaises se sont multipliées, Parking des chaumettes à Saint-Denis par Christian Devilliers en 1983 (fig17), Maison Suger à Paris par Antoine Grumbach, 1990, école du Gramat à Paris par Patrice Mottini, 1991, pour ne citer que les plus connus, c'est aux Etats-Unis ou en Amérique Latine que l'ont rencontre toujours les réalisations en briques de verre, en plus grand nombre.

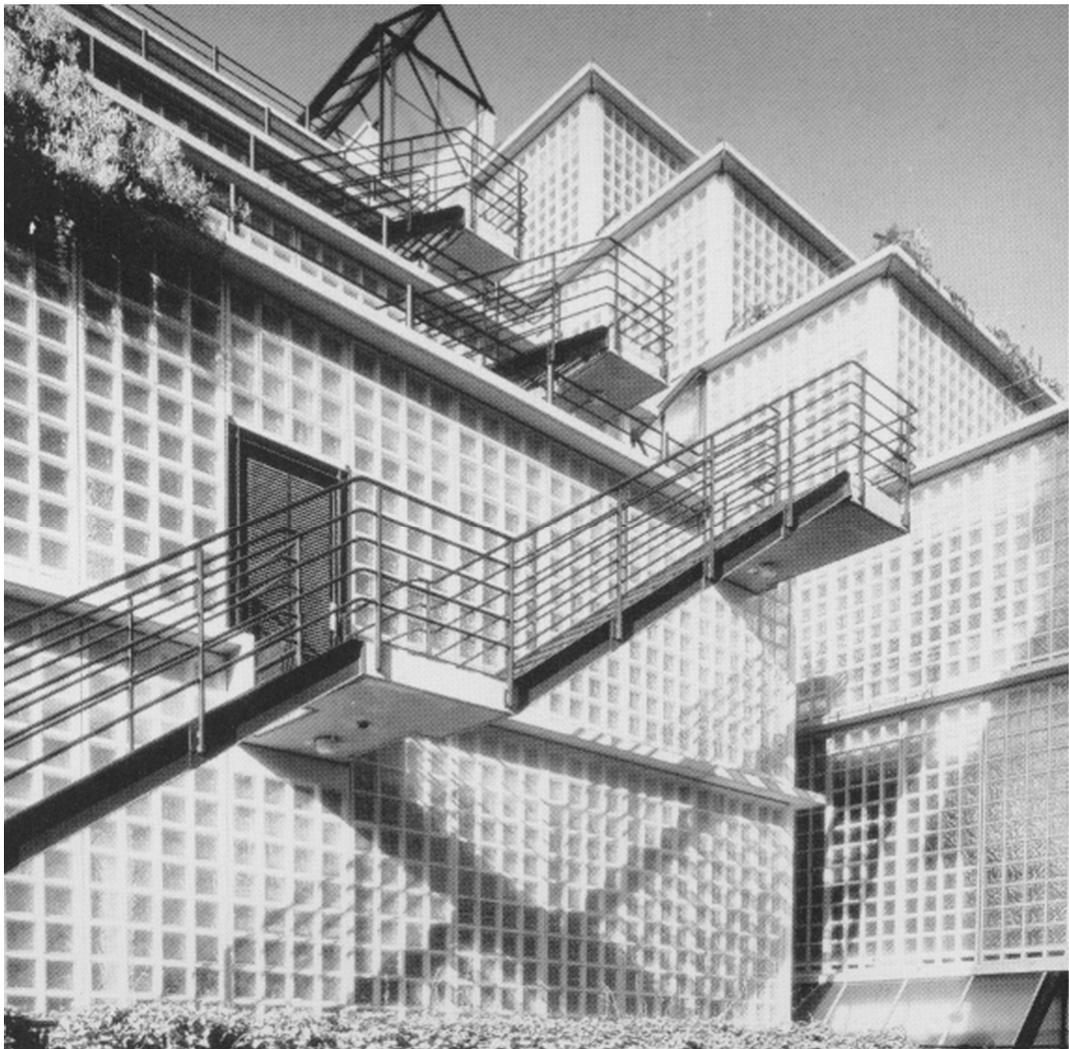


Figure 17: Christian Devilliers, parking des chaumettes à Saint-Denis, 1981-1983, vue de la façade arrière.

8. LEXIQUE

AUTOGENE adj. :

Qualifie la soudure* de deux pièces d'un même métal qui est faite par fusion à haute température (3000°C) au chalumeau oxyacétylénique, avec ou sans métal d'apport.

BRIQUE DE VERRE n.f. :

Élément de verre plein pressé, ou fait de deux pièces de verre moulées et soudées dos à dos, avec vide d'air.

FEUILLURE n.f. :

Angle rentrant pratiqué le long de l'arête d'une pièce de bois, généralement pour accueillir et arrêter un élément mobile (porte, trappe, etc.) ou fixe (vitrage). En maçonnerie, désigne l'angle rentrant ménagé pour encastrier une huisserie, un cadre, un volet, etc.

GÂCHAGE n.m. :

Introduction de l'eau nécessaire à l'hydratation d'un liant, en général additionné de charges (cas des bétons et mortiers) et parfois d'ajouts, puis malaxage du mélange jusqu'à l'obtention d'une pâte utilisable.

HOURDIS n.m. :

Bloc manufacturé fait de béton de granulats, de béton léger, de céramique, de mousse isolante rigide, ou d'une association de ces matériaux, et servant à remplir les entrevous, espaces vides entre les poutrelles de béton armé ou de métal d'un plancher.

LAITIER n.m. :

Mélange résiduel alcalino-terreux (surtout chaux, alumine et silice) produit par les hauts fourneaux métallurgiques lors de la fusion du minerai de fer avec le coke.

Les laitiers sont utilisés en cimenterie sous forme de granulés (obtenus par brusque refroidissement dans l'eau).

PARAISON n.f. :

Aplanissage du verre en fusion sur une table métallique dite *marbre*.

PAVES DE VERRE n.m. :

Ce sont des carreaux épais en verre moulé, pleins ou creux, de 5, 8, ou 10 cm d'épaisseur; ils sont destinés à être sertis dans une résille de béton armé pour composer des panneaux de béton translucide, en parois verticales (pavés de 19x19 à 24x24 cm, type Nevada, Primalith), ou en parois horizontales de terrasses, pour l'éclairage zénithal des locaux (pavés 12x12 ou 15x15 cm, type Lumax). Les contraintes de dilatation thermique imposent une mise en oeuvre soignée, comportant des bandes compressibles à la périphérie des panneaux.

PORTLAND n.m.

Nom générique des ciments composés à partir d'un mélange d'argile et de calcaire (le nom est celui d'une presqu'île de Grande-Bretagne où était extraite une pierre grise de composition et d'aspect analogues).

TREMPE n.f.

Traitement d'amélioration de la résistance mécanique des glaces; il consiste à les chauffer jusqu'au point de ramollissement, puis à les refroidir brusquement, en soufflant de l'air froid simultanément sur chaque face. C'est le traitement appliqué, par exemples, aux *verres Sécurité*.

Dicobat, Ed Arcature, 1994, ris-orangis.

9. BIBLIOGRAPHIE

La preuve par R.Piano que les tours peuvent être intelligentes – Article du Monde du 05.10.01.
D'Architectures n°101 – avril 2000.
Verre actualités n°168 – avril/mai 2000.
Technique et architecture 456 p106.
L'encyclopédie du bâtiment de 1968 et 1998.
L'institut du verre, Paris.
Documentation Saint-Gobain, Institut du verre.
Construire en verre, de nouveaux matériaux pour l'architecture, 1881-1937, thèse de doctorat de Paris IV -Sorbonne, A-L CARRE-COURSARIS.
Technique et Architecture sept 1990 n°391.
Le béton translucide, Dr techn. Ing. POLIVKA-JAROSLAV, Bruxelles 1934.
CSTC Magazine, hi vers 1996.
Dicobat, Ed Arcature, 1994, Ris-Orangis.
Renzo Piano, Un regard construit, Ed du Centre Pompidou, Paris 2000.
Pierre Chareau, Architecte, Un art intérieur, monographie, Paris 1993.
Glass in architecture and decoration, Mc GRATH, London,1961.

10. ANNEXES

Fabrique et transformateur-négociant en France

Briques de verre

Fabrique

LA ROCHERE

SAVERBAT

Transformateur-négociant

ALLARD

BATI VERRE

MIROITERIE BOSCH

DECKER TALLOTE LAURENCE

DEVERGEZE ET CLAVIER

MIROITERIES DUBRULLE

MIROITERIE JEAN DUTHEIL

EMAVR MIROITERIE MARTIN

VERRE ET GLACE D'EPINAY

MIROITERIE GBM

GLACES ET VERRES

MIROITERIE JOSSE

LASRY VITRAGE

CLAUDE LAUMOND

LHULLIER SEYER

VITRAGES ISOLANT DE LORRAINE

MACOCCO

MIROITERIE MARCHAND

MIROITERIE CENTRALE

MIROITERIE LE KAP VERRE

MONARD

MIROITERIE DE L'OUEST

VITRERIE PERI'GLASS

RANNEAD SA

LES VITRAGES DE SAINT GOBAIN

MIROITERIE SEDANAISE

SVF -SOCIETE VERRIERE FRANCAISE

SOREMIR

MIROITERIE SV

TARGE

MIROITERIE VOSGIENNES

Pavé de verre

Fabriquant

LA ROCHERE

VERRERIE DE SAINT-JUST

SAVERBAT

Transformateur-négociant

BATI VERRE

MIROITERIE BOSCH

DECKER TALLOTE LAURENCE

DEVERGEZE ET CLAVIER

MIROITERIES DUBRULLE

MIROITERIE JEAN DUTHEIL

VERRE ET GLACE D'EPINAY

MIROITERIE GBM

GLACES ET VERRES

MIROITERIE JOSSE

KOENIG-REMINGER

CLAUDE LAUMOND

VITRAGES ISOLANT DE LORRAINE

MACOCCO

MIROITERIE MARCHAND

MBM

MIROITERIE LE KAP VERRE

MONARD

MIROITERIE DE L'OUEST

VITRERIE PERI'GLASS

RANNEAD SA

LES VITRAGES DE SAINT GOBAIN

MIROITERIE SEDANAISE

MIROITERIE SIMON

SVF -SOCIETE VERRIERE FRANCAISE

SOREMIR

MIROITERIE SV

TARGE