

Zeitschrift: Ingénieurs et architectes suisses

Band: 127 (2001)

Heft: 17

Artikel: Matériaux novateurs pour les structures du bâtiment: un défi pour les architectes et les ingénieurs

Autor: Keller, Thomas

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-80060>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 18.03.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Matériaux novateurs pour les structures du bâtiment: un défi pour les architectes et les ingénieurs

(GÉNIE CIVIL)

Comme ceux qui ont révolutionné la construction il y a un siècle environ, de nouveaux matériaux de structure prometteurs font aujourd'hui leur apparition: il s'agit de développements basés sur le ciment (bétons à haute performance, à fibres courtes et à armature textile) et de composites à base de matières synthétiques renforcés par des fibres non métalliques. Le présent article aborde les rapports généraux entre la forme des structures et les propriétés des matériaux, pour examiner ensuite plus particulièrement les composites renforcés par des fibres de verre, qui permettent l'intégration de fonctions statiques, thermiques et d'équipement. Un aperçu de la première phase d'application des composites dans les années cinquante et soixante permet d'analyser l'utilisation de ces matériaux dans la perspective de futures mises en œuvre conformes à leur nature spécifique.

Comme le montre toute l'histoire de la construction jusqu'à nos jours, les progrès fondamentaux dans ce domaine ont toujours été liés à l'usage de nouveaux matériaux. L'emploi de la fonte aux XVIII^e et XIX^e siècles, de même que celui du béton armé durant la première moitié du XX^e ont en outre puissamment contribué à des transformations fondamentales de la société, comme par exemple l'industrialisation ou la rapide reconstruction d'après-guerre.

De nouveaux matériaux sont aujourd'hui disponibles

Pour la première fois depuis les applications initiales du béton il y a à peu près un siècle, de nouveaux matériaux prometteurs font aujourd'hui leur apparition dans le domaine de la construction: des développements basés sur le ciment (bétons à haute performance, à fibres courtes et à armature textile) et de matériaux composites à base de matières synthétiques renforcés par des fibres non métalliques. Tous ont en commun d'être de véritables matériaux de construction légère et de se prêter à la préfabrication industrielle.

Ce potentiel pour la construction légère peut être illustré par les notions de longueur limite et de degré d'auto-char-

gement. La longueur limite d'un matériau se définit comme la longueur ultime atteinte par un fil en suspension au moment où il se rompt sous son poids propre. La figure 1 donne l'ordre de grandeur des longueurs limites pour des matériaux traditionnels tels que le béton, l'acier et le bois, ainsi que celles des nouveaux matériaux. Pour les matériaux travaillant avant tout en compression, c'est la résistance à la compression, au lieu de celle à la traction, qui est donnée. La longueur limite est liée au degré d'auto-chargement ω , défini (de manière simplifiée) comme suit [1]¹ :

$$\omega = g / (g + q) = k \cdot l / l_G \quad (1)$$

où :

g = poids propre

q = charge utile

l = portée de la structure

l_G = longueur limite

k = constante liée à la forme structurelle.

Il ressort de l'équation (1) que, pour les portées usuelles dans la construction, les degrés d'auto-chargement de ces nouveaux matériaux (en particulier des composites) deviennent très faibles en raison de leurs importantes longueurs limites. Les charges utiles variables excèdent donc de beaucoup leur poids propre et, comme nous le verrons plus loin, cela n'est pas sans conséquence pour leur mise en forme.

La réduction dimensionnelle des éléments autorisée par ces hautes résistances, leur faible poids (pour le transport et le montage) et leur mode de fabrication sous forme liquide favorisent en outre la production d'éléments de construction de manière industrielle. Dans la branche de la construction, l'usage accru de tels matériaux tend à accélérer la transition attendue entre les longs et coûteux procédés de fabrication sur le chantier, en milieu mouillé, et les modes de construction légère, par montage à sec. Soutenue par les développements des machines numériques, une construction industrialisée est aujourd'hui parfaitement envisageable, avec une qualité qui n'a plus rien de commun avec la production en série des années soixante et septante. La liberté d'expression architectonique et les solutions originales ne font pratique-

¹ Les chiffres entre crochets renvoient à la bibliographie en fin d'article.

Fig. 1: Tableau présentant la longueur limite de différents matériaux de construction

Fig. 2: Exemple d'intégration structurelle: chaise Panton en composites renforcés par des fibres de verre, 1960 (Source: [7])

ment plus l'objet de limitations. De plus, une modularité adéquate permet de répondre plus efficacement aux nouvelles exigences de flexibilité et de convertibilité des constructions. Enfin, la production industrialisée favorise substantiellement l'assurance de la qualité.

Les matériaux composites sous la loupe

Parmi les innovations qui apparaissent, les composites occupent une place de choix: d'une part, les développements y sont le plus avancés (des bâtiments et des ouvrages faisant appel à ces matériaux existent déjà), d'autre part, comme le démontre l'histoire des techniques de construction, les problèmes qui se posent lors de la mise au point et de l'introduction de nouveaux matériaux se présentent toujours de manière analogue. La plupart des considérations ci-après peuvent donc également être appliquées à d'autres matériaux.

À l'heure actuelle - et avant tout pour des raisons de coûts -, seuls les composites renforcés par des fibres de verre jouent un rôle significatif dans la réalisation d'ouvrages, les composites renforcés de fibres de carbone étant réservés à des éléments de traction (éléments de renforts et câbles de précontrainte). La discussion ci-après se limitera donc aux composites renforcés par des fibres de verre qui, comme matériaux de construction pour le bâtiment, se distinguent essentiellement par les caractéristiques suivantes:

- une haute résistance pour un faible poids propre (longueurs limites élevées),
- une résistance étendue à la corrosion,
- une capacité d'intégration structurelle,
- une capacité d'intégration des fonctions,
- un choix étendu de couleurs et de degrés de transparence,
- une large conformité aux critères relevant du développement durable.

La première de ces caractéristiques a été explicitée plus haut. La résistance à la corrosion, quant à elle, rend tout entretien pratiquement superflu et l'apport d'éléments protecteurs, tels que peinture ou traitements chimiques est en principe inutile. Certes, sous l'influence des UV et en fonction de la couleur de base, une teinte jaunâtre plus ou moins perceptible est susceptible d'apparaître. Or ce problème de coloration peut, comme c'est d'ailleurs le cas pour d'autres matériaux, être anticipé comme patine, dans le cadre d'un concept visuel prédéfini. On précisera que les caractéristiques du matériau ne s'en trouvent nullement altérées et que, par ailleurs, les éléments peuvent en tout temps être recouverts d'une couche de peinture.

Le libre choix de la forme autorisé par la flexibilité des fibres et l'usage sous forme liquide permet une intégration struc-

Matériau	Béton	Acier	Bois	Béton à haute performance	Matériaux composites
Longueur limite	~1-2 km	~4-7 km	~15-20 km	~2-10 km	~20-200 km

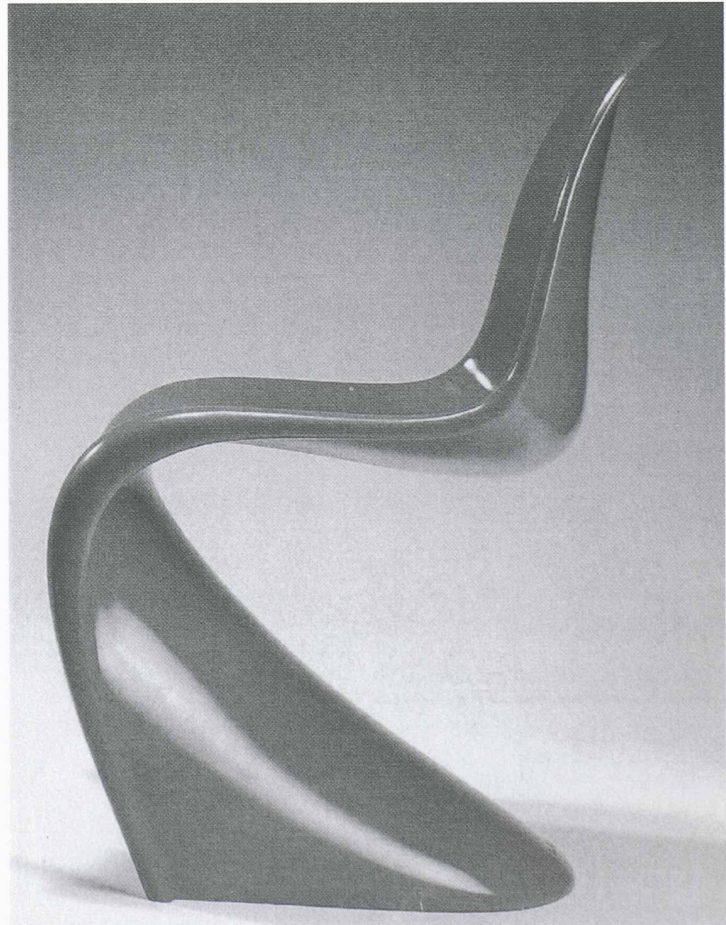
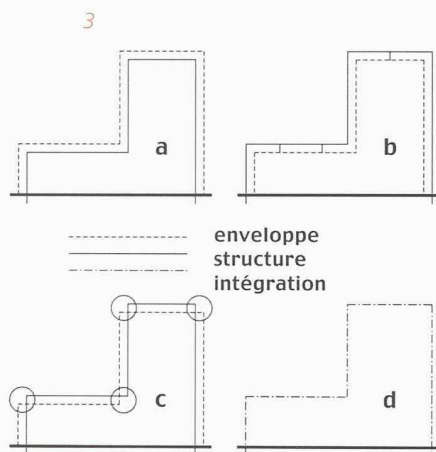


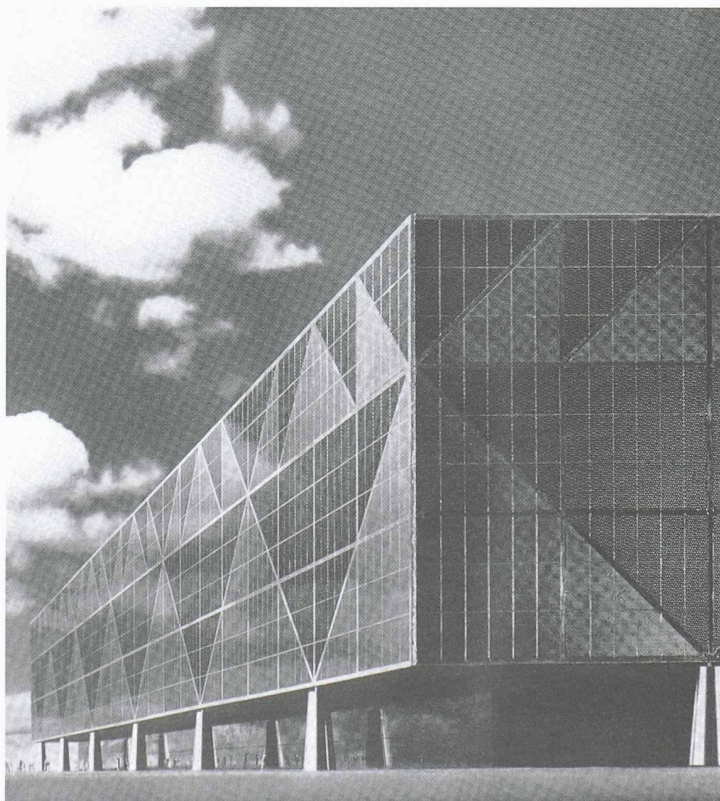
Fig. 3: Représentation schématique des différentes conceptions d'enveloppe et de structure: a) structure porteuse emballée (juxtaposition des couches); b) structure porteuse extérieure (juxtaposition des couches); c) interpénétration de l'enveloppe et de la structure porteuse (juxtaposition alternée des couches); d) enveloppe structurelle monocouche

Fig. 4: Convention Hall à Chicago, Mies van der Rohe (projet 1953-54)
(Source: BLASER W.: «Mies van der Rohe, the art of structure», Birkhäuser, 1993)

Fig. 5: Bâtiment «Eyecatcher» à Bâle, avec structure en matériaux composites, 1999



4



turelle poussée: des éléments de structure tels que des raidisseurs, des nervures, des attaches ou des découpes peuvent être incorporés sans jointures et au cours du même processus de fabrication. Le nombre d'éléments et d'étapes de montage s'en trouve considérablement réduit. La structure est ainsi constituée d'éléments porteurs surfaciques, renforcés où cela est nécessaire par des nervures et des raidisseurs intégrés (fig. 2).

Dans le domaine du bâtiment toutefois, le réel potentiel de ces matériaux réside dans leur possible intégration des fonctions: en effet, contrairement aux matériaux traditionnels comme l'acier ou le béton, la faible conductivité thermique des composites exclut la formation de ponts thermiques. La problématique de l'isolation thermique, apparue à la suite de la crise énergétique des années septante, a présidé à la mise au point de systèmes de façades multicouches complexes - où l'enveloppe est séparée de la structure porteuse - qui a fini par imposer la logique de l'«emballage», comme c'est le cas dans la variante a présentée à la figure 3. Or du point de vue architectural, une telle conception annihile des conquêtes essentielles et notamment les formes d'expression architecturales développées par Mies van der Rohe ou Le Corbusier, par exemple (fig. 4). Il est vrai que l'emploi de la structure porteuse comme moyen d'expression architectural entraîne inévitablement des problèmes: dans la variante b, c'est le nécessaire accrochage de l'enveloppe, et donc son percement, qui est source de difficultés. Quant à une conception où structure et enveloppe s'interpénètrent, représentée (de façon schématique) par la variante c, elle conduit presque inévitablement à l'apparition de ponts thermiques.

Aujourd'hui, l'application des composites à la réalisation de structures porteuses permet à nouveau des conceptions selon b et c, rendant du même coup à l'architecte des moyens d'expression qu'il avait perdus. Mais il y a plus intéressant encore: la mise en œuvre de tels matériaux ouvre la porte à des concepts selon le schéma d, qui réalisent la fusion complète de l'enveloppe et de la structure, préparant le terrain à des enveloppes structurelles monocouches polyvalentes. Leur plasticité illimitée autorise en effet l'intégration de fonctions aussi bien statiques, que thermiques et d'équipement dans des éléments de structure sandwich. En plus de l'intégration structurelle, cette intégration des fonctions contribuera à réduire encore le nombre des éléments de construction, avec des répercussions favorables sur les temps de montage et les coûts. Quant à l'accroissement du volume d'études que cela suppose, son influence n'en demeure pas moins tout à fait marginale dans ce contexte. Enfin, le

choix de teintes est quasi-illimité (intégration de la couleur) et, selon la teneur en fibres, celui du niveau de transparence (intégration de la lumière naturelle).

Ainsi conçue, l'intégration des fonctions constitue un défi lancé aux architectes et aux ingénieurs: si elle est conséquemment mise en œuvre, elle débouchera certainement sur un nouveau langage formel et des modes d'expression inédits. En même temps, la possible intégration de contraintes architectoniques et statiques soumettra la collaboration entre les deux types de concepteurs à des exigences élevées.

Sur le plan environnemental, l'application de composites renforcés par des fibres de verre à la réalisation de structures porteuses tend à rejoindre les impératifs du développement durable. En matière d'énergie grise, la production de composites renforcés par des fibres de verre ne consomme en effet qu'un quart de l'énergie nécessaire à la fabrication d'acier, ou un sixième de celle requise pour l'aluminium par exemple. Principalement faites de farine de silice et de calcaire, les fibres de verre constituent des matières écologiques tirées de ressources inépuisables. Quant à la résine synthétique, elle doit être considérée de manière différenciée: si actuellement, elle fait encore majoritairement appel à des polyesters - soit des résines thermodurcissables qui, liées à des fibres de verre, ne permettent qu'un recyclage limité (transformation en granulats et utilisation comme matériau de remplissage, recyclage vers une qualité inférieure) - la tendance est à leur remplacement par des thermoplastiques pouvant être refondus pour un recyclage complet.

Les résines employées proviennent aujourd'hui de résidus engendrés par la transformation du pétrole. Lorsqu'elles sont affectées à la réalisation de structures porteuses, l'énergie contenue dans la matière première se trouve toutefois mise en réserve pour plusieurs décennies, voire pour plus d'un siècle en cas de recyclage. De plus, et même si les applications sont appelées à se multiplier, les quantités de matière concernées demeurent comparativement peu importantes. On peut donc affirmer que l'emploi de résines synthétiques pour la réalisation de structures porteuses représente probablement l'usage le plus durable qui est actuellement fait des combustibles d'origine fossile. Par ailleurs, d'autres matières, de nature organique, sont également envisageables à terme comme matériau de base.

Quelques précisions s'imposent encore sur le comportement au feu des composites. S'ils sont par essence inflammables, les produits aujourd'hui disponibles sont conçus pour empêcher la propagation du feu, ils ont un comportement auto-extincteur et ne dégagent pas de fumées toxiques. Les



Fig. 6: Détail de la structure plissée, raidie et assemblée de façon modulaire, du bâtiment présenté à la fig. 7 (Source: DINI M.: «Renzo Piano, Progetti e architetture 1964-1983», ed. Electa Milano, 1983)

Fig. 7: Fabrique itinérante pour l'extraction de soufre à Pomezia (Rome), Renzo Piano, 1966 (Source: idem fig. 6)

connaissances qui font encore largement défaut concernent leur perte de résistance: comparée à celle de l'acier par exemple, celle-ci intervient certes beaucoup plus tôt; en revanche, et en raison de leur faible conductivité thermique, l'élévation de la température est ralentie d'un facteur 200 environ. De plus, si l'ancrage est correct, la portance du réseau de fibres de verre demeure préservée.

Aspects formels illustrés par le bâtiment «Eyecatcher»

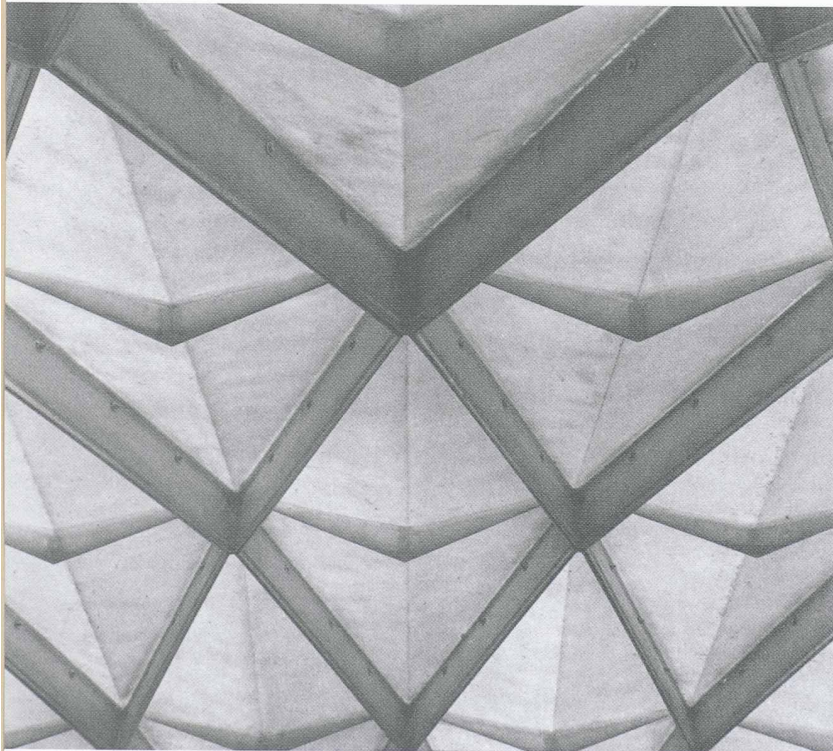
Comme nous l'avons déjà signalé, des bâtiments et des ouvrages d'art en matériaux composites commencent

du bâtiment «Eyecatcher» se présentent comme suit :

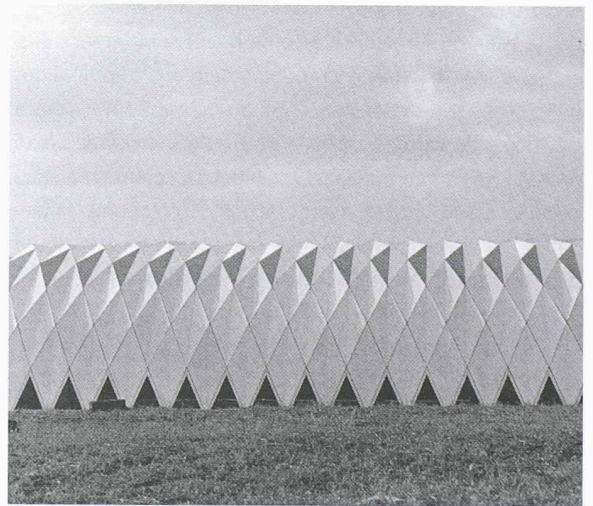
- structure porteuse primaire constituée de profilés en composites,
- technique d'assemblage par collage,
- éléments de façade sandwich translucides en composites,
- bâtiment démontable,
- procédé de construction industrialisée par montage.

N'étant pas encore intégrés à la structure primaire, les éléments de façade translucides n'ont qu'une fonction isolante. Grâce à la mise en œuvre des composites toutefois, la structure porteuse transperce la façade à plusieurs endroits sans pour autant créer de ponts thermiques. De ce point de vue,

6



7



aujourd'hui à être construits. En Suisse, deux réalisations entrent dans cette catégorie: une passerelle piétonnière à Pontresina [2] et l'immeuble «Eyecatcher» à Bâle. Après sa première mise en service lors de la *Swissbau* 1999, ce dernier a été démonté, puis remonté à son emplacement actuel (Bâle-Dreisitz). Cet édifice, qui est certainement représentatif de l'état actuel de la technique au niveau mondial et a été primé au plan international, nous servira ci-après d'exemple pour illustrer les perspectives abordées à propos de la variante de conception *d*. Les caractéristiques principales

le bâtiment s'inscrit dans le type de conception *c*, les possibilités décrites pour le type *d* n'étant encore que partiellement exploitées.

L'immeuble «Eyecatcher» a été conçu à partir des éléments de construction en composites - profilés et panneaux sandwich plans - actuellement disponibles sur le marché.

L'ambivalence esthétique qui en découle est clairement perceptible (fig. 5). Son expression formelle emprunte à la fois à la construction métallique (profilés) et à la construction en bois (moisages) [3].

Cela dit, l'histoire des techniques de construction montre que l'arrivée de nouveaux matériaux est toujours suivie d'une phase de substitution, durant laquelle ils commencent par être appliqués à des formes traditionnelles [4]. Ainsi, par exemple, le fer a d'abord été mis en œuvre dans des formes caractéristiques à la pierre ou au bois, avant que les profils de charpente et les cadres de structure appropriés à ce matériau aient été développés.

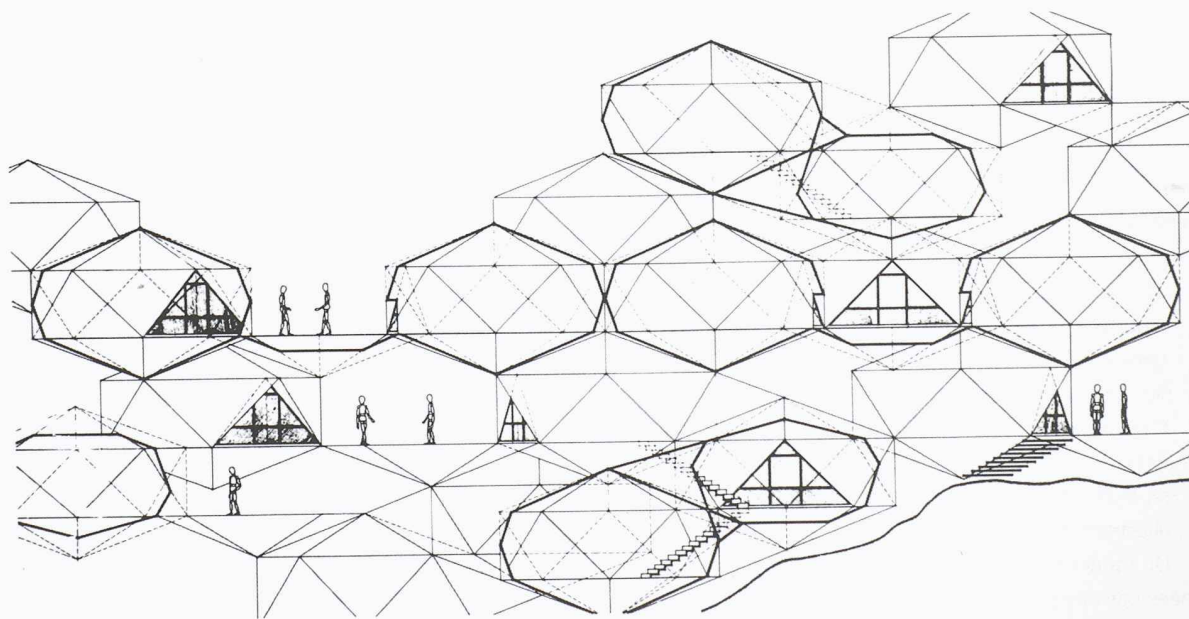
Il en va de même pour le béton, qui a initialement été employé sur le mode linéaire de la construction métallique, avant que n'apparaissent et s'imposent les systèmes porteurs surfaciques.

tion qui leur soient conformes [5]. Dans cette perspective, les assemblages collés réalisés sur le bâtiment «Eyecatcher» constituent déjà un pas important.

Recherches de formes - évolution historique

La recherche de solutions formelles constitue un élément central du développement de nouvelles structures et modes de bâtir lors de l'introduction de nouveaux matériaux de construction. Si la recherche de formes n'obéit à aucune recette toute faite, il existe tout de même quelques contraintes inhérentes aux matériaux qui peuvent montrer la voie et que nous nous proposons d'aborder ici.

8



Typiquement, les éléments de construction en composites qui sont aujourd'hui proposés pour les structures porteuses sont de préférence des profils dont les sections reproduisent exactement celles de leurs homologues en acier. Même le mode d'assemblage - par vissage - a jusqu'ici été repris. Or les propriétés anisotropes qui distinguent ces matériaux de l'acier ne peuvent être qu'insuffisamment exploitées de cette manière. Pour que ces matériaux puissent s'imposer, il est donc indispensable de développer des solutions structurales, des techniques d'assemblage et des procédés de construc-

En ce qui concerne les matériaux composites, il faut en outre signaler que ceux renforcés par des fibres de verre ont déjà connu une série d'applications très abouties durant la période allant de la fin des années cinquante au début des années septante, notamment dans le domaine du bâtiment.

À l'époque de la reconstruction qui a suivi la fin de la Seconde Guerre mondiale, il s'agissait tout d'abord de remédier aussitôt que possible à la pénurie de logements, tandis que l'industrie chimique cherchait de son côté à s'assurer de nouveaux débouchés. Or des habitations en composites

Fig. 9: Maison Feierbach fg2000 en matériaux composites à Altenstadt, Hesse, 1968 (Source: LUDWIG M.: «Mobile Architektur», DVA Stuttgart, 1998)

Fig. 10: Maison Monsanto en matériaux composites à Disneyland, Los Angeles, 1957 (Source: [7])

9



représentaient un moyen rapide et bon marché de répondre à ces besoins.

Dans la perspective de futurs modes d'application, quelques exemples précurseurs, choisis parmi plus de deux cents réalisations ou projets, seront analysés sous l'angle de leurs qualités formelles et de leur niveau d'intégration structurelle et de fonctions. Au chapitre des formes structurelles, trois types de conception peuvent être globalement identifiés :

- des structures plissées raidies et assemblées de façon modulaire (dont les figures 6 et 7 montrent des exemples typiques);
- des agrégats de cellules d'habitation autoportantes de forme polyédrique (exemple de la figure 8);
- des coques de type modulaire à simple ou double courbure, le plus souvent réalisées avec des éléments sandwich (illustrées par les figures 9 et 10).

On est donc en présence de formes entièrement déterminées par des systèmes porteurs surfaciques dits actifs par forme, autrement dit dont la capacité porteuse et la rigidité sont dictées par le choix de la forme juste et non par la résistance à la flexion. Etant donné les propriétés intrinsèques des composites, de telles formes peuvent être considérées comme parfaitement adaptées au matériau, soit conformes à ses spécificités: à côté de leur haute résistance, les composites présentent en effet des modules de rigidité relativement faibles.

C'est pourquoi leur emploi comme éléments de flexion, sous formes de poutres par exemple, s'avère défavorable. En outre, la fabrication d'éléments porteurs surfaciques est très facilement réalisable en dépit du caractère anisotrope du matériau. Le faible diamètre des fibres permet en effet de les regrouper en faisceaux de manière à constituer des éléments

de renfort surfaciques, tels que des textures stratifiées et tissées multiaxiales.

Les formes de base sont par ailleurs renforcées de bout en bout par des nervures intégrées ou par un mode de construction en sandwich dans le sens de l'intégration structurelle. Ces raidisseurs qui influent sur la forme sont rendus nécessaires par le faible degré d'auto-chargement ($\omega \approx 0,1 - 0,3$). Or des structures actives par forme nécessitent a priori un degré d'auto-chargement plutôt élevé ($\omega > \sim 0,5$), puisqu'elles sont souples à la flexion et donc sensibles à des cas de charges variables [5]. Une rigidité minimale à la flexion est donc nécessaire pour pouvoir malgré tout appliquer des matériaux de construction légère de manière active par forme.

Outre ces formes de base courbées ou pliées, l'expression architectonique globale se distingue également par des détails arrondis (fig. 2). La déviation des fibres nécessitant un rayon de courbure minimal, les arêtes ne sont pas conformes aux propriétés du matériau et doivent par conséquent être bannies.

Pour la réalisation d'habitations (fig. 9 et 10), on a pratiquement uniquement fait appel à des structures sandwich, assurant ainsi l'intégration de fonctions tant statiques que thermiques et, dans le domaine sanitaire, des conduites ont fréquemment été intégrées aux panneaux sandwich. Ces réalisations étaient entièrement conçues de façon modulaire et destinées à une production industrielle. Bien que de conception assez coûteuse, la maison Monsanto, développée par le MIT, représente certainement l'objet le plus abouti dans le domaine de l'habitation. Malgré l'orientation vers la production industrielle, la maison offre une grande variété de configurations pour l'agencement des locaux (fig. 11).

En résumé, l'analyse des objets construits durant cette première période d'application débouche sur les conclusions suivantes:

- les formes mises en œuvre l'étaient dans la plupart des cas de manière conforme aux propriétés des matériaux;
- la double intégration, structurelle et des fonctions, était largement réalisée;
- les bâtiments étaient conçus pour une production industrialisée.

Autrement dit, tous les aspects d'une conception selon la variante *d* furent déjà concrétisés à l'époque. La question se pose dès lors de savoir pourquoi l'évolution s'est arrêtée au début des années septante et, en particulier, si les mêmes raisons perdurent aujourd'hui, après la reprise des développements au début des années nonante.

Cet abandon peut être attribué à un faisceau de causes qui relèvent pour l'essentiel:

- du manque de soutien de la part des architectes et de l'industrie de la construction,
- de l'absence de période de transition nécessaire à la substitution des matériaux,
- d'une qualité de matériaux et de mise en œuvre souvent insuffisante (impossibilité de réaliser des bâtiments à plusieurs étages).

Marquées par le miracle économique, les années soixante furent l'époque d'un nouveau bien-être, couplé à une aspiration vers l'individualité. La maison de série fabriquée industriellement perdit donc de son attrait et les architectes n'y consacèrent plus l'attention nécessaire. Quant à l'industrie

de la construction, ses carnets de commande bien remplis ne l'incitaient guère à innover, si bien que le développement de maisons en matériaux synthétiques fut essentiellement soutenu par la seule industrie chimique (*Dynamit-Nobel, DuPont, Monsanto, etc.*).

La phase de substitution qui suit habituellement l'apparition de nouveaux matériaux n'eut pas lieu. Dans l'esprit de l'époque (euphorie de la conquête spatiale) et en s'appuyant sur le design de mobilier, on adopta une expression formelle futuriste qui, bien que conforme - comme on l'a vu - aux propriétés des nouveaux matériaux, fut finalement rejetée, surtout pour le genre de construction pétri de valeurs traditionnelles que représente la maison individuelle. Car si la phase de substitution (telle que nous la traversons aujourd'hui) doit être surmontée, elle n'en demeure pas moins indispensable et remplit une fonction importante: elle permet d'établir la confiance dans les nouveaux matériaux, ainsi qu'un passage progressif vers de nouvelles applications formelles, ce qui finit par leur rallier l'adhésion nécessaire.

Un autre obstacle décisif peut être décelé dans la qualité encore insuffisante des matériaux. Des structures de plusieurs étages n'étant pas encore envisageables, les réalisations demeurèrent limitées à des maisons individuelles d'un étage et à des systèmes de couverture. De plus, l'évolution technique n'étant globalement pas encore tout à fait mûre, la qualité d'usinage demeurait souvent insatisfaisante.

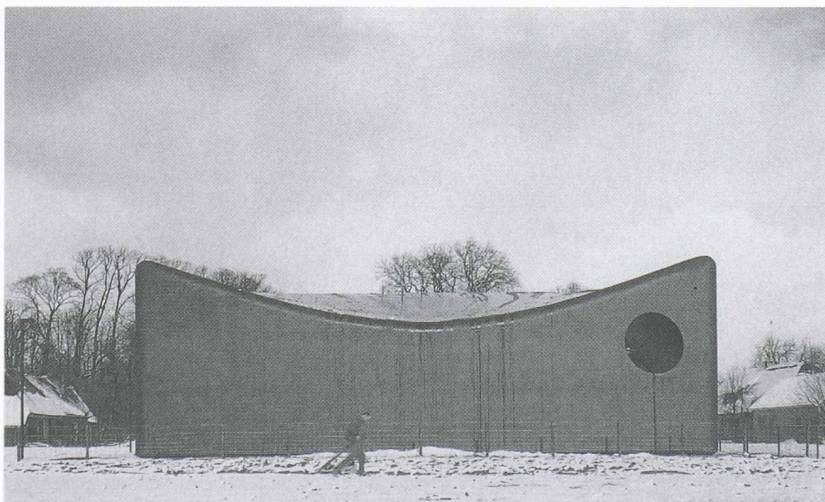
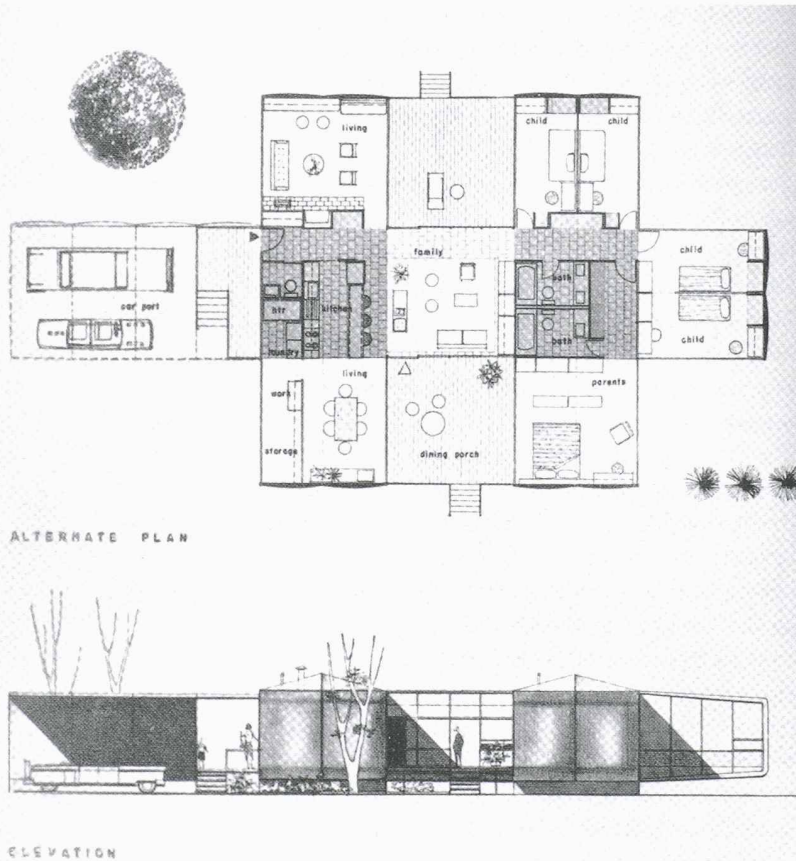
10



Fig. 11: Maison Monsanto, variante de conception spatiale (Source: [7])

Fig. 12: Station de transformation de chaleur WOS8, présentant une enveloppe structurelle synthétique, à Utrecht, NL Architects Amsterdam, 1998 (Source: Werk, Bauen+Wohnen, cahier d'avril 1999)

11



12

Conclusions et perspectives

Si l'on énumère les raisons qui ont conduit à l'abandon des développements dans les années septante, on constate qu'elles ont aujourd'hui disparu. Le facteur désormais décisif pour l'évolution future porte sur la poursuite déterminée de méthodes de production industrialisées mais non standardisées. Nous sommes aujourd'hui dans la phase de substitution des matériaux, qui a déjà permis de constituer un important capital de confiance. Les cinq étages de l'immeuble «Eyecatcher» - qui, avec quelque quinze mètres de hauteur, est jusqu'ici de loin la plus haute réalisation en composites au monde - démontrent que les matériaux maintenant disponibles sont de qualité élevée et correspondent aux standards actuels.

Un autre facteur d'évolution dépendra de la disposition (et de l'aptitude) des architectes et des ingénieurs à relever le difficile défi consistant à dépasser la phase de substitution et à développer un langage formel indépendant qui rallie les suffrages. De par la nature des matériaux en jeu, il s'agira d'un langage qui se démarque des formes d'expression orthogonales et anguleuses qui prévalent aujourd'hui: il sera plus rond et plus doux, à l'exemple de celui appliqué à l'ouvrage de la figure 12.

Au seuil de l'ère de l'information et à l'heure où la complexité des phénomènes sociaux ne peut encore être appréhendée de manière globale, les exigences auxquelles l'industrie de la construction sera appelée à répondre vont aussi considérablement augmenter. Il est en effet difficilement concevable que, dans vingt ans, l'on réalise encore des ouvrages sur place, selon un mode de construction en milieu mouillé. Dans un contexte en rapide mutation et comme ce fut déjà le cas à l'avènement de l'ère industrielle, les nouveaux matériaux qui, couplés à des procédés de construction novateurs, permettront des adaptations à la fois plus rapides et plus avantageuses, quoique d'un niveau qualitatif élevé, seront tout particulièrement recherchés, voire cruciaux pour envisager le progrès.

Bibliographie

- [1] HUGI H.: «Einführung in die Statik der Tragkonstruktionen», Verlag vdf, Zurich, 1992
- [2] KELLER TH., KÜNZLE O., WYSS U.: «Fussgängerbrücke Pontresina in GFK - Schweizer Premiere und Weltneuheit», *SI+A* 12/1998, pp. 8-11
- [3] KELLER TH., KÜNZLE O., WYSS U.: «Eyecatcher - fünfgeschossiges Gebäude mit GFK-Tragstruktur», *SI+A*, 17/1999 pp. 4-7
- [4] KELLER TH.: «Struktur und Form - Zur Entstehung materialgerechter Strukturformen», *SI+A*, 12/1998 pp. 4-7
- [5] KELLER TH.: «Struktur und Form im Kontext der Materialisierung», documentation sia D 0160, 1999
- [6] CALZONI R., HARRINGER S.: «Untersuchungen über die materialgerechte Strukturform von Faserverbundwerkstoffen», travail de diplôme, dpt. d'architecture, EPF Zurich, 1998
- [7] EBERLE M., SCHERRER M.: «Baustuktur», travail de diplôme, dpt. d'architecture, EPF Zurich, 1999