

Habitat ²¹



**Pour la création
d'un organisme
de recherche**

Prototypage

Béton fibré

Internet

2001 : 21^e, 3^e

Vingt-et-unième siècle, troisième millénaire et 21^e numéro d'**Habitat** : quelle importance ? Les chiffres ont la valeur symbolique que chacun veut bien leur accorder. Ici, nous attachons plus d'importance à la réalité. Cette conjonction particulière est seulement l'occasion d'un clin d'œil amusé.

Nous souhaitons une liberté de formes pour l'habitat. Mais ce n'est pas la liberté sans but, dans le vide. C'est la liberté de rechercher la qualité maximale. Elle suppose l'exploration de la réalité, humaine et environnementale. Face à celle-ci, la modestie s'impose. Les outils scientifiques et technologiques nous apparaissent les mieux adaptés, car ils supposent une constante remise en question. Sans oublier que poésie et science font bon ménage.

Devant l'immense territoire ouvert, nous tentons de tracer quelques pistes de recherche. Nous avons éprouvé durant l'année écoulée un étonnant sentiment de solidarité. L'utilisation d'Internet nous a révélé combien un certain type d'habitat pouvait être répandu dans le monde. Il reste à mettre en communication les énergies révélées pour en augmenter l'efficacité. La marginalité que nous avons aussi constatée n'est pas une fin en elle-même. Elle n'est qu'un moment dans la recherche, avant une communication si possible universelle. Les années à venir doivent être passionnantes.

SOMMAIRE

- 3 - Pistes de recherche
- 7 - La maison organique de Naucalpan (Mexique)
- 11 - Les voiles de béton armé ont-ils la forme ?
- 18 - Mosaïque d'événements
- 21 - De l'image virtuelle à une réalité personnalisée
- 23 - Le béton fibré : un matériau performant
- 24 - Coques dans le monde par Internet
- 26 - Un livre sur le ferrociment publié aux U.S.A.

Illustration de première page : projet de sculpture de Daniel Bord.

Habitat n°21, une publication de l'association Homme et habitat, Rédaction et administration : chemin Vetter - 69270 Fontaines-sur-Saône (France). & (33) 04 78 08 07 37 - Fax (33) 04 78 08 64 57 - E-mail: chrHabitat@wanadoo.fr.

Pistes de recherche

Pour la création d'un organisme d'étude

Qui n'a pas rêvé d'une maison où il ferait bon vivre ?

La curiosité conduit souvent à la découverte d'une maison inconnue. Mais face à la nouveauté, des sentiments contraires, d'attrait et de rejet se manifestent. Il est difficile d'échapper à un vieux rêve. Toute proposition subjective se heurte presque toujours à une autre subjectivité. L'harmonie des rencontres est bien rare.

Comment améliorer les habitations en passant l'obstacle des préventions personnelles ?

Il faut distinguer ce qui est objectif, susceptible d'être expliqué et accepté par (presque) tous, et, ce qui est subjectif, inexplicable ou relevant du choix individuel.

Nous considérons ici comme « objectif » tout ce qui va améliorer l'adaptation des logements à ceux qui y vivent. C'est le champ de la recherche habitologique.

La part subjective va résider dans la sélection et l'utilisation personnelle des données objectives offertes. Pour une maison individuelle⁽¹⁾, le futur habitant pourra :

- procéder lui-même à la mise en œuvre : on parlera alors d'autoconstruction, avec la possibilité de créations personnelles ;
- faire le choix des caractéristiques avec l'aide d'un concepteur, la mise en œuvre étant confiée à des professionnels ;
- pratiquer un mélange de ces deux premières solutions.

Le dernier cas devrait être le plus fréquent, compte tenu d'un manque de temps et des connaissances insuffisantes, associées néanmoins à une pratique très répandue du bricolage.

Recherches multiples

Nous vivons avec un environnement extérieur, dans des espaces intérieurs, des formes, dédiées à de multiples fonctions : la cuisine,

les repas, le sommeil, les loisirs, une existence familiale et sociale. Nos facultés psychosensorielles doivent y trouver leur épanouissement, dans les fonctionnalités et dans l'ambiance, comme notre personnalité dans toute sa diversité, y compris dans le bon fonctionnement du jeu socio-économique (urbanisme).

Quand on tente de définir tout ce qui est susceptible de recherches objectives et par conséquent d'améliorations, on constate que les constructions actuelles n'en recouvrent qu'une très faible partie.

Un formalisme omniprésent impose des choix qui ne correspondent à aucune justification pratique. Le bâtiment, secteur d'activité presque aussi ancien que l'humanité, vit trop souvent à notre époque un rêve passésiste, en méconnaissant les solutions offertes ou à trouver.

Exigence de salubrité

Toute l'histoire de l'architecture montre que les constructions ont évolué avec la technologie.

Depuis plus d'un siècle, le progrès scientifique et technologique s'est considérablement accéléré en raison notamment de l'industrialisation et de l'effet multiplicateur des mécanismes économiques. Or les freins naturels à accepter le changement en matière d'habitat ont entraîné un écart de plus en plus grand entre le développement technique et son intégration dans notre cadre de vie.

Ce décalage n'a pas que des inconvénients : il a pu nous préserver de davantage de nuisances. Car il y a déjà des pollutions que nous n'avons pas su éviter. Il suffit de rappeler, par exemple, les effets nocifs de l'amiante, de certaines peintures et de colles...

Le progrès technique, privé de contrôles impartiaux et interdisciplinaires, peut conduire à de folles solutions. Cette prise de conscience s'impose. Mais faut-il refuser tout changement ?

1 - Ce type d'habitat permet plus facilement la recherche.

La confiance aveugle dans le progrès cède la place à la conviction qu'au stade des applications, il faut prévoir, vérifier, expérimenter, contrôler avant de diffuser. Beaucoup de changements dans notre cadre de vie devraient subir un examen attentif pour en connaître les effets. Il faudra soumettre de plus en plus les nouveaux produits à l'avis de spécialistes de la vie et de l'environnement. La pluridisciplinarité des essais va devenir une nécessité vitale.

La première conséquence évidente, c'est que la maîtrise du progrès technique deviendra de plus en plus complexe. Le contrôle pluridisciplinaire ne sera pas à la portée de la plupart des entreprises. Il va falloir des organismes à compétences multiples.

Rompre avec l'orthogonalité

La mise en accord de notre habitat avec nos connaissances scientifiques et technologiques est devenue l'un des grands défis de notre époque. Il s'agit de la principale, sinon de l'unique issue ouverte à l'évolution de l'architecture. Notre cadre de vie en sera transformé et amélioré, si nous savons gérer ce changement.

Depuis des siècles, les formes de nos constructions ont peu évolué. Elles sont restées semblables à celles qui résultaient de l'emploi de la pierre et du bois: l'orthogonalité des parois plates reste la pratique la plus répandue. L'invention du béton armé, il y a un siècle et demi, n'a entraîné que peu de changements. Les constructions de formes courbes, par exemple, restent des exceptions, alors que chacun reconnaît que, lorsque l'architecture a utilisé des voûtes plus ou moins complexes et des coupes, les œuvres ont été particulièrement appréciées. Qui reste insensible aux merveilles des constructions romanes et gothiques ?

Les habitations contemporaines, comme les produits industrialisés qui leur sont destinés, se limitent presque exclusivement à des combinaisons orthogonales. C'est effectivement la solution la plus simple pour prolonger et assembler des éléments divers. Cette pauvreté géométrique conduit à une extrême monotonie des formes. La variété n'est apportée, dans la plupart des cas, que par la diversité des matériaux employés, leur traitement de surface et les couleurs. Bien souvent, cette diversité se

limite à l'aspect extérieur du bâtiment, aux façades, comme si nous ne vivions qu'à l'extérieur.

Les espaces intérieurs sont indéterminés et polyvalents dans leur forme, même quand ils sont dédiés à un usage (repas, toilette, sommeil...). Ce sont des espaces à remplir, destinés à recevoir le mobilier et l'équipement, qui sont eux-mêmes de formes généralement orthogonales.

Résultat de cette polyvalence généralisée: on produit des volumes bons à tout, mais adaptés à rien. Leur fonctionnalité est médiocre, jamais complètement adéquate. Ils génèrent une impression d'inconfort, comme un vêtement mal coupé. Certains usagers n'en ont pas conscience, car ils sont habitués à ce type quasi unique de construction. Une certaine expression artistique, par de savantes combinaisons des volumes architecturaux et par la décoration, contribue aussi à faire oublier l'inadéquation.

A notre époque, beaucoup ne se contentent plus de cet à-peu-près des formes imposées, alors que des solutions existent et qu'il est possible de les mettre en œuvre. La prise de conscience de cette situation n'est déjà pas négligeable ⁽²⁾. Elle ne peut que croître au fur et à mesure de l'apparition des solutions.

Cette prise de conscience est évidemment nécessaire, car l'enjeu du changement est énorme. Il concerne tous les secteurs du bâtiment. L'évolution ne se fera pas avec une standardisation restreinte, limitée à quelques produits.

La diversité nécessaire

Les voitures sont des machines savamment élaborées en équipe. Tous leurs éléments font l'objet d'études et de tests. Mais l'accueil réservé au produit final conserve, malgré tout, une grande part d'incertitude.

En matière d'habitation, on sait depuis quelques dizaines d'années ⁽³⁾ que les « machines à habiter » ne tentent guère. Elles peuvent surtout correspondre à des usages transitoires: camping-car, logements de vacances, etc...

2 - Cf. les pages 24 et 25 sur Internet.

3 - Les maisons Dymaxion, de Richard Buckminster Fuller, datent des années 30.

Chaque personne est unique : les habitations standardisées, difficiles à personnaliser, ne peuvent pas vraiment satisfaire. Ce qui est accepté pour un véhicule en raison de la nécessité d'une production en série pour abaisser les prix, n'est sans doute pas près de s'imposer sur le marché de l'habitat. La possibilité de choisir et d'adapter son logement à son propre usage est ressentie comme une nécessité, ainsi que l'adaptation au site choisi, qui lui aussi est unique.

Les leçons du secteur automobile peuvent cependant profiter à celui de l'habitat. Pour répondre aux désirs d'améliorations, la recherche doit proposer des solutions fonctionnelles, avec une grande diversité de produits et de combinaisons.

D'une manière plus générale, il n'y a pas assez d'échanges entre la métallurgie, la plasturgie et le bâtiment, en particulier pour l'aménagement. Les solutions importées ou créées à partir de ces techniques devront évidemment répondre aux nécessités bien spécifiques de l'habitat, du point de vue des fonctions, comme des caractéristiques des matériaux.

Techniques de construction

Parmi les procédés employés dans l'industrie, il y a, par exemple, ceux du « prototypage rapide », mariage de l'ordinateur et de nouvelles machines. Ces procédés serviront à la fabrication, non seulement de prototypes d'une variété de formes illimitées, mais aussi à la production de pièces à l'unité ou en petites séries⁽⁴⁾. Des adaptations sont envisageables pour des fabrications à la dimension du bâtiment et d'une variété tout aussi illimitée.

Parmi les matériaux en cours de développement, il y a les bétons fibrés⁽⁵⁾. Il s'agit de bétons dont la résistance est considérablement accrue par l'incorporation de fibres et de tissus de diverses natures. Leur logique de formes — correspondant aux nouvelles propriétés du matériau — est comparable à celle des métaux. Cela les rend particulièrement aptes à une grande diversité d'utilisation.

La combinaison du prototypage (ou fabrication) rapide et des nouveaux matériaux peut

résoudre une grande partie des problèmes techniques et économiques, posés par la réduction de l'orthogonalité dans le bâtiment.

Mais il y a d'autres solutions techniques.

L'utilisation d'un jeu de moules, à combinaisons multiples, pourrait offrir la diversité et la facilité de mise en œuvre qui convient à des amateurs ou à des professionnels, sans formation de longue durée, ni équipement technique complexe. Les coques moulées sont constituées d'un sandwich de béton fibré et de polystyrène. C'est l'un des procédés prometteurs, développé par Antti Lovag.

Enfin, il y a encore et toujours le voile de béton ou ferrociment. Il existe des centaines d'habitations dans le monde, réalisées avec cette technique. La liberté de formes qu'elle permet, a pour contrepartie, il est vrai, des durées de main-d'œuvre importantes.

L'usage de la double courbure dans le bâtiment entraîne le renouvellement de la plupart des équipements : fenêtres, portes, meubles. Or les habitations en coque déjà réalisées ont servi de premières expérimentations. On y trouve, par conséquent, des prototypes et un savoir-faire particulièrement précieux. Les nombreuses entreprises concernées peuvent tirer partie de l'acquis. Celui-ci leur offre la possibilité d'un renouvellement de leurs fabrications et d'un élargissement du marché.

Nouvelles ambiances

Une habitation en courbes ouvre de nouvelles et multiples perspectives, au sens propre et figuré.

L'une des premières conséquences concerne les ouvertures. Elles peuvent être orientées dans toutes les directions, ce qui n'est pas le cas avec des façades plates. Les ouvertures zénithales ou d'inclinaisons diverses (selon l'usage de la pièce) apportent un éclairage abondant, « comme dehors », et permettent de ventiler très efficacement. Les ouvertures « pour la vue » sont orientées et dimensionnées pour offrir le point de vue intéressant sur l'extérieur. Elles nous mettent dans la position confortable de l'observateur protégé et tourné vers un extérieur choisi.

Un volume courbe a des propriétés intérieures très particulières.

4 - cf. pages 21 et 22.

5 - cf. page 23.

• La lumière en éclairant une courbe produit un dégradé dont la progressivité évoque naturellement la douceur ; la concavité ainsi révélée suscite une impression d'accueil. Un volume extérieur convexe crée d'ailleurs une impression analogue : il appelle la caresse. Alors qu'un mur plat reçoit uniformément la lumière, ce qui accuse l'inhospitalité de l'à-plat et l'agressivité des angles.

• Les perspectives intérieurs non linéaires sont dépourvues des repères habituels de dimensions et d'orientation, ce qui crée une impression d'ampleur indéfinissable.

• Chaque déplacement dans un volume à courbes multiples entraîne une modification de perspective beaucoup plus sensible, ce qui donne une impression de variété inépuisable.

Ces diverses particularités créent une ambiance très différente de celle d'un volume orthogonal. Mais un simple passage dans ce genre d'habitations ne permet pas toujours d'en prendre conscience : c'est seulement, en général, l'idée d'originalité qui en est retirée. La complexité des perceptions générées exige un séjour d'une certaine durée pour en prendre conscience. C'est presque toujours une conviction enthousiaste qui s'exprime alors. La plupart des constructeurs de coques ont pris leur décision de bâtir à la suite d'une visite.

On peut dire que les caractéristiques psycho-sensorielles de ces constructions s'imposent de manière évidente. Il est souhaitable cependant que des psychologues en fassent l'étude. Peut-être, qu'un jour, il sera possible d'étudier par IRM (Imagerie par Résonance Magnétique) l'influence de ces formes sur le fonctionnement du cerveau et sur le comportement, par comparaison avec des formes orthogonales. Le nombre d'expériences personnelles exprimées sur ce sujet permet déjà d'affirmer que la différence n'est pas négligeable. Le simple examen des structures et des formes des êtres vivants permet de comprendre finalement la logique de ce genre de réactions : ces formes correspondent à notre nature.

Conception de l'aménagement

L'espace est structuré par le mobilier et les circulations. Toute la conception de l'habitation en dépend.

Le choix des meubles et des espaces de pas-

sage, en fonction du nombre d'habitants et des usages souhaités détermine les dimensions et le nombre de coques, leur association et leur implantation, ainsi que les ouvertures.

L'habitation est donc conçue comme un ensemble unifié et adaptable, dont le mobilier est l'élément fondamental. Celui-ci doit offrir la meilleure adéquation possible à l'usage, en économisant les gestes et les déplacements. Le confort en constitue la caractéristique primordiale.

Mais la recherche concernera tous les équipements : appareils ménagers, chauffage, sanitaire, éclairage, etc...

Un organisme nécessaire

La volonté de concevoir un logement dont la fonction est de répondre le plus complètement possible aux besoins des habitants, conduit à des recherches multiples.

Les axes principaux d'action sont :

- techniques et matériaux d'exécution ;
- intégration au site ;
- fonctionnalité ;
- ambiance ;
- salubrité.

La mise à la disposition du plus grand nombre d'habitants, de logements qui correspondent à ces objectifs ne peut se faire qu'avec des produits industriels diversifiés. La recherche portera naturellement sur l'habitat individuel et collectif, mais aussi sur les constructions à usage professionnel, l'entreprise étant plus souvent ouverte à l'innovation.

Une place importante sera réservée à l'intégration des nouvelles technologies : domotique et tous types de communication.

Un organisme d'étude et de développement pluridisciplinaire devra être créé pour offrir aux concepteurs les données fondamentales, les synergies, la confrontation, l'expérimentation et la communication avec le public.

Cet organisme devra aussi préparer la réforme des règles administratives qui fixent les conditions de l'attribution des permis de construire. Dans ce domaine, comme dans beaucoup d'autres, il faut ouvrir davantage la porte à l'innovation.

Christian Roux

La maison organique de Naucalpan (Mexique)

par Javier Senosian, architecte, Daniel Arredond, collaborateur

L'idée embryonnaire du projet naît dans l'image d'une coquille de cacahuète: deux amples espaces ovales très lumineux, unis par un espace sombre, bas et étroit. Cette proposition vise à répondre aux fonctions élémentaires de l'homme: un espace pour vivre avec séjour, salle à manger et cuisine et un espace pour dormir avec vestiaire et salle de bain. Le concept premier repose sur deux principaux espaces: l'un diurne et l'autre nocturne.

La sensation recherchée est de faire pénétrer les gens dans la terre, leur faisant prendre conscience de la singularité de cet espace sans pour autant les couper de l'environnement extérieur luxuriant qui entoure la maison.

Le relevé topographique du terrain a pris en compte la position des arbres afin qu'ils soient respectés par le projet. Par la suite ont été réalisées deux maquettes en pâte à modeler; l'une d'elles pour étudier les espaces extérieurs et l'intégration volumétrique, l'autre pour analyser la disposition intérieure. Les deux maquettes d'étude ont été fabriquées en même temps pour explorer essentiellement le potentiel sculptural du projet.

Le tracé au sol s'est fait à la manière des peintres lyriques, laissant courir les lignes, sans retenir la main, jouant avec des formes libres, faisant tourner le compas et libérant le curvimètre. En d'autres termes, le mur se transforme en un serpent sinueux qui enveloppe de ses courbes l'espace. Permettant la mise en place d'un processus ludique de conception par simulation qui a permis d'éviter soigneusement les arbres et d'accompagner harmonieusement les courbes du terrain tout en s'offrant le plus avantageusement possible au sud. C'est ainsi qu'involontairement mais pourtant de manière consciente, tel le flot musical qui traverse le compositeur, s'est généré un volume qui rappelle la douce enveloppe du fœtus.

Pour élaborer le dessin au sol, un point au milieu du terrain a été choisi comme origine d'un système cartésien de coordonnées permettant le positionnement précis du centre des

cercles. Pour les courbes libres, c'est un tuyau d'arrosage qui a fait office de curvimètre. C'est à partir de cette technique que s'est défini le contour de la maison, ensuite délimité par des piquets.

Par la suite de la terre a été retirée du centre du tracé pour former de petits monticules. Au terme de cette opération, le chantier ressemblait à une piste de moto-cross.

Dans la phase de construction, il fallait obtenir la même fluidité volumétrique que le dessin au sol. Un matériau malléable rappelant la pâte à modeler était requis, mais le statut même de la maison exigeait une technique conforme à un tel programme, dépassant la simple volonté sculpturale. Les essais furent concluants: le voile de béton était la solution adéquate. Ce procédé, origine du béton armé et longtemps oublié, promettait une forme monolithique, à la fois résistante et malléable.

Le ferrailage démarrant de la dalle, il définit rapidement l'enveloppe et révèle les contours d'un squelette d'acier sur lequel viennent s'appuyer des anneaux dont le diamètre varie selon les hauteurs définies par les différents espaces. Un second maillage vient englober cette première structure comme une spirale.

Le ferrailage achevé, le moment est venu de poser le grillage (du type grillage de poulailler) pour enrober les fers dans le béton projeté. La projection a été faite par tuyau flexible où le béton était propulsé par air comprimé avec force sur la maille. En raison de cette pression considérable, le mélange se compacte mieux et permet d'obtenir une amélioration de ses capacités mécaniques de 30 %. On obtient ainsi une coque de 4 cm d'épaisseur, résistante par sa double courbure, imperméable et facile à construire. L'isolation et l'étanchéité furent assurées par la projection d'une couche de polyuréthane de 2 cm d'épaisseur.

Le gros oeuvre achevé, il a été procédé au recouvrement de la maison. Le jardin devait l'envelopper et pour cela il fallait apporter de la terre fertile. Partant du principe des bonsaïs

ou autres arbres nains, qui établit qu'à moindre profondeur de terre fertile, moindre croissance, il fut décidé de maintenir la couche de terre à une épaisseur de 20 à 25 cm. L'herbe de prairie se densifiera plus lentement, réduisant ainsi le coût d'entretien du jardin. La végétation et la terre protègent la membrane d'étanchéité du soleil, du vent, de la grêle et du cycle humide/sec.

Cette protection tant mécanique que thermique de l'étanchéité lui évite les contractions et dilatations habituelles qui entraînent des problèmes d'étanchéité. La dune verte est l'enveloppe du volume intérieur qui est presque invisible. De l'extérieur, on ne voit que de l'herbe, des arbustes, des arbres et des fleurs. Marcher dans le jardin, c'est marcher sur la maison sans s'en rendre compte.

Par ailleurs, il a paru important d'optimiser les détails améliorant l'état psychologique et physique des occupants de la maison à travers le contrôle bioclimatique. Cet équilibre microclimatique est conditionné par la séquence qui mène de l'extérieur à l'intérieur vers les espaces les plus intimes. L'implantation de barrières végétales d'arbres et d'arbustes, en fonction de la topographie du terrain, sert à filtrer les rayons solaires. Leur ombre portée protège des grosses chaleurs d'été; elles agissent également comme des murs antipoussière ou antibruit et comme éléments de rafraîchissement de l'air par l'évaporation de l'eau et sa dispersion dans l'air. En respirant, l'herbe de la prairie augmente l'humidité absolue et relative de l'air ambiant, ce qui produit un parfait manteau d'échange thermique par conduction: l'été, la fraîcheur s'accumule dans la maison; l'hiver, la terre restitue la chaleur. La terre et le soleil travaillent ensemble pour maintenir l'harmonie climatique de l'habitat.

Les fenêtres furent orientées sur les vues les plus avantageuses et de préférence vers le sud, pour ne pas manquer de soleil en hiver, comme une fleur recherchant la lumière.

Contrairement à ce que l'on pourrait penser, la maison semi-enterrée s'est révélée plus lumineuse qu'une maison conventionnelle. Ici, les fenêtres peuvent se placer selon l'orientation voulue; de plus, les sky-dômes forment de véritables pièges à lumière; ils la renvoient au plus profond de la maison. La ventilation est facilitée par les formes aérodynamiques de l'espace intérieur, permettant la libre circulation de l'air et son renouvellement rapide.

Comme la température de notre corps qui

reste stable malgré les variations extérieures, les maisons enterrées obéissent au même principe. Une température constante est ainsi maintenue tout au fil des saisons, variant de 18 à 23° C. Il en est de même pour le taux d'humidité, qui, grâce à la végétation environnante qui empêche l'assèchement de l'air et filtre les poussières, s'adapte aux cycles saisonniers et se situe entre 40 et 70 % au long de l'année. L'épiderme végétal qui recouvre la maison agit en fait comme un appareil respiratoire qui recycle l'air et régule l'humidité de la demeure, épargnant aux habitants les désagréments respiratoires et autres maladies.

Le requin

Extension de la maison
organique Naucalpan
Javier Senosian, architecte
Luis Enriquez M., collaborateur

La maison organique ne disposait que d'une seule chambre lors de sa conception, alors que la famille s'est agrandie entre-temps, renvoyant obligatoirement à un projet d'extension. Cette extension a été connectée au milieu du tunnel de liaison entre les deux principaux volumes. Ce tunnel se divise en deux bras, l'un ascendant qui mène au studio, passant à côté de la chambre bleue, l'autre descendant vers la chambre des filles, donnant directement sur le jardin à travers une porte-fenêtre. Pour lui garder son caractère privatif, le studio fut érigé sur la partie élevée du terrain avec une vue privilégiée sur le Parc Naturel de "Los Remedios", dégagant une terrasse semi-couverte avec jacusi en partie basse.

Le principe des vues cadrées depuis l'intérieur a donné à la forme extérieure un aspect de requin. La façon incroyablement libre de projeter des formes organiques dans l'espace permet des résultats formels qui rompent avec toute logique géométrique rigide. Avoir son studio dans les entrailles d'un requin, est une idée que Breton aurait apprécié pour jouir d'un mouvement structurel onirique qui conduirait au surréalisme architectural.

La structure du requin est en voile de béton; les chambres son semi-enterrées, faisant ainsi office de fondation et d'ancrage dans le terrain pour que le requin ne se retourne pas.

Traduit de l'espagnol
par Francis Carillo

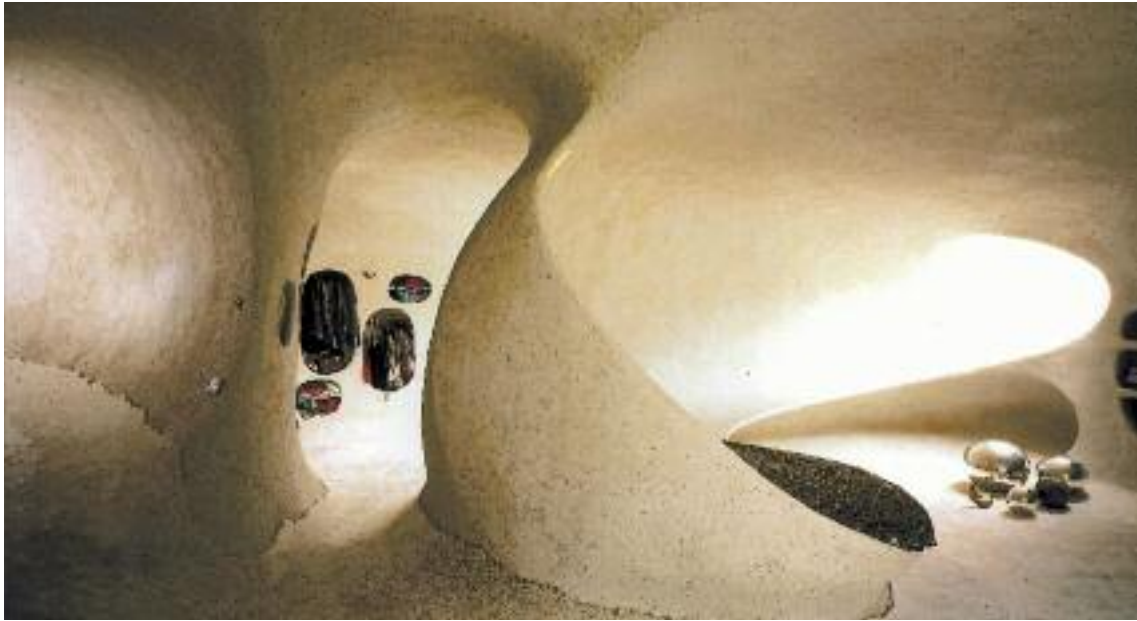


Les fenêtres sont orientées sur les vues les plus avantageuses et de préférence vers le sud, pour ne pas manquer de soleil en hiver, comme une fleur recherchant la lumière.

Le principe des vues cadrées depuis l'intérieur a donné à la forme extérieure un aspect de requin. La façon incroyablement libre de projeter des formes organiques dans l'espace permet des résultats formels qui rompent avec toute logique géométrique rigide.

(Architecte Javier Senosian)





A l'intérieur : des formes organiques douces.



Le chantier au stade du ferrailage revêtu du grillage qui sert de coffrage perdu.
(Architecte Javier Senosian)

Les voiles de béton armé ont-ils la forme ?

par René Motro *

L'année 1999 a marqué un anniversaire multiple, celui de la naissance du béton armé avec les travaux de Joseph Monnier, dont le cent cinquantième a été célébré en France au mois de juin, celui de la création par Torroja, en 1959, de l'Association Internationale dédiée initialement à l'étude des coques (International Association for Shell Structures). On peut ajouter qu'il y a maintenant vingt ans un symposium dédié au développement de la forme était organisé par cette association à Morgantown (West Virginia), donnant lieu à des questionnements encore d'actualité sur la morphologie structurale. Même si les voiles minces en béton ne constituent plus une typologie emblématique de la modernité, remplacés désormais par d'autres systèmes constructifs, il demeure intéressant de s'interroger sur l'évolution de leur forme. Dans le numéro du bulletin de l'IASS consacré au symposium mentionné, Stefan J. Medwadowski présentait un article concernant l'interrelation entre la théorie et la forme des coques [A].

Morphologie structurale des voiles minces

Quelques définitions

Voiles minces — La dénomination de voile mince fait bien sûr référence à une métaphore maritime, qui a trouvé sa pertinence dans le développement actuel des membranes textiles. Toujours est-il, que s'agissant de béton armé cette dénomination a été utilisée pour qualifier des ouvrages en béton armé caractérisés géométriquement par une surface moyenne à double courbure et une dimension (en l'occur-

rence l'épaisseur de direction normale à la surface) faible par rapport aux deux autres. Les voiles minces sont donc des constructions de type surfacique.

Rayon de courbure et courbure — La notion de rayon de courbure en un point d'une courbe quelconque peut être mathématiquement définie : il s'agit du rayon du cercle qui admet la même tangente au point considéré que la courbe. Admettons que dans le cas général, que la courbe soit contenue dans un plan (courbe plane) ou non (courbe gauche), il n'existe qu'un cercle répondant à cette caractéristique. Dans ces conditions la courbure est définie comme la valeur inverse de rayon. Ce faisant une ligne droite sans courbure a un rayon de courbure infini.

Double courbure des surfaces — La théorie des surfaces quelconques fait mention de la notion de double courbure. En tout point d'une surface P, il est possible de définir une normale à la surface (droite "perpendiculaire" à la surface, le terme "perpendiculaire" étant mathématiquement inexact, mais compréhensible)¹. Si l'on imagine que cette normale sert d'axe de rotation à un plan, on peut trouver une infinité d'intersections de ce plan avec la surface lorsqu'il tourne autour de cet axe. Parmi toutes ces courbes, il en existe deux particulières C₁ et C₂, correspondant à l'intersection du plan P en positions P₁ et P₂, telles que :

- P₁ et P₂ sont deux plans perpendiculaires

* René Motro est ingénieur en constructions civiles (INSA), professeur des universités, responsable scientifique de deux équipes de recherche : une au Laboratoire de Mécanique et Génie Civil de l'Université Montpellier II, l'autre au sein de l'École d'Architecture Languedoc-Roussillon, également à Montpellier. Ces deux équipes travaillent sur la conception de structures innovantes, et plus particulièrement sur les structures légères (voiles béton, membranes textiles, systèmes de tenségrité...).

Il est membre du Conseil Exécutif de l'IASS (International Association for Shells and Spatial Structures). Une centaine de publications à ce jour. Tsuboi Award en 1998.

1 - Ceci peut être inexact pour certains points dits «singulier».

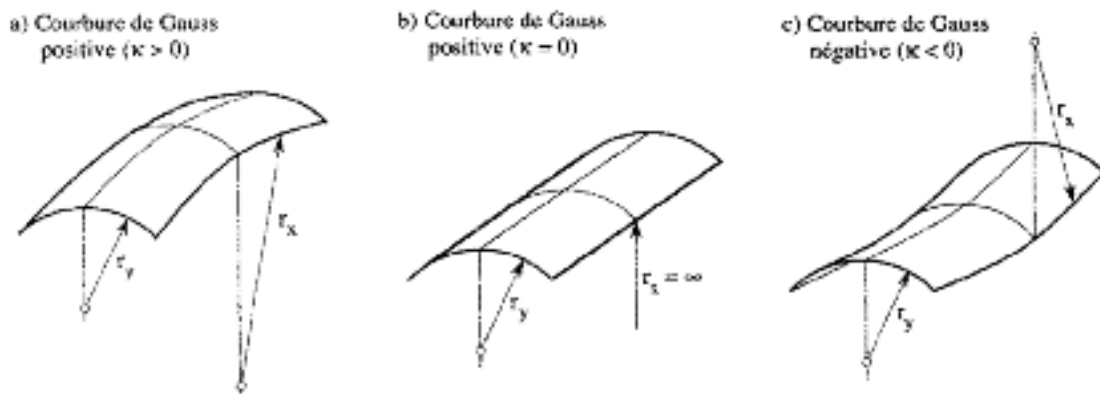


Figure 1 : double courbure.

R_2 sont des extremums parmi l'ensemble des valeurs des rayons de courbure correspondant aux plans P.

Si l'on oriente la normale au plan, il est alors possible d'affecter un signe à ces valeurs des rayons de courbure. La conséquence sera que si les centres des courbes C_1 et C_2 sont du même côté de la surface, les rayons de courbure seront de même signe. Ils seront de signes contraires si les centres sont de part et d'autre de la surface. (Le cas limite est bien sûr celui d'un rayon infini qui correspond à l'absence de courbure).

On définit la double courbure (ou courbure de Gauss, ou double courbure gaussienne) comme le produit :

$$\frac{1}{R_1} \frac{1}{R_2} \quad (1)$$

Ces définitions sont à la base des appellations de surfaces à double courbure, positive, nulle ou négative que l'on trouve dans la littérature. (Figure 1)

Cette notion est fondamentale, les plans P_1 et P_2 sont dits plans principaux au point P ou plans de courbure principale. Sur le plan mécanique, dans certains cas, ils correspondent aux contraintes extrêmes et sont donc simultanément

les plans de contraintes maximales, ou "directions principales". On imagine que ce critère géométrique a une importance primordiale en termes de comportement mécanique.

Stabilité des voiles minces

Membranes et coques — Dans le vocabulaire associé aux voiles minces on dissocie les membranes des coques. La différence ne tient pas principalement à la géométrie mais aux sollicitations qui sont appliquées dans la section perpendiculaire à la surface (section droite). Si l'on opère quatre sections de cette nature, on peut isoler une portion de voile mince (Figure 2)

Si les sollicitations sont du type compression simple ou traction simple, le voile mince supporte des contraintes normales identiques sur toute l'épaisseur (valeurs n_x et n_y sur la Figure 2a). Il faut également noter la présence de contraintes dites de cisaillement notées n_{xy} et n_{xz} sur la même figure : ces contraintes ont pour effet de transformer, par déformation, un carré initial en losange. Dans un tel cas de sollicitation, on parle de contraintes membranaires et par extension de membranes (ce qui est vrai pour le béton, mais encore plus si l'on

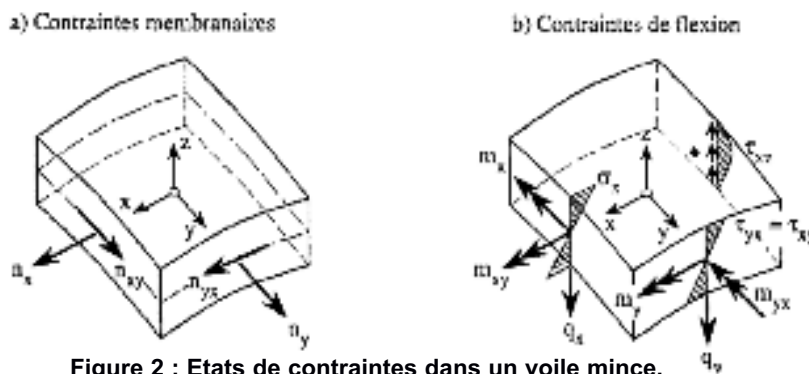


Figure 2 : Etats de contraintes dans un voile mince.

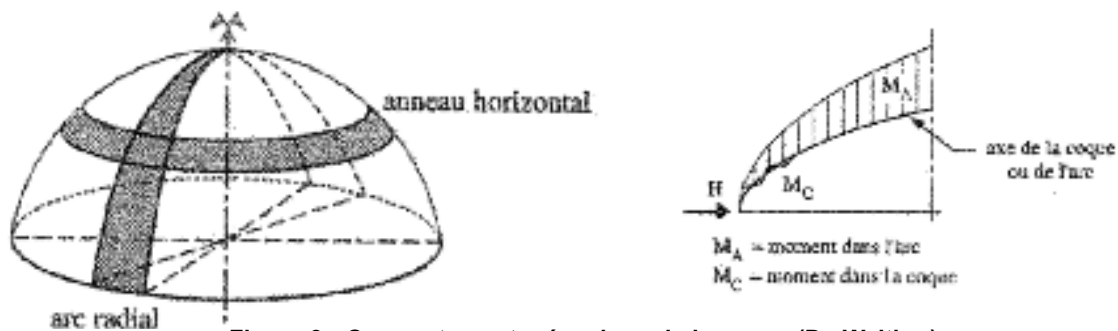


Figure 3 : Comportement mécanique de la coque.(Da Walther)

peut dire pour les membranes textiles) Figure 2.

Si, par contre, il existe des moments de flexions symbolisées par des doubles flèches sur la Figure 2b, les contraintes ne sont plus constantes sur l'épaisseur du voile mince, et il est courant de parler de contraintes de coques et par extension de coques. La matière n'est alors pas sollicitée de façon identique sur toute la hauteur contrairement à l'état de membrane qui est plus économique.

Résistance et stabilité — Il est utile de noter que les valeurs les plus importantes des contraintes (contraintes principales) correspondent aux plans de courbure principaux définis plus haut.

Quelle que soit la complexité des calculs que l'on peut effectuer sur les voiles minces, il est nécessaire de s'assurer d'une part que la valeur des contraintes doit être admissible par le matériau utilisé (satisfaction d'un critère de résistance) et que d'autre part la forme géométrique initiale soit conservée aux déformations près : un changement brusque correspond à un "flambement" de même nature que ceux qu'on observe pour les pièces comprimées.

Mécanique globale — Le fonctionnement d'un voile mince peut être illustré comme le fait René Walther [B] en le comparant à celui d'un arc : c'est en fait l'interaction entre les arcs radiaux et les anneaux horizontaux qui a pour effet de diminuer de façon conséquente les moments de flexion (Figure 3)

Morphologie structurale

Il est assez délicat de donner une définition de la morphologie structurale qui soit acceptable en toutes circonstances. On peut toutefois admettre qu'il s'agit d'une discipline qui traite de l'étude de la forme des constructions en relation avec leur aptitude à transmettre les actions qui leur sont appliquées. En ce sens

cette discipline s'insère dans ce que David Georges Emmerich appelait " la géométrie constructive ", en mettant l'accent sur le comportement mécanique des constructions. Dans les dix dernières années, un mouvement d'importance s'est développé pour favoriser les études de morphologie structurale : la création d'un groupe de travail au sein de l'Association Internationale pour les Structures Spatiales est indéniablement un élément moteur, ce groupe ayant déjà organisé trois séminaires (Montpellier 1992, Stuttgart 1994 et Nottingham 1997) et préparant le prochain à

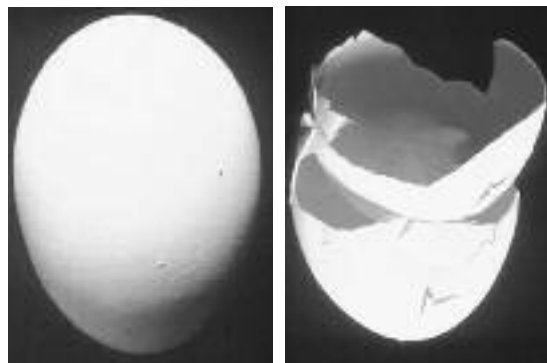


Figure 4.: Œuf...brisé

Delft en l'an 2000.

La bionique qui a pour objet l'étude de la nature fait partie intégrante des méthodes utilisées en morphologie structurale. Il est tout à fait patent que la coquille d'un œuf (Figure 4) représente un exemple naturel remarquable de ce que nous pouvons trouver comme optimisation morphologique de la matière ; encore faut-il être pleinement conscient de la fragilité d'une telle coque. Et en citant Lakanal lorsqu'il écrit

« que couvrir un œuf de faïence n'en fera jamais sortir aucun poussin »,

il convient de ne pas en rester à la simple surface des exemples que nous fournit la nature : il est nécessaire de les interroger pour en

pour le transposer au cas des constructions humaines et ne pas s'en tenir à une copie formelle vide de sens tant sur le plan morphologique que sur le plan structural.

Le problème de la forme

La question posée par S.J. Medwadowski était celle-ci :

«To what extent, and in what manner, do the Shell theories in structural mechanics affect the form of shells? And conversely, has the emergence of the many and varied forms of thin shells structures affected the development of the structural theory ?». *

Sa propre réponse est donnée dans le même article :

*«Thus, structural mechanics is not a leader in the development of form, it is a follower. Conversely, the development of the theories of shells was spurred by the practical problems of the forms important in practical application».***

Il rejoint en cela de nombreux ingénieurs qui comme Freyssinet ou Caquot n'accordent aux calculs que leur juste place. Ce dernier affirmait d'ailleurs :

« Un ouvrage bien exécuté et mal calculé a plus de chance de tenir qu'un ouvrage bien calculé et mal exécuté ».

À l'ère de l'informatique et du virtuel, il faut rappeler constamment cette évidence qui incite les constructeurs à beaucoup d'humilité.

Remarquons d'ailleurs que reprenant l'exemple d'illustres prédécesseurs, tel Brunelleschi installant une expérimentation à échelle 1 d'une arche du dôme de Santa Maria del Fiore, les ingénieurs contemporains utilisent l'expérimentation à des échelles variables. Il s'agit par exemple de tester le comportement d'auvents en paraboloides hyperboliques, ou

* Dans quelle mesure, et de quelle façon, la théorie mécanique des coques a-t-elle influé sur leur forme? Et inversement, est-ce que l'émergence de nombreuses formes différentes de voiles minces a participé au développement de la théorie des structures?

** Ainsi, la mécanique des structures n'est pas à la source du développement de la forme, elle l'a suivi. Inversement le développement des théories sur les voiles minces a été stimulé par les problèmes importants de formes lors de leur réalisation pratique.

d'hyperboloïdes métalliques (Bernard Lafaille), ou de déterminer la forme des voiles minces en béton (Heinz Isler).

Recherche de forme et morphologie structurale

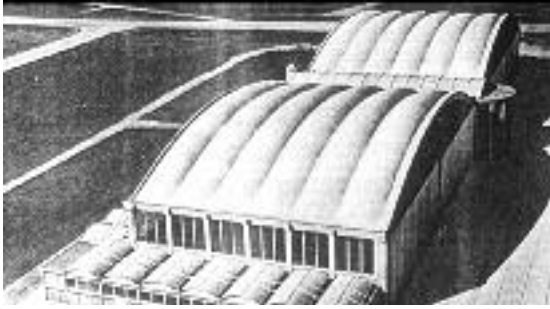
Un débat ouvert

Si les choix initiaux dans la conception des voiles minces, sont guidés simultanément par des impératifs de réalisation (simplicité des surfaces réglées entre autres) et par le souci d'une sollicitation du voile en contraintes de membrane, des écarts peuvent être mis en évidence. Cette diversification conduit à des formes plus irrégulières que par le passé. On peut suivre une évolution de même nature pour d'autres systèmes structuraux : le vocabulaire des formes s'élargit grâce à des apports de nature différente.

Dans ce domaine comme dans de nombreux autres le débat de la pertinence des outils de conception est toujours important. Si les uns n'accordent foi qu'aux équations, c'était principalement vrai à une certaine époque (Mircea Mihailescu se plaint à redire l'usage qu'il en a fait), les autres préfèrent l'expérimentation comme Heinz Isler qui travaille sur des formes funiculaires. Reste également l'arsenal informatique des méthodes dites d'optimisation utilisant des modèles numériques complexes basés principalement sur la méthode dite des "éléments finis". À ce propos, il faut rappeler deux idées simples mais opportunes :

-Il est inutile d'optimiser une mauvaise solution, ce qui signifie qu'il faut adapter les outils à l'étape en cours dans le processus de conception de la forme, puisqu'il s'agit ici de la forme et de ses conséquences sur l'aptitude de la construction à résister aux sollicitations qui lui sont appliquées. Il serait vain de se priver des informations de tel ou tel modèle, mais une hiérarchisation de leur emploi s'impose.

-Sur un plan plus polémique, il faut se méfier du manque d'expérience dans la manipulation de la forme et dans sa relation au comportement, que l'évolution de la forme soit opérée au moyen d'un modèle numérique ou d'un modèle physique. " Il faut des permis de conduire certains logiciels de calcul ", mais il faut aussi des " des permis de conclure sur le changement d'échelle entre maquette et réalisation ".



**Figure 5 : N. Esquillan,
Hangars à Marignane.**



**Figure 6 : H. Isler,
Couverture d'une station-service.**

Une nécessaire hiérarchisation

La hiérarchisation du processus de recherche de forme, les conséquences de la forme sur le comportement structural du voile mince doivent être ordonnés au minimum selon deux critères : l'échelle de la construction tout d'abord, et la phase du processus de conception en deuxième lieu.

Les outils nécessaires pour concevoir les hangars de Marignane (Figure 5) ou la coque de Isler pour une station-service (Figure 6) ne sont pas les mêmes que ceux qui sont nécessaires pour la définition morphologique de la maison de Michael Balz (Figure 7). L'échelle n'est pas du tout la même et les sollicitations mises en jeu sont différentes. Ceci ne signifie pas que des constructions de dimensions réduites ne doivent pas être soigneusement étudiées : mais, dans ce cas, les erreurs à éviter seront différentes, il sera nécessaire de soigner par exemple la mise en œuvre.

Il faut aussi noter que les outils doivent être

adaptés à la phase en cours du processus de conception de la forme. Les modèles numériques sophistiqués n'ont aucun intérêt dans les phases précoces du processus de conception où ce qu'il faut appeler " l'art du concepteur " doit pleinement s'exprimer afin de faire les choix décisifs.

Recherche de forme : quelques exemples

Il est possible de discerner quelques catégories de recherche de forme en fonction des critères choisis par le concepteur. La morphologie structurale est au centre du propos : il faut trouver une forme satisfaisante sur le plan architectural. Mais, il faut aussi être assuré d'un bon comportement mécanique sous les actions extérieures (éviter par exemple des fissurations intempestives et des instabilités de forme). La facilité de mise en œuvre doit également être prise en compte au moment de la conception et ainsi le coût du voile mince. Les



Figure 7 : H. Isler et M. Balz, maison à Stuttgart.

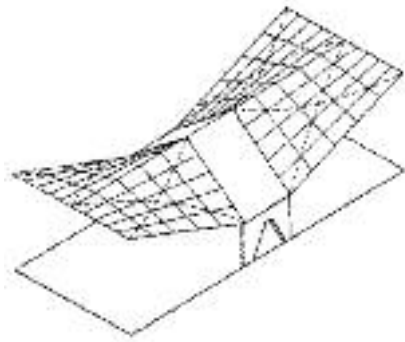


Figure 8 : Auvent, schéma constructif.

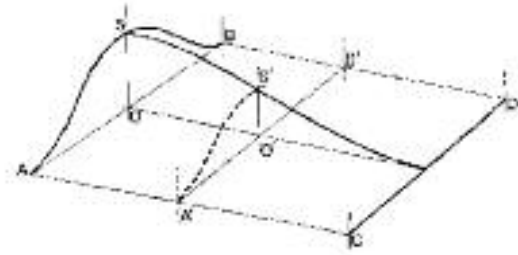


Figure 9 : Courbes de bases (da Conil)

exemples cités dans les paragraphes suivants privilégient tel ou tel aspect).

Formes analytiques — Il y a certainement eu la phase où les définitions analytiques des surfaces ont été privilégiées : il était ainsi possible de connaître complètement la surface. Parmi celles-ci certaines ont été employées dans la mesure où leur analyse mécanique d'une part et leur réalisation d'autre part était plus simple. C'est le cas des surfaces dites réglées. L'auvent réalisé par Bernard Laffaille en est un exemple typique (Figure 8) Candela a porté à un degré de perfection remarquable les paraboloides hyperboliques (les fameux PH) résultant du déplacement d'une droite sur deux autres. L'intérêt majeur de ces surfaces réside dans la simplicité de conception et de réalisation des coffrages nécessaires.

Tracés géométriques libres — Des définitions " libres " de la géométrie des surfaces des voiles minces peuvent être opérées soit expérimentalement selon un processus apparenté à la sculpture, soit en utilisant des tracés géométriques permettant par exemple de lisser les formes. C'est le choix de Paul Conil. Le principe d'une de ses méthodes est illustré sur les figures suivantes. Il s'agit de concevoir une surface dont on a défini trois courbes ASB (génératrice), CD (en l'occurrence une droite) et une courbe de profil dans le plan vertical moyen (c'est la courbe directrice). Le problème posé revient à faire évoluer la courbe ASB dans les plans verticaux successifs. (Figure 9)

La méthode utilisée consiste à définir les points de la génératrice A'S'B' en choisissant un point de référence P (des solutions sont pré-

sentées sur la Figure 10 et sur la Figure 11). Un point M de la courbe ASB est reporté horizontalement en T sur la droite ST. Au point T correspond verticalement un point V sur S'P. Le point recherché M' est à l'intersection de la verticale passant par M et de l'horizontale passant par V. La deuxième figure est une variante. Un tel tracé permet d'avoir une variation progressive des courbes, qualifiée d'harmonique par P. Conil. (Figure 10)

Dans une telle situation, il n'y a pas de garantie sur le comportement mécanique, sauf celle qui relève de l'expérience du concepteur. La mise en œuvre n'est pas aussi simple que pour les surfaces réglées.

Un décalage de type chronologique fait que les avancées réalisées pour la définition des surfaces de carrosseries automobiles (surfaces de Coons, courbes de Bézier) n'ont pas été utilisées pour les voiles minces.

Les formes d'équilibre — L'expression « formes d'équilibre » est employée pour désigner des formes résultant d'une recherche d'équilibre sous un système d'actions. Ces recherches de forme sont très utilisées par exemple pour la définition de membranes textiles : dans ce cas elles sont automatisées et des outils informatiques performants ont été développés. Mais il existe également des méthodes expérimentales de recherche de formes d'équilibres. Antonio Gaudi avait été un des premiers à réaliser un modèle de filet de câbles lesté avec des sacs de sable : la forme obtenue est ainsi " funiculaire " des actions appliquées. La géométrie du filet à l'équilibre est telle que tous les fils sont tendus. Il suffit

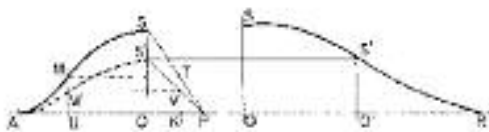


Figure 10 Tracé harmonique.

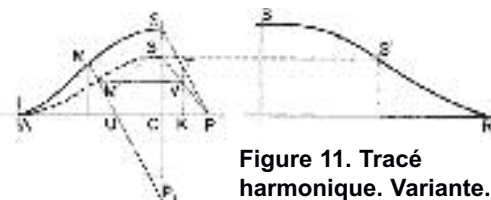


Figure 11. Tracé harmonique. Variante.

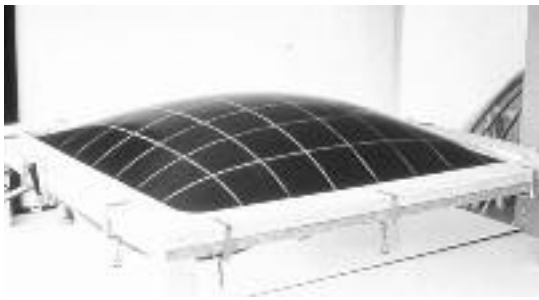


Figure 12 : H. Isler. Recherche de forme par gonflage de membrane.

par un effet de miroir horizontal d'inverser cette géométrie pour avoir un système complètement comprimé. C'est ce que Gaudi recherchait pour la Colonia Guëll, près de Barcelone.

Cette méthode est spectaculaire, en particulier par les résultats obtenus qui permettent une lecture directe du flux des sollicitations dans la matière. Elle appelle plusieurs remarques :

- Une forme ne peut être funiculaire que d'un système d'actions. Ce n'est bien sûr pas un inconvénient lorsqu'il a un système d'actions prépondérant comme c'est le cas pour les constructions de poids propre important.

- L'inversion de la sollicitation, la traction transformée en compression, est très séduisante, mais elle ne rend pas du tout compte des variations brusques de forme résultant d'une compression excessive. Ce sont les phénomènes d'instabilité de forme qui sont d'autant plus à redouter que les structures sont élancées. Ces phénomènes sont à rapprocher des flambements de poteaux comprimés.

- Les formes résultant de ces processus peuvent être difficiles à mettre en œuvre en raison de leur complexité géométrique.

C'est Heinz Isler qui a le plus utilisé cette méthode. Il l'a fait en particulier sous deux types d'actions distincts. L'un résulte de la pression d'un fluide à l'intérieur d'une vessie de caoutchouc. L'action ainsi modélisée est apparentée à une action de soulèvement par le vent dont la direction est toujours perpendiculaire à la surface sur laquelle elle s'applique (Figure 12) L'autre correspond à une action de type poids propre : un tissu suspendu est plongé dans une résine qui est polymérisée par élévation de température (Figure 13) Il est intéressant de noter que, dans ce dernier cas, les bords se retournent développant la rigidité du contour du voile mince dans sa réalisation en béton.

La pratique d'Heinz Isler illustre l'intérêt

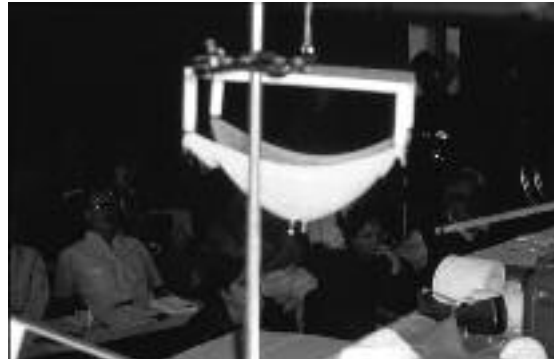


Figure 13 : H. Isler. Recherche de forme par polymérisation de résine.

d'une pratique expérimentale dans les phases précoces des processus de conception. L'expérience du concepteur est également fondamentale. D'autres outils sont ensuite nécessaires pour identifier les formes obtenues et procéder à un ensemble de vérifications qui permettent de passer au stade du calcul puis de la réalisation.

—o—

Les voiles minces en béton semblent actuellement être moins utilisés que dans les années soixante. Le principal argument de cette désaffection est d'ordre économique : leur construction nécessite une main d'œuvre qualifiée et de coûteux moyens de réalisation. Ils restent toutefois un exemple d'une adéquation remarquable entre formes, forces, matériaux et technologie. Il n'est pas inutile de rappeler en conclusion que le CNIT reste encore de nos jours le record de portée pour un ouvrage de ce type.

René Motro

REFERENCES

[A] Medwadowski Stefan J. : **The interrelation between the theory and the form of shells.** Symposium on shell and spatial structures: the development of form. Morgantown. West Virginia (U.S.A.) 1978. Bulletin of the international association for shell and spatial structures. n. 70. Volume XX-2. Pages 41,61.

[B] Walther René : **Construire en béton. Synthèse pour architectes.** Presses Polytechniques et Universitaires Romandes. Complément au traité de Génie Civil de l'Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne.(1993).

Mosaïque d'événements

Vente aux enchères des maquettes de « la maison du bonheur » — L'IFA (Institut Français d'Architecture) a lancé l'opération « Les maisons du bonheur ». Il a fait appel à 200 architectes français ou exerçant en France, pour réaliser chacun la maquette d'une maison. Les maquettes seront exposées et vendues aux enchères, en juin 2001, dans la future Cité de l'architecture et du patrimoine, au Palais de Chaillot, à Paris.

Le produit de la vente aidera l'association Patrimoine sans frontières, à restaurer des maisons, au Kosovo, au Liban et en Albanie.

Parmi les architectes sollicités, on relève les noms de Jean Nouvel, Renzo Piano, Christian de Portzamparc, Ricardo Bofill, Antti Lovag, Hans Walter Müller, Jacques Rougerie, Guy Rottier, Yona Friedman, Claude Parent.

Rencontres internationales d'architecture à Orléans — C'est plusieurs expositions sur l'architecture, des débats et un colloque sur l'urbanisme, qui ont eu lieu en mai et juin 2000 dans cette ville.

C'était, en particulier, la deuxième édition d'Archilab. Son objectif: présenter les recherches en architecture les plus novatrices du monde entier, à travers les projets de 30 équipes d'architectes, âgés de 30-40 ans.

Orléans sera peut-être, un jour, pour l'architecture, l'équivalent de Cannes pour le cinéma. Elle est déjà un lieu indispensable de rencontres et de confrontations.

Futurs antérieurs — Sous ce titre, le Musée des Beaux-Arts d'Orléans a exposés, du 5 mai au 25 juin 2000, des documents et des maquettes des années 60/80, de Pascal Haüsermann, Chanéac et Antti Lovag, provenant des réserves du FRAC-Centre. C'était « passionnant », comme l'a noté Frédéric Edelmann, le 19 mai dans « Le Monde ».

Ce qui était exposé ne représentait pourtant qu'une très faible partie de ce que possède le FRAC-Centre sur les architectures innovantes apparues dans les années 60. Parions qu'il y aura d'autres expositions sur ce thème et qu'elles présenteront des constructions contemporaines.

Antti Lovag : habitat d'aujourd'hui — L'Ecole nationale des beaux-arts de Bourges a présenté à sa galerie La Box, en novembre 2000, des maquettes, des documents et des

photos, concernant le travail d'Antti Lovag. Ce fut l'occasion pour des élèves, d'une découverte pratique des techniques, durant trois jours, sous la conduite d'Antti Lovag et Gilbert Alione. Une maquette et du ferrailage de coque sur gabarits ont été réalisés.

Exposition à la Fondation Vasarely — Les œuvres de Pascal Haüsermann, Chanéac et Antti Lovag seront à nouveau présentées, cette fois-ci, près d'Aix-en-Provence, à la Fondation Vasarely, du 8 mars au 13 mai 2001.

Vivre autrement: une exposition à Tourrettes-sur-Loup — Plusieurs milliers de visiteurs se sont rendu à l'exposition « design et architecture » de Antti Lovag, Guy Rottier, Jacques Rougerie et Thierry Valfort, du 6 août au 5 septembre 1999, au château-mairie de Tourrettes. L'initiative de cette manifestation revient à Guy Rottier et au groupe des « Conspiratifs ». Photos, maquettes, sculptures et meubles, sur le thème de « vivre autrement », permirent aux visiteurs de mieux connaître les conceptions et les œuvres anticonformistes d'un quatuor singulièrement inventif.

Colloque sur le béton - A l'occasion du 150^e anniversaire de l'invention du béton armé, un colloque a été organisé en 1999 par l'Ecole d'architecture Languedoc-Roussillon. Le voile de béton y a eu sa place. Il est possible de se procurer le texte des interventions à l'Ecole d'architecture, 179 rue de L'Esperou, 34093 Montpellier cedex 5. (157 pages, nombreuses illustrations, 110 F)

Ar'site — La revue-bulletin Ar'site n'est pas assez connue. Elle offre une diversité d'informations sur l'architecture sans équivalent. Ouverte à l'innovation, elle échappe au « culte de l'image ». C'est une conception de l'information qui n'est pas assez répandue. Ar'site a présenté, par exemple, les constructions d'habitations en coque, avec beaucoup plus de pertinence que certaines revues d'architecture sur papier glacé. (Ar'site, 3 rue Ernest-Renan, 92310 Sèvres)

Maisons paysage — Pierre Pralus veut « réconcilier l'homme, son habitat et son environnement ». Cette démarche implique « le choix d'un site », des « formes où l'esthétique respecte le dessin naturel du paysage, ne créant pas de brisure », des « matériaux vivants non toxiques », notamment le bois. (Pierre Pralus, 83400 Seillans).



Coques à Imperia (Italie) —
Parmi les constructions récentes d'habitation en coque (1997-99) d'Antti Lovag, il faut mentionner celles de la cité balnéaire italienne d'Imperia. Elles ont donné lieu à des stages d'initiation deux années de suite avec la participation notamment d'étudiants de l'École d'architecture de Clermont-Ferrand, sous la conduite de Pierre-Yves Bréjeaut. (Cf. Habitat n°20)

Durant l'année 2000, les coques ont pris l'aspect fini, avec l'application d'une étanchéité colorée.

(Photos Pierre Roche)





Moitié maison, moitié bateau — Première concrétisation pour le projet Anthenea, de Jean-Michel Ducancelle (cf. Habitat n°18) : un spécimen a été réalisé. C'est une résidence flottante à vision sous marine. Elle peut servir

de chambre d'hôtel, de base nautique, de restaurant, bar , etc... Elle s'installe sur terre ou sur l'eau. Sa forme ronde permet de l'orienter en fonction du soleil, du vent et du paysage terrestre ou sous-marin.



De l'image virtuelle... à une réalité personnalisée

Le prototypage et la production rapides
peuvent changer
radicalement notre cadre de vie

L'ordinateur n'a pas fini de nous surprendre. Les changements qu'il apporte dans certains secteurs d'activité sont impressionnants. Mais beaucoup de secteurs n'ont pas encore complètement intégré les opportunités offertes.

La conception de formes avec des logiciels de 2D, puis de 3D a bouleversé le travail des créateurs. Non pas tellement du point de vue d'un raccourcissement du temps de travail — les durées de conception sont globalement plutôt accrues — que dans la faculté donnée de renouveler les formes, les modifier, les perfectionner et les porter à leur plus haut point d'adaptation, en obtenant une précision et un fini sans précédent dans la représentation.

L'imprimante, à laser ou à jet d'encre, a été l'un des premiers prolongements concrets, qui a permis la sortie sur papier. En quelques instants, on peut ainsi obtenir une représentation parfaite en 2D, de formes en 3D.

Mais presque aussitôt — il y a plus de 10 ans ⁽¹⁾ — on a cherché, non seulement à dessiner, mais à produire en 3D les formes elles-mêmes.

Si la mise au point d'imprimantes très pré-

cises a pu se faire en une dizaine d'années pour le grand public, les machines de prototypage rapide doivent résoudre des problèmes plus complexes et répondre à des demandes plus variées. Il existe cependant des solutions déjà très performantes, limitées pour le moment aux secteurs professionnels. Mais la montée en puissance de la recherche sur ce sujet, dans beaucoup de pays du monde ⁽²⁾ laisse entrevoir des progrès importants à brefs délais.

Il s'agit d'un enjeu technique et économique majeur pour les entreprises confrontées à la compétition mondiale. L'accès au prototypage plus facilement, plus tôt, avec une mise en œuvre plus rapide, plus précise et à coût réduit est un atout important pour l'amélioration des produits.

Les procédés

La superposition de couches caractérise les procédés actuels. Sans entrer dans le détail, on distingue :

- la stéréolithographie : photo-polymérisation partielle de couches successives de résine liquide par un faisceau mobile ; c'est le premier procédé et le plus répandu ;
- frittage sélectif au laser : le rayon solidifie localement des couches de poudre par fusion ou frittage ;
- impression en 3D : les couches de poudres sont solidifiées par un jet de gouttelettes d'un liant liquide ;
- dépôt de fil en fusion ;
- jet de matière ;
- découpe de feuilles de matière, empilage et collage des couches : papier, bois, métal, plastique, soumis à l'action de jet d'eau, de

1 - Ce sujet a été abordé en 1991, dans Habitat N°13. L'une des premières commercialisations de machines de stéréolithographie date de 1988.
2 - Les 8^e Assises européennes du prototypage rapide et le 3^e Sommet mondial de la GARPA, qui ont eu lieu les 3 et 4 mai 2000 à Paris, sont révélateurs de la situation. Pour obtenir le texte des interventions (800 francs) ou un annuaire français de ce secteur, s'adresser à l'Association française de prototypage rapide, 17 rue Périer, 92120 Montrouge. Tél. 01 49 65 08 09, fax 01 49 65 08 58.

laser ou d'un fraisage qui peut être multiaxial.

Il existe probablement d'autres techniques, car les recherches sont très diversifiées.

Selon les procédés, la précision et la solidité des pièces varient, ainsi que les limites de dimensions. La majeure partie des machines ne produit actuellement que des pièces de quelques dizaines de centimètres de côté. Mais il existe des procédés qui travaillent sur plus de deux mètres et même bien au delà par décomposition de la pièce à produire en plusieurs éléments combinables (Stratoconception®, par exemple).

Les pièces ainsi produites peuvent servir de modèle pour des moules destinés à la production. Mais il est possible, dans certains cas, de réaliser des pièces qui auront toutes les caractéristiques des pièces définitives, y compris avec la couleur et même des dessins. On peut considérer que l'on dépasse le stade du prototype. Il s'agit alors de fabrication rapide de pièce à l'unité, en petite ou moyenne série.

La première conséquence, c'est de pouvoir apprécier dans la réalité la validité du produit, le tester éventuellement auprès des utilisateurs pour ses fonctionnalités et son aspect, avant de le mettre en fabrication. Les études de marketing sont réalisables avec le maximum de vraisemblance. En cas de nécessité, il sera possible de modifier le produit autant de fois qu'il faudra pour atteindre le but recherché.

Une autre conséquence particulièrement importante, du passage direct de l'image virtuelle de l'ordinateur, à la production rapide : on peut désormais envisager des produits individualisés à la demande. Il s'agit d'un changement qui peut, à terme, modifier tout ce qui nous entoure. Nous passerions ainsi d'une production en grande série de produits standardisés, qui créent un environnement monotone et souvent inadapté, à une variété de caractéristiques, de formes et de couleurs, correspondant plus facilement aux souhaits et aux besoins de chacun. Il s'agit là d'un futur qui n'est plus très lointain.

Le champ d'action

Actuellement, c'est le secteur de l'automobile qui est le mieux équipé en prototypage rapide. On y assiste à un raccourcissement considérable des durées de mise au point d'une nouvelle voiture. L'informatisation des services de production et de stockage permet déjà de proposer chaque modèle avec de très nom-

breuses variantes.

Parmi les autres secteurs qui s'équipent : l'industrie aéronautique, les industries de la plasturgie (boîtiers d'appareils électriques et électroniques, téléphonie, jouets, emballage, etc...), mais aussi le secteur médical (prothèses).

Dans le secteur du bâtiment, des maquettes de projets ont été réalisées. Un aménagement urbain à Saint-Dié-des-Vosges, par exemple, a fait l'objet, après sélection sur plans et dessins, d'une simulation par Stratoconception® (RPII et CIRTES-SRC). Ce sont 22 bâtiments, dont la cathédrale et une église qui ont été représentée par trois maquettes à l'échelle 1/25^e, 1/100^e et 1/200^e.

Les machines de prototypage sont encore trop limitées en dimensions pour réaliser un petit bâtiment en taille réelle. Il est possible cependant de produire plusieurs éléments complémentaires dont l'assemblage peut correspondre à un ensemble déjà important. Il est évident qu'il sera intéressant de réaliser plus rapidement des simulations grandeur nature d'autocar, bateau de plaisance, avion, maison, etc...

C'est un outil extrêmement intéressant qui sera alors disponible. Il sera possible, par exemple, de présenter une habitation individuelle, en un ou plusieurs éléments.

Dans ces conditions, la répétition des formes orthogonales de la plupart des constructions actuelles apparaîtra bien dérisoire. En effet les machines de prototypage ont la faculté de produire les formes les plus variées et les plus complexes.

On peut prévoir que l'on assistera à la diffusion d'un type de construction qui n'existe encore qu'en petit nombre : les habitations en coque. Celles qui ont été réalisées en voile de béton au prix d'une main d'œuvre importante auront servi à expérimenter de nouvelles formes.

Après la première étape que constitue le prototypage rapide, la fabrication rapide devrait permettre, un jour, la conception sur ordinateur et l'exécution sur le site de maisons personnalisées, selon les souhaits des futurs habitants.

Cela suppose la mise au point de nouvelles machines et l'utilisation de matériaux bien adaptés. En attendant, la perspective sur ce sujet prend des formes de moins en moins virtuelles.

Christian Roux

Les bétons fibrés : des matériaux performants

Le béton fibré (BEFIB) est un matériau dont l'utilisation devrait particulièrement convenir pour la construction de coques. En effet, la répartition de fibres et/ou de tissus dans la masse d'un micro-béton lui confère une résistance plus homogène qu'une armature d'acier.

«L'arrivée récente sur le marché de bétons fibrés à ultra-hautes performances ouvre la voie à des applications nouvelles dont on ne perçoit pas encore toute l'étendue», a déclaré Pierre Rossi, président du 5^e Symposium international du BEFIB qui s'est tenu en septembre 2000, à Villeurbanne.

Les recherches ont porté sur tous les composants, leur dosage et leur mise en œuvre :

- les ciments, par amélioration des performances, réduction ou suppression⁽¹⁾ de l'alcali (qui attaque certaines fibres), utilisation d'adjuvants tels que le métakaolin, des polymères, des produits ralentissant l'évaporation de l'eau, etc...;

- les granulats, par l'utilisation notamment de silice, à granulométrie moyenne à ultra-fine;

- les fibres, par des essais de diverses matières : fibres et tissus de verre résistant à l'alcali, carbone, kevlar, polymères, aciers divers⁽²⁾, nouveaux conditionnements et mélanges hybrides ; fibres naturelles : lin, cisa, coton, bambous, etc...

Si les bétons fibrés sont apparus, il y a maintenant une trentaine d'années, ils n'ont pas donné lieu à des applications industrielles à la mesure des espoirs qu'ils ont suscités. Certains estiment que la raison principale provient d'un déficit de recherche sur les problèmes de mise en œuvre et de formulation. Mais il y a aussi le développement insuffisant

des méthodes de dimensionnement et de formes correspondant à la logique particulière de ce type de matériaux.

Parmi les nombreux exemples cités d'utilisation de béton fibré à hautes performances, il y a la réalisation de plaques d'appui pour le renforcement d'un mur en terre armée, soutenant une route sur le littoral de l'île de La Réunion. Le béton fibré a remplacé la fonte, utilisée auparavant, mais qui a l'inconvénient d'être plus coûteuse et de devoir être peinte régulièrement. Pour ce chantier, ce sont des fibres polymères qui ont principalement été utilisées dans un BPR (béton de poudres réactives), mais aussi des fibres en acier inoxydables.

L'expérience a permis de «prouver la faisabilité industrielle d'éléments en BEFIB jusqu'alors fabriqués en métal et d'envisager leur fabrication en grande série, à des coûts encore plus bas».

Les BEFIB peuvent être projetés. C'est le cas en particulier des composites ciment-verre. Il se prêtent bien à l'utilisation par des robots commandés par ordinateur. Ils pourraient par conséquent convenir pour des machines de prototypage ou de production rapide. **CR**

ADRESSES UTILES

- Il est possible de se procurer le texte des conférences prononcées au symposium du BEFIB 2 000 à Villeurbanne, auprès de : **RILEM PUBLICATIONS, ENS Bâtiment Cournot, 61 av. du Président-Wilson, 94235 CACHAN Cedex. Tél : 01 47 40 28 90 ; fax : 01 47 40 01 13; sg@rilem.ens-cachan.fr**

Des producteurs de composants :

- **Vetrotex-Cem-Fil International, Saint Gobain, 18 av. d'Alsace, Les Miroirs, Cedex 27, 92096 PARIS-LA-DEFENSE, Tél 01 47 62 38 00.**

- **Pilkington France, 191 avenue Aristide Briand, 94230 Cachan, Tél : 01 46 15 73 73.**

- **Lafarge ciments, 66 cours Charlemagne, 69002 Lyon, Tél. 04 78 37 10 00 ou 04 74 82 16 16, fax 04 742 40 28 99.**

1 - Un ciment à très faible taux d'alcali (CGC) a été mis au point au Japon, par Chichibu Cement Company.

2 - Des recherches sont en cours à l'Université de Michigan (USA), pour la fabrication de fibres au contour strié ou polygonal, aux performances considérablement accrues, à la place des fibres rondes et lisses (A.E. Naaman).

Coques dans le monde par Internet

Jusqu'à une époque récente, il était difficile de savoir combien il existait d'habitations en coque, dans quels pays et quelles étaient les techniques de construction.

Ces habitations hors normes constituaient un phénomène de mode dans les années 60/70. Mais les mises en chantier ont continué et les nouvelles constructions manifestent un progrès conceptuel et technique indéniable.

L'écume de la mode s'est dissipée. C'est le substrat solide qui apparaît. Les idées qui ont inspiré ces constructions se sont clarifiées. Les lecteurs de ce bulletin, créé en 1984, les connaissent.

Des techniques très répandues

Mais ce que le développement d'Internet vient soudain de mettre en lumière, c'est l'ampleur et la quasi mondialisation du phénomène.

Ce que certains pensaient limité à un petit groupe de constructeurs en France et plus particulièrement dans le sud-est, existe en réalité dans des dizaines d'autres pays. L'un des sites internet indique qu'il y a des constructions en voile de béton dans une cinquantaine de pays. L'inventaire détaillé de ce qui existe n'a pas encore été réalisé, mais il est certain que ce procédé s'est largement diffusé.

Il ne faudrait pas penser cependant que ce type de construction s'est imposé. Il est effectivement présent dans de nombreux pays, mais il y est marginal.

La découverte des sites en France et dans plusieurs pays, ainsi que les textes des forums de discussion, révèlent une convergence d'idées surprenante et réconfortante pour ceux que ce sujet captive.

Pour résumer la situation en France, on peut dire que de nombreuses habitations ont été construites (une centaine). Aussi la technique a évolué. On a su tirer les leçons du matériau «voile de béton».

Si la construction en portion de sphère exige des ouvertures — fenêtres, portes et cou-

loirs — rondes ou ovales, par exemple, ce n'est pas tant pour des motifs esthétiques ou de logique de forme que pour des raisons techniques : une enveloppe à double courbure, telle qu'une portion de sphère, réagit aux variations thermiques comme un ballon qui se gonfle et se dégonfle. Si on y ouvre des ouvertures carrées ou rectangulaire qui réagissent de manière linéaire, elles vont se trouver contrariées par l'enveloppe à double courbure, ce qui va créer des tensions et causera des fissurations.

La conception de l'habitat lui-même a progressé. La technique et les formes se justifient par la recherche d'une meilleure adaptation à l'usage. L'élaboration des espaces à vivre et du mobilier s'affranchit complètement de ce qui caractérise les maisons orthogonales.

L'impression que l'on retire encore de la fréquentation des sites, c'est que certaines des constructions les plus élaborées sont, peut-être, en France. Mais il faut être prudent dans l'appréciation de la situation, car l'information disponible est loin d'être complète.

Pragmatisme aux U.S.A.

Les caractéristiques techniques du «ferrocement» — une résistance exceptionnelle pour une remarquable économie de matière — retiennent particulièrement l'attention aux U.S.A. C'est ce qui permet de construire des maisons qui résistent mieux aux cyclones et aux secousses sismiques. Mais la taille du pays ne permet pas de se faire une opinion sur l'ensemble des constructions réalisées avec ce procédé. A noter que les livres d'ingénierie publiés sur ce sujet aux U.S.A. n'ont pas d'équivalents en français.

Ceux qui voudront en savoir davantage pourront utilement consulter les divers sites sur internet que nous indiquons ci-après. Il est recommandé aussi de faire des recherches à partir du mot **ferrocement** ou du nom d'un concepteur.

Les sites du web à découvrir (ou éviter)

Depuis près de deux ans, de nombreux sites internet sur les constructions en voile de béton sont apparus.

Mais en lançant une recherche à partir de l'expression «voile de béton», on ne les trouve pas : ce groupe de mots n'est pas suffisamment utilisé pour être référencé par les annuaires et les moteurs de recherche. En France, il faut utiliser les noms des créateurs : Antti Lovag, Pascal Häusermann, Chanéac, etc...

Antti Lovag est mentionné sur une demi douzaine de sites. Le plus recommandé est www.memoria.mc avec des photos accompagnées de textes. Un e-mail est proposé pour envoyer des messages à Antti Lovag avec les coordonnées de l'association Homme et habitat. Les photos sont celles de la villa Bernard, au lieu-dit La Galère, à Théoule-sur-Mer.

www.odorama5.com présente des créations correspondant à l'inspiration des années 60/70. En matière d'habitations en coque, on y trouve aussi des constructions des années 90. Il y a de nombreuses photos des œuvres de divers constructeurs. C'est certainement l'une des plus intéressantes galerie du web sur ce type de constructions. Mais, attention ! Soyez patient ! Pour y accéder, il faut disposer d'un logiciel Flash. Il est facile à télécharger (gratuitement), dès la connexion à [odorama5](http://odorama5.com). Ensuite, vous accédez à des images animées, avec musique.

www.multimania.com/floreportages présente un texte illustré sur Antti Lovag, assez bien documenté.

Sur www.frac-centre.asso.fr, vous trouverez des textes à propos de l'exposition sur Pascal Häusermann, Chanéac et Antti Lovag, organisée par le FRAC d'Orléans.

Il y a le cas www.aizac.org, ou <http://perso.wanadoo.fr>. C'est l'exemple même de l'amalgame que l'on trouve trop souvent sur le web. Ce site accumule les illustrations et les textes disponibles sur ce genre de constructions, il répertorie les adresses d'écoles d'architecture, des entreprises et finalement bascule, par des liens, sur les sites raéliens.

En France, les internautes ne sont pas

assez nombreux : il y a peu de réactions face à l'utilisation d'œuvres à des fins pour lesquelles les auteurs n'ont pas été consultés.

Si l'on compare à la situation dans l'édition, il est évident que les créateurs, les directeurs d'écoles et les chefs d'entreprises n'accepteraient pas qu'on les utilise dans des publications servant aussi à la propagande d'une secte ou d'organisations pas très claires. Précisons que Aizac.org exploite une multitudes de références de site, afin d'être mentionné dans la plupart des annuaires et moteurs de recherche.

C'est aux U.S.A. qu'il y a le maximum de documentation sur le ferrocement. Nous n'avons pas trouvé de mélange des genres douteux dans les sites que nous indiquons :

www.ferrocement.com est en cinq langues. Il présente de nombreuses photos de constructions, des renseignements techniques et une liste de constructeurs aux U.S.A., en Bolivie, au Mexique, en Italie, au Portugal, en Yougoslavie, celle de France étant la plus longue. Ce site grâce à son multilinguisme joue un rôle international important pour faire connaître ces constructions.

www.ferrocement.net est, à la fois, un répertoire de nombreux sites en anglais dans le monde et un forum de discussions. Il est orienté plus particulièrement sur l'enseignement. On y trouve l'annonce, par exemple, d'un symposium international sur le ferrocement et les composites à base de ciment, du 27 au 29 juin 2001, à Singapour.

A partir de ces deux sites aux U.S.A., il est possible de faire le tour du monde en se connectant sur les adresses indiquées.

En Allemagne, mentionnons home.t-online.de qui présente un livre de Elizabeth McMillan sur des constructions originales, parmi lesquelles celles de Antti Lovag.

Bonne navigation sur le web ! Vous découvrirez certainement plusieurs dizaines de sites que nous ne pouvons pas mentionner ici !

Un livre sur le ferrociment publié aux U.S.A.

«Ferrocement and laminated cementitious composites» de Antoine E. Naaman

C'est le livre de l'un des meilleurs spécialistes mondiaux du ferrociment et des divers composites à base de ciment, qui vient de paraître aux Etats-Unis, en 2000.

Bien qu'il ne soit pas encore traduit en français, il nous est apparu indispensable d'en rendre compte ici.

L'auteur, Antoine E. Naaman, a des liens particuliers avec la France. Il est diplômé de l'Ecole Centrale à Paris (1964), du CHEC à Paris, spécialité béton armé et précontrain (1965) et aux USA, du Massachusetts Institute of Technology (MIT).

Le Professeur Naaman a enseigné à l'Université de l'Illinois, à Chicago, (1973-1983), avant de rejoindre l'Université du Michigan en 1983.

Membre de nombreux comités scientifiques et techniques, il est l'un des principaux responsables de l'International Ferrocement Society (IFS).

Nous publions la présentation de son livre par Gordon Batson, professeur honoraire de génie civil et de technique environnementale à l'Université Clarkson, de New York.

Ce livre unique couvre un large espace d'information pour des ingénieurs, des architectes, des constructeurs et des chercheurs, qui ne le trouvaient pas en un seul volume.

«Ferrocement and laminated Cementitious composites» est divisé en 11 chapitres et plusieurs appendices.

Le chapitre 1 fournit le contexte historique et décrit des applications, les paramètres qui distinguent le ferrociment du béton armé conventionnel et le comportement distinctif du ferrociment.

Le chapitre 2 expose les propriétés mécaniques du ferrociment observées lors des essais.

Le chapitre 3, modélisant les propriétés du ferrociment et d'autres composés avec des fibres, rapproche le comportement observé du ferrociment dans la tension avec les modèles analytiques qui peuvent être employés pour simuler un tel comportement. Le ferrailage serré dans le ferrociment aboutit au comportement qui diffère de celui du béton armé conventionnel qui contient de grandes barres d'acier largement

espacées. La compréhension des explications dans les chapitres 2 et 3 est une base pour les chapitres restants du livre.

Le chapitre 4 porte sur les propriétés uniques du ferrociment dans la tension et sur les procédures d'analyse et de conception du ferrociment pour des courbes.

Le chapitre 5 fournit des directives pour obtenir une résistance maximale, la sûreté de fonctionnement, la durée et les limites de fiabilité. Ce chapitre contient aussi de nombreux exemples.

Le chapitre 6 décrit plusieurs méthodes pour la construction en ferrociment et montre les photographies de structures, détaille les améliorations point par point.

Le chapitre 7 présente des méthodes d'essai pour déterminer l'essentiel des propriétés et la prévision de la réponse du ferrociment dans la tension et pour les courbes, à savoir : rendement du renfort, module efficace du système de maille et facteur d'efficacité du système de maille. L'auteur fournit beaucoup d'exemples basés sur des essais.

Le chapitre 8 est une source d'estimation des coûts, qui est rarement fournie. Les données de coût sont une contribution significative de ce volume complet sur le ferrociment.

Le chapitre 9 concerne les exemples d'habitations en ferrociment et les méthodes de construction.

Le chapitre 10 présente un matériau performant de composition hybride, dans lequel la maille métallique est remplacée par des mailles de polymère renforcé de fibres (FRP) et par des fibres discontinues, carbone, kevlar, etc... Ces composés démontrent que la gamme qui constitue les composés de ciment peut se développer.

Le chapitre 11 fournit un regard sur l'avenir, un résumé complet des propriétés du ferrociment si le renfort est une maille métallique ou synthétique ou bien un hybride de tissus et de fibres.

***Ferrocement and Laminated Cementitious Composites*, de Antoine E. Naaman, 372 pages, 160 figures et illustrations. 75.00 \$ US. Edition : Techno Press 3000, P.O. Box 131038, (528 Green Road) Ann Arbor, Michigan 48105, USA.
www.technopress3000.com**

SOMMAIRE DES PRECEDENTS

Habitat

N°4

Les voiles de la Galère et de L'Esquillon - Une équipe pour le voile de béton - Habitologie : adapter les formes de l'habitat à la vie - Architecture libre : faire des bulles, par Guy Rottier - Lettre qui n'a pu être écrite par Mme de Sévigné - Créer un groupe d'autoconstructeurs.

N°5

Voile en béton léger : un procédé porteur d'espoir - Voile mince et espace architectural : étonnant retard dans le bâtiment - L'habitologie ou comment adapter les formes de l'habitat à la vie - Rêves de formes : témoignage d'un stagiaire étudiant en architecture - Trois mémoires - Des chiffres et des lettres.

N°6

Antti Lovag : l'industrie doit produire des éléments courbes - Projection de micro-béton sur des plaques de polyuréthane - L'architecture sculpture à Blois - De Tourrettes-sur-Loup à Fontaines-sur-Saône - La baleine de la citadelle : chronique d'une autoconstruction collective - Le voile s'expose à Lyon.

N°7

Protéosolis : un prototype éolien solaire - Maquettes de tissu tendu présentées à Blois et Vénissieux - Un an de « Béton vole » - Nouvelles des chantiers - Cinquante ans d'architecture sculpture, quel habitat demain : un numéro spécial d'Habitat.

N°8

La maison-écailles, d'Antti Lovag ; construction au C.E.T.E. d'Aix-en-Provence d'une coque en mortier armé de fibre de verre et en polystyrène - La maison Sanson à Orléans, de Jean-Luc Johannet - Pour une nouvelle architecture, par Daniel Grataloup - Deux avant-projets de Jean-Michel Ducancelle - En bref.

N°9

Voile de béton pour l'orgue de la Cité de la musique à Paris - Silos-bulles près de Tours avec coffrage pneumatique - La maison-écailles d'Antti Lovag - Trois ans pour obtenir un permis de construire - Un défi : construire avec des courbes naturelles.

N°10

Réflexion sur la beauté et la casa piu bella del mondo - Le domaine de Samara : répondre à des nécessités culturelles en s'inspirant des « architectures » animales - Domespace : une maison à double calotte sphérique en bois - Prouesse technique en Suède : l'une des plus grandes constructions sphériques du monde.

N°11

A la recherche des formes optimales : les exemples de la nature, des mathématiques et des technologies - L'exposition Naturbulence à Nice : parallèle entre nature et architecture - Joël Unal et les constructions en voile de béton - L'architecture organique du Hongrois Imre Macovecz.

N°12

Amélioration de la durabilité des composites ciment-verre

par ajout de métakaolin - Ciment renforcé par des fibres de polyester - Etude du comportement de composites ciment-fibres chez Eternit - Structures textiles dépliées, nouveaux modèles industrialisables - Conception et design des structures textiles tendues - Peinture-habitable en feuilles de stratifiées de Richard Dhohedt.

N°13

Le jardin merveilleux de Pierre Cardin - Confiance créatrice : Pierre Bernard avait donné à Antti Lovag la possibilité de construire les villas de La Galère et de L'Esquillon - Les coques préfabriquées en matériaux composites d'Impact Design - L'Héliostore, par Jacques Deval - Sculpture avec ordinateur et laser.

N°14

Jalons pour une nouvelle architecture - Architecture textile - L'enseignement de l'architecture en Europe : le pire et le meilleur - Des bulles au collège de L'Estérel à Saint-Raphaël - Constructions thérapeutiques - Pierre Cardin achète la villa de L'Esquillon.

N°15

Des coques qui respirent - Technique d'une construction en ferro-ciment : la maison d'Antonio Beninca - Au bout de l'aventure, l'avenir nous appartient - Au pays des sons - Architecture et acoustique - Histoire du voile de béton.

N°16

Les meubles d'Antti Lovag - Le mythe imaginé de la sphère - Enseignement de l'architecture : création d'un pôle pratique - Rencontre entre constructeurs de maisons en voile de béton.

N°17

Bulles en modules : Antti Lovag propose des coffrages pour construire des voiles autoportants - Création d'un centre de recherche sur l'habitat - Présentation du Centre de recherche et d'expérimentation sur l'habitat.

N°18

Des bâtiments en matériaux composites : les coques du Groupe Impact Design - Un habitat aquatique ou terrestre : Anthénéa, un module de vie autonome en composites - Miser sur l'innovation - Jacques Couëlle, pionnier d'une libération des formes : l'architecture mimétique - Nouveaux produits.

N°19

Nouveau monde - Antti Lovag et habitologie : priorité aux espaces de vie, leur enveloppe, le mobilier et les circulations - Pour une mise à jour de l'architecture.

N°20

Construire en harmonie avec la nature - Une maison-bulle monument historique - Techniques de construction des maisons-bulles - Une habitation exemple de conception par Antti Lovag - Architecture et maisons-bulles - Liste de maisons.

**Habitat du n° 2 au 18 : 30 F., du n° 19 au 21 : 50 F.
Homme et Habitat, chemin Vetter, 69270 Fontaines-sur-Saône. Tel. (33) 04 78 08 07 37, Fax (33) 04 78 08 64 57.**

***Défit de notre époque :
améliorer l'habitat
par l'utilisation***



Projet d'Antti Lovag
Dessin de Pierre Colleu et Martine Jovine

***des connaissances
scientifiques
et technologiques***