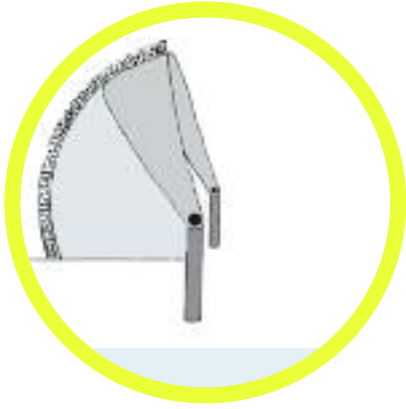


# Habitat<sup>25</sup>



GABARITS  
GUSSEMENTS



**Pourquoi  
des courbes**

**Choisir  
la technique**

# Courant porteur

Une question se pose encore aujourd'hui : pourquoi les caractéristiques d'habitations de haute qualité sont elles à ce point méconnues ? Il y a au moins deux catégories d'explications.

L'une est culturelle. Le faisceau convergent des raisons qui justifient des habitations avec des courbes n'est pas pris en considération. La conception d'habitations orthogonales est à ce point dans les modes de pensées et dans la pratique ordinaire qu'aucune alternative n'est réellement évoquée, même par les historiens et les enseignants de l'architecture. Combien de livres traitent des habitations que nous décrivons ici ? Comment attendre du public, dans ces conditions, qu'il manifeste davantage le désir de faire construire des maisons si peu comprises et si peu décrites. Certes de nombreux magazines de presse écrite ou de télévision montrent ces habitations. C'est un début, mais c'est presque toujours pour attirer la curiosité du public en présentant rapidement des sujets de rêve, hors de portée ou évoqués comme de vraies « folies ».

L'autre catégorie d'explications est technique. Malgré la diversité des procédés de construction de ces maisons, ils restent peu accessibles aux entreprises du bâtiment. C'est évidemment ce qui peut justifier les réticences. Ce serait donc du réalisme.

Nous avons rassemblé quelques unes des raisons qui justifient ces habitations. Il y a matière à réflexion, semble-t-il. Mais nous avons surtout recherché les procédés les plus simples, les plus rapides et donc les plus économiques, qui rendraient ces constructions enfin accessibles. La réduction des coûts est un courant porteur. A vous de juger !

## SOMMAIRE

- 3 - Pourquoi des habitations avec des courbes ?  
Quelques unes des milles et une raisons
- 13 - Choisir une technique de construction :  
de nouvelles solutions à essayer  
Le procédé des gabarits glissants
- 20 - D'autres procédés
- 23 - Après les Journées de recherche sur l'habitat
- 24 - Archilab 2004 : la ville à nu
- 25 - Mosaïque d'événements
- 27 - Sommaire des précédents Habitat  
Les sites internet

**Habitat n°25, une publication de l'association Homme et habitat. Rédaction et administration : Habitat, chemin Vetter, 69270 Fontaines-sur-Saône (France).**  
☎ (33) 04 78 08 07 37 📠 (33) 04 78 08 64 57 - Courriel : chrHabitat@wanadoo.fr.

Dépot légal : mai 2005 - ISSN 1140-8499

# Pourquoi des habitations avec des courbes ?

Quelques unes des milles et une raisons

Quelles formes utiliser en architecture ? Peut-on choisir entre les angles droits et les courbes ? Poser cette question, c'est provoquer un débat qui aboutit — pas seulement parmi les professionnels — à des prises de position souvent tranchées et à des condamnations croisées pour « formalisme ». Précisons que la question sur la forme ne concerne pas seulement l'aspect extérieur de la construction (on connaît le « façadisme » et actuellement la recherche de « l'effet d'image »), mais aussi et surtout l'aspect intérieur et son fonctionnement.

Employer ce dernier mot rend suspect d'un

autre motif d'accusation, le « fonctionnalisme », dont la signification n'est pas moins ambiguë. Nous pensons néanmoins, avec beaucoup d'autres que la forme doit être adaptée à l'usage.

## Souvenirs d'enfance

Pour sortir des interminables discussions sur ces sujets et revenir à la réalité, rien de mieux qu'un retour à la simplicité de l'enfance et à une expérience personnelle. Celle-ci n'est évidemment pas unique : c'est probablement

## Points de vue sur le formalisme

- Une architecture formaliste est celle dans laquelle la forme a été définie et conçue pour elle-même, sans tenir suffisamment compte des autres facteurs qui doivent influencer la création.

- Le formalisme me fait penser aux personnes justement qui rangent les projets des autres dans des architectures de formes et qui finalement ne font que réagir à la forme, peut-être parce que le créateur de cette forme ne rend perceptible de son travail que sa matérialisation et non toutes les raisons qui ont conduit à l'élaboration du projet.

A l'inverse, il y a des gens qui ne travaillent que la forme, presque exclusivement les articulations, et noyés dans ce travail de minutie, ils en oublient de remettre en question tous les a priori qu'ils ont posés en amont.

J'ai vu le diplôme d'un copain cette semaine, il se situait dans la deuxième catégorie à 110% et il constatait que ses profs étaient réfractaires à la forme qu'il avait choisie, alors qu'il n'y avait pas de véritables fondements dans son projet, si ce n'est le programme établi par d'autres.

- Tout ce qui existe dans la réalité a une forme. Mais qu'est-ce que le « formalisme » ? L'insulte préférée des pseudo néo-modernes face à des architectures organiques ? L'architecte qui fait de la forme pour la forme ? Toute forme a un sens. La forme sans sens est « formaliste ».

- Mon projet d'archi en ce moment se décline avec un ensemble de volumes simples caractérisés par une certaine orthogonalité. Mais dans cette école, la poésie de l'oblique et de la courbe domine et me voilà traité de formaliste par les personnes qui justement pour moi l'étaient.

- Chez nous c'est l'orthogonalité qui est prônée, même l'oblique n'a pas toujours sa place dans nos plans, alors la courbe... Notre prof de théorie de l'architecture n'arrête pas de nous rabâcher que la forme est secondaire.

(Extrait d'un forum sur Internet : <http://www.aroots.org/forum2/>)



Certaines constructions des siècles passés fascinent à juste raison.  
(Heeresgeschichtliches Museum, Vienne, **Ernst Hausner**)

l'histoire de la plupart de nos contemporains et pas seulement en Occident.

On sait que les connaissances acquises durant l'enfance et l'adolescence déterminent en grande partie notre vie à l'âge adulte. Encore bambin, j'ai été émerveillé par l'architecture des églises. Leurs voûtes, arcades et coupoles me plongeaient dans une rêverie sur les formes architecturales. Plus tard, à 13 ans, chez mes parents, assis à la table de la cuisine j'observais ma mère s'affairer à la préparation d'un repas avec un équipement et des meubles pas toujours pratiques; j'avais plaisir à imaginer d'autres équipements et d'autres aménagements. Je n'ai en revanche pas d'émotion particulière au souvenir de l'enchaînement des boîtes à angles droits qui constituaient l'appartement: ce n'était qu'un espace de circulation et de jeux.

Ces expériences que chacun a pu faire nous ont révélé la diversité des formes possibles, en dehors des «boîtes» et la nécessité d'une adaptation précise aux usages de la vie quotidienne.

Dans les années 1960, quand j'ai découvert les premières habitations en voile de béton présentées dans les magazines, j'ai soudain pris conscience qu'elles offraient de nouvelles solutions, une meilleure synthèse des formes et des usages. Ce n'était plus la succession de

**Fonctionnalisme**, principe d'architecture exprimé à la fin du XIX<sup>e</sup> siècle affirmant que «la forme découle toujours de la fonction» (Sullivan, architecte américain, parmi d'autres). Il serait plus juste de dire que la forme s'adapte à la fonction: «le besoin de marcher ne crée pas les jambes» (Le Ricolais). A l'école du Bauhaus, les bâtiments sont découpés en blocs mono-fonctionnels distincts. Aux Etats-Unis, à la suite de Taylor, la forme architecturale est censée découler des découpages internes d'un usage rationalisé de manière abstraite. Aujourd'hui, certains bâtiments orthogonaux sont voulus neutres par rapport à l'usage, permettant théoriquement toutes les utilisations ou correspondent à un *fonctionnalisme conceptuel*, c'est-à-dire suggèrent expressivement par leurs formes les qualités attendues de l'usage auquel ils sont destinés (une banque, un palais de justice, etc...), mais sans correspondre nécessairement à un usage.

courbes à l'intérieur des églises en pierre, dont les formes répétées et symétriques suggéraient, à travers leurs merveilles, la fixité éternelle. Les courbes multiples de ces nouvelles constructions s'affranchissaient de la symétrie et des ornements pour mieux s'adapter à l'environnement et à l'usage. Les coques autoportantes en béton (ou en d'autres matériaux composites) se succédaient librement, semblait-il, sans les contraintes de la pierre dont l'équilibre nécessaire à l'assemblage générait l'impression de statisme que j'avais ressentie. C'était la souplesse et le dynamisme qui étaient suggérés par ces nouvelles habitations.

Certains pensent que ces créations des années 60 et 70 n'ont été qu'un phénomène de mode ou bien qu'elles n'auraient été qu'une réaction de circonstance après les ratées de l'orthogonalité des grands ensembles de l'après-guerre. C'est à notre avis une erreur de perspective, compréhensible il y a quelques années, quand on n'avait pas suffisamment de recul. Maintenant, on peut expliquer pourquoi ce sont les premières manifestations d'un changement que l'on peut qualifier de fondamental.

## Intermède orthogonal ?

La fin du XIX<sup>e</sup> et le XX<sup>e</sup> siècle jusqu'à nos jours correspondent à une période marquée par le progrès rapide des sciences et des techniques. L'évolution d'ailleurs s'accélère

Jusqu'au XIX<sup>e</sup> siècle, les matériaux principaux de la construction sont la pierre, la chaux et le bois. L'architecture évolue avec leurs techniques et tend presque partout, dans les grandes constructions (avec des différences selon les époques), vers l'emploi des courbes : voûtes, coupes, arcades et linteaux cintrés. Ce ne sont parfois que des artifices décoratifs, mais ils révèlent bien une fascination pour ces formes. Seule la difficulté d'exécution freine le recours aux courbes et aux ornements. Ces caractéristiques se retrouvent dans quelques habitations.

A partir du XIX<sup>e</sup> siècle, la croissance industrielle permet la production des matériaux en grande quantité. Les métaux, le béton armé et le verre deviennent les composants principaux de la construction. Les architectes, en perfectionnant leur utilisation, intègrent progressivement la logique industrielle dans la conception des formes : place aux lignes et aux angles



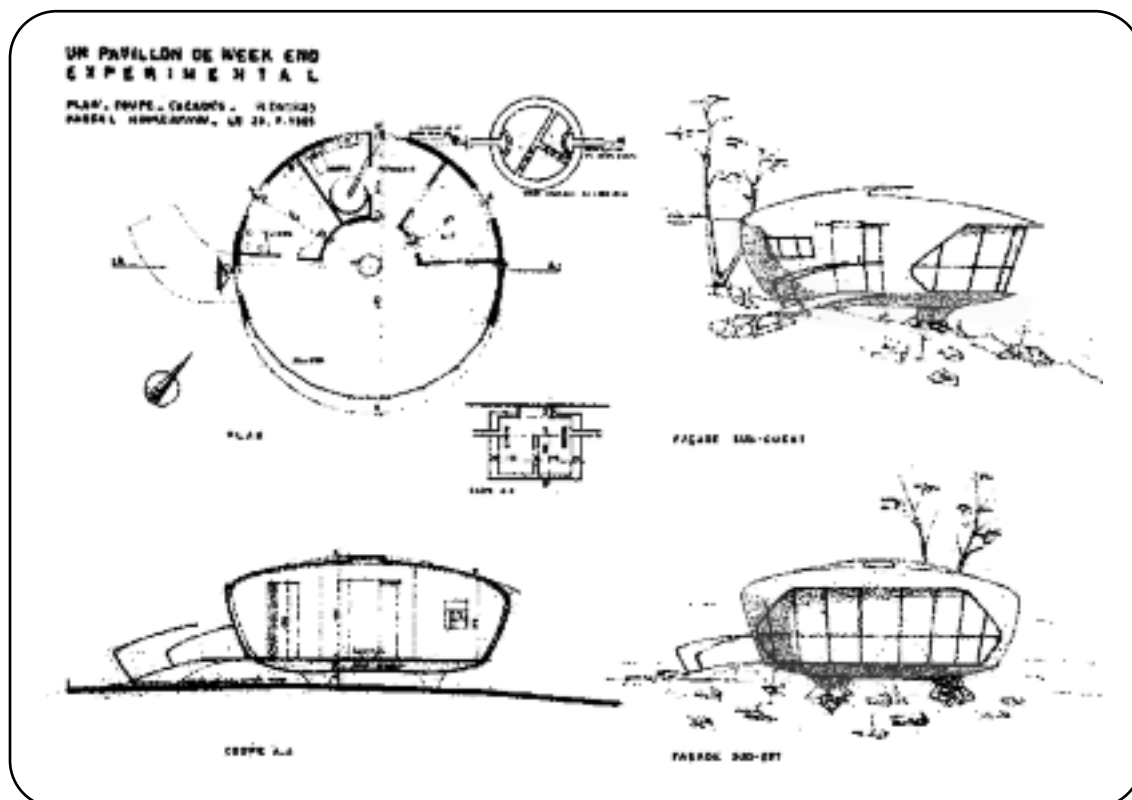
Le mur-rideau suffit-il à réduire l'impression d'enfermement dans une boîte ?

(New York, Usis)

droits, suppression des ornements, soumission accrue aux règles comptables et utilitaires. La création se réfugie dans une savante alternance des pleins et des vides. Le mur-rideau et les façades en verre apparaissent pour réduire l'impression d'enfermement dans une boîte.

Cette adaptation aux changements apportés par l'industrie et le développement économique se retrouve presque chez tous les architectes. L'une des phases les plus significatives en Allemagne est évidemment celle qui correspond au Bauhaus (1919-1932). Le passage de l'activité de l'artisan-compagnon, au début de l'école, à la collaboration avec l'industrie, sera l'une des causes de sa disparition à travers des implications politiques, après l'émigration entraînée par l'arrivée du nazisme.

On produit généralement des volumes orthogonaux, 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 conscien



Plan, coupe et dessins d'une des premières habitations en voile de béton, en 1959, par Pascal Häusermann. (Collection du FRAC Centre)

ce, 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, tente de faire oublier l'inadéquation engendrée par l'orthogonalité systématique.

« Dans une phase euclidienne, nous avons des espaces rigoureusement à angles droits, car l'homme est subjugué par la découverte des trois axes de référence (vertical, avant-arrière, gauche-droite). Les surfaces et parois planes imposent partout leur présence, car l'industrie a figé cette conception mentale des espaces. Nous venons de passer par une phase super-euclidienne de l'architecture. L'homme actuel recherchant la sécurité n'y trouve pas son compte. » (Jean Cousin)\*

Les formes à angles droits ont des raisons pratiques évidentes. Il est simple de découper ou de former des éléments droits. Leur assemblage et leur prolongement se font sans difficulté de conformité. Dans un ensemble orthogonal, tout peut être juxtaposé et fixé aisément. Le stockage d'éléments orthogonaux dans un

contenant orthogonal se fait avec des pertes de place minimales. Mais le modèle de l'entrepôt doit-il pour autant se généraliser ? Peut-on se contenter d'une architecture de formes purement utilitaires ? Le choix « du bon à tout, adapté à rien » peut-il être satisfaisant pour une habitation, alors qu'un haut niveau de qualité, pas toujours coûteux, pourrait apporter le plaisir des formes et l'adaptation à l'usage ?

## Premières habitations en courbes

Au delà des caractéristiques dominantes depuis un siècle, la recherche des courbes persiste : la construction de coques et de voiles minces continue, y compris dans le secteur de l'habitation individuelle qui nous intéresse plus particulièrement ici.

La première maison en voile de béton est réalisée en 1959 par Pascal Häusermann (1936). Mais déjà, en 1924, en pleine période de ce que Frédéric Kiesler (1896-1966) appelle « le cube prison, panacée universelle », celui-ci avait conçu deux maisons sphéroïdales et

\* *Espace vivant*, Editions Le Moniteur.

développé le principe de sa «Maison sans fin». Ce type de constructions diffère radicalement de la plupart des constructions en pierre qui utilisaient les courbes: le plan n'est plus orthogonal et échappe aux règles de la symétrie.

Durant les décennies 1950 à 70, une multitude — marginale par rapport au reste de la construction — de projets d'habitations en courbes, conçus par de nombreux architectes, verront le jour en France, mais aussi un peu partout en Europe et en Amérique. Beaucoup ne dépasseront pas le stade des plans et des dessins. Certaines maisons seront réalisées parfois dans des conditions techniques médiocres et ne contribueront pas toujours à la réputation de cette forme de construction. Mais depuis les années 1980, on peut estimer que la qualité d'exécution est au rendez-vous.

La diversité des formes rendue plus facile va permettre de faire progresser aussi la conception même des espaces habitables courbes. Les constructions en pierre avec voûtes, coupes et profusion d'ornements manifestaient le symbolisme de la voûte céleste et l'omniprésence de la religion dans la société. La liberté moderne de ces formes se justifie d'abord par le plaisir des courbes et par l'adaptation à l'usage.

«Toutes les formes courbes sont belles», disent certains. Peut-être. A l'origine de leur choix, il y a presque toujours le désir de retrouver le plaisir ressenti à la contemplation des courbes des constructions anciennes ou celles que l'on trouve dans la nature. En y intégrant l'adaptation à l'usage, on leur apporte la rationalité, la justification logique sans laquelle la satisfaction sensorielle est incomplète. C'est aussi une manière de concilier harmonieusement les formes et les fonctions.

## Réminiscence de l'espace foetal

On peut aussi expliquer la fascination pour les courbes par la réminiscence de l'espace foetal.

«L'englobement est la situation initiale du vivant humain. Celui-ci prend son départ dans une matrice, qui, soit par elle-même, soit par l'intermédiaire du liquide amniotique, établit un contact continu et fermé autour du fœtus. Paradis perdu, la matrice offre au désir son terme permanent. Sans doute, la maturation et

l'éducation entraîneront des ouvertures et des distances, mais Hegel et Freud nous ont convaincus que celles-ci ne sauraient briser le lien premier.

«Cette qualité enveloppante de l'espace humain suscite, dans les sociétés, une fonction spéciale: l'architecture. Celle-ci ne se propose pas uniquement de créer un vêtement agrandi (la matrice n'est pas un vêtement), mais un milieu où l'individu puisse se mouvoir en demeurant sans cesse chez lui, ce qui n'est guère le cas du vêtement. Somme toute, il s'agit, en passant du sein maternel au berceau, à la chambre, à la maison, au quartier, à la ville, à la région, que le vivant continue d'exister dans un englobement sans faille. (...) Semblablement, Paul Virilio voit dans l'architecture cryptique des grottes, des temples hypogées, du labyrinthe crétois, des tumuli étrusques, voire des bunkers allemands du Mur de l'Atlantique un fantasme inspirateur de tout architecte.

«Les constructeurs rationalistes en témoignent à leur manière lorsqu'ils cultivent les formes (*orthogonales*) et les proportions simples, les thèmes fixes, les correspondances sensibles entre les mesures du bâtiment et les mesures de l'homme (Modulor statique de Le Corbusier, module du geste de Nelson, module de déambulation de Mies van der Rohe): en sus des prestiges mathématiques, ou plutôt par eux, ils visent à ce que l'habitant sente, où qu'il se tourne, qu'à côté et derrière lui c'est le même univers qui continue. Comme tout vivant, l'être humain veut un contact qui le cerne de toutes parts, et d'autant plus sans doute qu'il est un mammifère à foetalisation prolongée.» (Henri Van Lier)

«La naissance est un arrachement à l'unité. L'enfant est si bien au sein de sa mère qu'il ne souhaite en rien en sortir, et, qu'à peine sorti, il la recherche désespérément.» (Olivier Marc)

Les visiteurs des maisons bulles éprouvent d'emblée un sentiment de bien-être. Les courbes multiples — voûtes, coupes, ouvertures rondes ou ovales — expliquent sans doute cette impression. Leurs rondeurs expriment par leurs ressemblances biologiques une douceur absente de nos maisons traditionnelles.

«Une sphère ne nous enferme pas comme un cube, elle matérialise notre bulle, notre moi; tandis que le cube formé de plans faisant opposition à nos axes dynamiques, nous limite, nous enferme réellement. Il s'agit donc de

deux espaces différents : l'un visuel (orthogonal) produit par une civilisation qui privilégie le sens de la vue, l'autre plus tactile (courbe).» (Jean Cousin.)

Pour Marshal Mc Luhan, il y a eu des périodes où le visuel n'était pas détaché des autres sens : à l'époque médiévale et encore de nos jours chez certains, le visuel est relié à l'acoustique et au tactile.

## Les formes dans la nature

Les sciences de la nature font prendre conscience du caractère artificiel des formes orthogonales. Mis à part certains cristaux, on ne trouve pas de formes à angles droits, pas plus chez les êtres vivants que dans l'univers minéral.

«Les électrons, les planètes, les satellites, les étoiles, les galaxies et les nébuleuses ne connaissent pas la ligne droite, il n'est que trajectoire courbes dans l'univers. Quant au monde vivant, ce sont justement les courbes qui font sa beauté. La droite et le plan qui lui est associé n'existent qu'à l'état de rareté naturelle : arêtes des cristaux, rayons du soleil derrière les nuages, araignée au bout de son fil. Cette puissante notion intuitive de la ligne droite, codifiée par les géomètres grecs, n'a été réalisée à bonne échelle qu'à partir de l'ère industrielle. On sait aujourd'hui faire des règles ayant des dizaines de mètres qui, si on pouvait les poser à la surface d'un étang, révéleraient tout de suite que le plan d'eau n'est pas un plan, mais une portion de sphère.» (Renaud de la Taille)

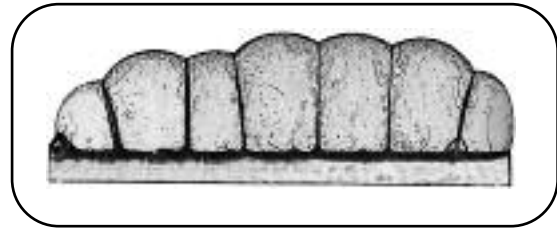
Quand on évoque les phénomènes physiques, il faut rappeler l'œuvre du mathématicien Pierre-Louis Moreau de Maupertuis\* qui a exposé en 1744 son grand système universel qui prit le nom de «Loi de moindre action». D'après ce principe, la nature agit toujours aussi économiquement que possible. De cette idée Maupertuis déduisit son principe général : «Si un changement se produit dans la nature, la quantité d'action nécessaire pour l'accomplir doit être la plus petite possible.»

\* «*Mathématiques et formes optimales, l'explication des structures naturelles*» par Stefan Hildebrandt et Anthony Tromba (Belin).

Ces affirmations sont bien sûr à nuancer, compte tenu des connaissances scientifiques de l'époque. En biologie, par exemple, la génétique complique le problème. L'adaptation d'un être vivant à son milieu est un phénomène complexe avec de nombreuses interactions.

## Bulles de savon

Les surfaces minimales passionnent depuis longtemps les mathématiciens. Elles sont concrétisées par les films de savon qui ont une aire minimale. Les formes merveilleuses des films de savon et leurs modèles mathématiques



Série de sept bulles de savon accolées.

illustrent de façon spectaculaire l'action d'un principe de minimum.

Certaines surfaces minimales sont particulièrement intéressantes. De tout temps, on a considéré que le cercle et la sphère étaient les figures géométriques parfaites. Le philosophe grec Proclus (V<sup>e</sup> siècle avant J.C.) écrivait : «Le cercle est la première, la plus simple, et la plus parfaite de toutes les figures.» La symétrie parfaite du cercle et sa remarquable propriété isopérimétrique justifient cette affirmation. Didon avait déjà découvert que le cercle est la courbe d'aire maximale pour un périmètre donné. C'est une surface définie par une seule dimension, le rayon.

C'est Jacob Steiner qui proposa en 1836 la démonstration de ce théorème : «Parmi toutes les figures planes de même superficie, le disque est celle dont le périmètre est minimal.»

Ce théorème explique aussi pourquoi à la surface d'un bouillon, les gouttes d'huile sont rondes et non triangulaires ou hexagonales. Les forces moléculaires façonnent en effet une figure de périmètre minimal — c'est à dire d'énergie potentielle minimale pour la quantité d'huile donnée — c'est donc un disque. Si deux gouttes se rencontrent, elles s'agglutinent rapidement pour former un seul disque de plus grande taille.

On ne sera pas surpris que le disque ait d'autres propriétés optimales, par exemple



d'être parmi toutes les figures planes, celle qui peut servir de base au plus gros tas de sable.

La bulle de savon illustre le principe de Bernoulli sur le travail virtuel. Celui-ci affirme que l'équilibre est stable lorsque l'énergie potentielle est à un minimum. Une bulle contient une certaine quantité d'air, enfermée par une surface minimale: le film de savon. Cette propriété physique illustre le théorème d'après lequel « parmi tous les solides d'un volume prédéterminé, la boule a la surface d'aire minimale. Elle généralise à l'espace la propriété isopérimétrique du cercle dans le plan » définie par une dimension, le rayon.

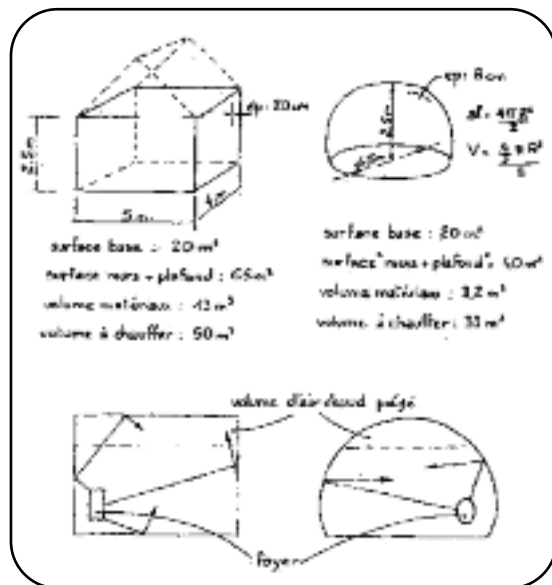
De même, des gouttes d'huile en suspension dans un liquide de même densité (ou quasiment soustraites, dans l'espace, aux forces de gravité) forment des boules parfaites. Ce fait peut être vérifié expérimentalement et le théorème correspondant a été démontré de façon rigoureuse. D'où la propriété maximale suivante: « Parmi tous les solides de superficie donnée, la boule est celui dont le volume est le plus grand. »

Un arrangement hexagonal peut résulter de causes diverses. La configuration d'aire minimale peut naître sous l'action de forces très différentes, telles que par exemple une pression uniforme ou une tension superficielle. L'observation d'une configuration ne permet donc pas de déduire quelles forces l'ont engendrée.

Autre sujet de recherches, quelle est l'origine des formes des êtres vivants? Cette question ouvre sur un vaste champ d'investigation. Une discipline récente en biologie s'efforce de comprendre le processus de création des formes: la morphogenèse. Le même type d'études peut concerner aussi le monde physique.

## Hyper-résistantes antisismiques et aérodynamiques

On sait que la résistance d'une structure dépend, non seulement de la matière, mais aussi des formes. Les volumes à simple courbure (le cylindre, par exemple) et à double courbure (la sphère, parmi d'autres) ont des propriétés de résistance mécanique et de stabi-



Comparaisons entre formes à angles droits et portion de sphère. (Joël Unal)

lité bien supérieures à celles d'autres volumes. Avec la même quantité de matière, ces formes courbes permettent d'obtenir une résistance bien supérieure à d'autres formes. C'est ce que l'on appelle une « résistance de forme ».

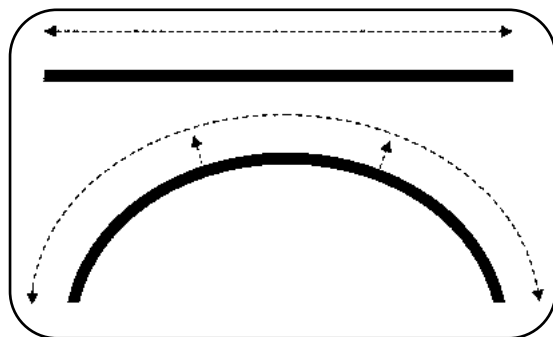
Parmi les exemples de formes étonnamment résistantes que l'on trouve dans la nature: « l'oeuf, la fleur, le crustacé, le coquillage, la bulle de savon, la toile d'araignée » (Michel Ragon). L'exemple le plus souvent cité est bien sûr celui de l'œuf dont la coquille est d'une très grande solidité malgré sa minceur.

Les habitations en coque illustrent elles aussi cette prodigieuse résistance due aux formes. C'est une justification supplémentaire d'emploi des courbes. Leurs performances mécaniques permettent de réduire la quantité de matière sans nuire à la résistance de la construction. En outre, leurs formes autosupportables leur confèrent une résistance sans égale aux secousses sismiques.

Les formes extérieures d'une coque offrent moins de prise au vent. Un volume cubique ou parallélépipédique subit de fortes pressions à cause des formes, alors qu'il est moins résistant. Aux U.S.A, certains recommandent les constructions courbes en voile de béton dans les zones soumises au passage des ouragans.

À l'intérieur d'une habitation en portion de sphère, le chauffage est plus efficace. L'absence de recoin facilite la répartition de l'air chaud. En outre, le volume réduit en partie haute diminue le volume à chauffer.

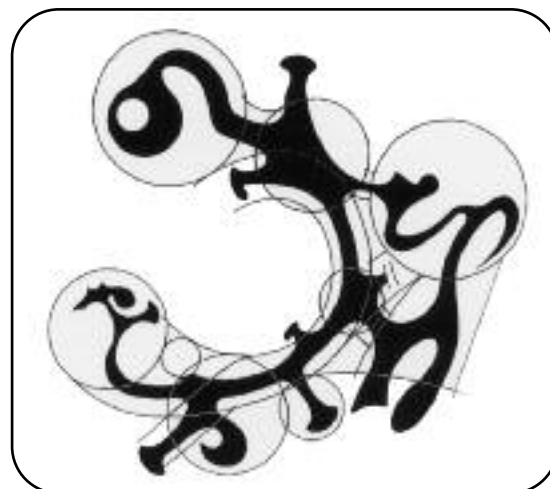
Les ouvertures, (portes, fenêtres, passage entre coques) sont maintenant circulaires ou ovales\*. Ce n'est pas seulement pour l'harmonie des formes, mais pour une raison technique. Une coque à double ou simple courbure ne réagit pas comme une paroi plane dont les variations dimensionnelles sont linéaires. La coque se dilate en suivant les lignes de courbure, comme un ballon dans le cas d'une forme sphérique. Un élément droit que l'on y intègre s'allonge dans un sens différent et peut se désolidariser de la forme courbe. Il est donc recommandé d'éviter l'association des droites et des courbes, surtout en cas de matériaux à réaction très différente, en particulier à l'extérieur où les variations de température sont les plus importantes. Le scellement des encadrements d'ouverture se fera de préférence, pour le voile de béton, en utilisant des fils de fer de 4 mm de section, soudés sur le cadre et entourés autour du ferrailage de la coque, toujours pour éviter les variations dimensionnelles dues aux changements thermiques et leurs conséquences, les micro-fissures. Les ouvertures carrées ou rectangulaires ne sont donc pas recommandées.



La dilatation des matériaux, selon les variations de température, suit les lignes de forme. Une pièce droite se dilate en ligne droite essentiellement. Une coque se dilate dans des directions multiples, comme un ballon qui gonfle et dégonfle, mais peu en ligne droite.

## Adaptation à l'usage

Une habitation copiée directement sur les surfaces minimales ou les formes d'êtres vivants peut être esthétique, mais elle n'est pas nécessairement adaptée aux besoins des habitants. On comprend que les étiquettes d'archi-



En noir, tracé des circulations dans une habitation en courbes (Antti Lovag) : toujours des courbes, même dans une maison à angles droits.

tecture « organique », « bio-architecture » ou « bio-mimétique » ne puissent pas toujours convenir aux architectes à qui on les attribue, même quand ils ont trouvé de l'inspiration au spectacle de la nature.

Les formes à angles droits sont une invention humaine, mais cela ne permet pas de dire qu'elles ne conviennent guère pour une habitation. C'est plus simple : « Notre corps est constitué de courbes. Nos gestes et nos déplacements tracent des courbes. Quand on marche, au niveau des pieds, on a besoin de peu d'espace au sol. C'est à hauteur des bras qu'on a besoin de plus d'espace. Moins au dessus des épaules. L'usage détermine la forme pour de nombreux ustensiles : assiettes, bols, verres, bouteilles, tonneaux, etc... Pourquoi pas pour nos habitations ? » (Antti Lovag).

Dans des courbes bien adaptées, il y a, par conséquent, une meilleure économie des gestes et des déplacements. Le tracé de circulation des habitants à l'intérieur d'une maison, qu'elle soit de formes courbes ou orthogonales, est sans ambiguïté, on n'y discerne que des courbes. Les volumes anguleux, outre le risque de se heurter aux angles saillants, entraînent des détours.

Pour concevoir un habitat, la première démarche va consister en une recherche méthodique de l'ensemble des données de l'environ-

\* On sait que le champ de vision de nos deux yeux est ovale.

nement et des nécessités des habitants afin de tirer parti des avantages des formes réalisables.

Une habitation en portion de sphère permet d'orienter les ouvertures (portes et fenêtres) dans la plupart des directions. On ne subit plus la contrainte des murs plats qui imposent certaines directions. On peut orienter la fenêtre en fonction de l'ensoleillement, selon les saisons et selon l'usage de la pièce (cuisine, chambre, bureau, etc...), en fonction aussi de l'agrément de vue vers l'extérieur et des souhaits de ventilation. (Antti Lovag)

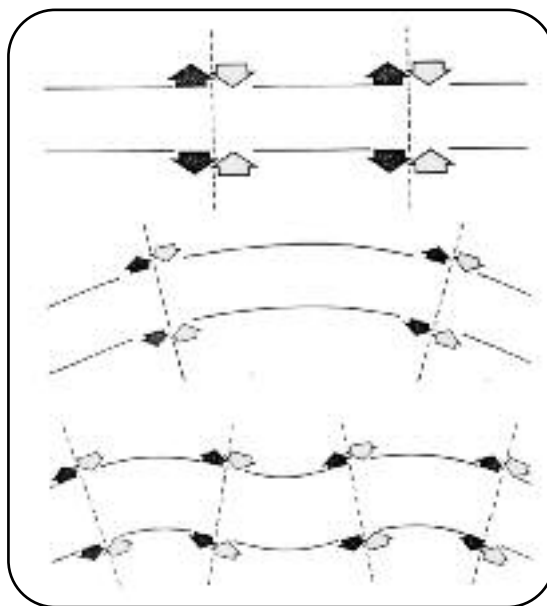
Il convient de tenir compte de l'avantage d'une ouverture vers le ciel (skydome) qui laisse passer « seize fois plus de lumière ». Elle doit cependant être ouvrable afin d'évacuer l'effet de serre pendant les fortes chaleurs. Elle offre aussi l'avantage de ventiler une pièce beaucoup plus rapidement et plus complètement qu'une ouverture basse. Son équipement d'un volet ou d'un disque rideau permettra de supprimer l'entrée du soleil ou de la lumière pour une chambre.

Le choix du mobilier et des espaces de circulation, en fonction du nombre d'habitants et des usages souhaités déterminera les dimensions et le nombre de bulles, leur assemblage et leur implantation sur le terrain.

## Mobilier fonctionnel

Les meubles intégrés à la construction constituent l'équipement principal de l'habitation. Ils doivent offrir la meilleure adéquation possible à l'usage, en économisant les gestes et les déplacements. Ils pourront comporter des éléments mobiles pour une plus grande variété et commodité d'usages. Des tablettes d'une quarantaine de centimètres de hauteur à la périphérie des coques offrent le double avantage de servir d'assise occasionnelle et de permettre de poser commodément des objets. On trouve leur origine dans des constructions très anciennes, notamment dans les pays nordiques. Leurs parois latérales seront alignées sur le rayon de la surface circulaire de la pièce, par commodité et afin d'éviter l'impression de désordre agressif des lignes. Ce sera aussi le cas des meubles avec des parois latérales droites

La logique des formes conduit à rechercher les meubles les plus adaptés à la fonction. Une longue table rectangulaire (outre l'inconvénient évident des angles) ne favorise pas la conversation au delà de quelques convives.



A travers les ouvertures d'une paroi droite, vision et flux lumineux sont répétitifs et monotones. Ils sont changeants et dynamiques avec des parois courbes.

(Pierre Roche)

Une table ronde équipée d'un plateau central tournant, analogue à ceux que l'on trouve en Chine, facilite la convivialité et le service de chacun dans les plats de nourriture.

Dans un salon, la disposition des fauteuils en cercle permet les échanges de groupe. L'éloignement des personnes ne doit pas dépasser environ trois mètres afin d'éviter d'avoir à élever la voix pour se faire entendre (Antti Lovag).

## Caractéristiques psychosensorielles méconnues

Compte tenu de la rareté des maisons bulles, peu de personnes en connaissent les caractéristiques spéciales par un vécu quotidien. C'est une expérience largement méconnue que j'ai déjà décrite\*, mais sur laquelle il faut revenir à nouveau ici.

\* Cf. Habitat n°20 et 22. Voir aussi «Architectures expérimentales» collections du Frac Centre (HYX), page 310, sans mention de l'origine de la citation.

Des volumes courbes ont des propriétés très particulières :

- Les perspectives intérieures curvilignes sont dépourvues des repères habituels à angles droits, de dimensions et d'orientation, ce qui crée une impression d'*ampleur indéfinissable*. Elles suscitent une sensation permanente d'espace. Lors des premières visites, une *perte d'orientation* est ressentie en circulant à l'intérieur.

- Chaque déplacement dans des volumes à courbes multiples entraîne une modification de perspective beaucoup plus sensible, ce qui donne une impression de *variété inépuisable*. Le séjour à l'intérieur est sans monotonie ; ceux qui y vivent n'ont pas envie de sortir sans raison : ils ne se sentent pas enfermés dans ce volume d'aspects aussi divers.

- 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* et de *confort*. 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.

Ces diverses particularités créent une ambiance extrêmement différente de celle d'un volume orthogonal. C'est en particulier le cas lorsque l'habitation est constituée de plusieurs portions de sphère communicant entre elles par des ouvertures. Une simple visite ne permet généralement pas d'en prendre conscience autrement que d'une manière confuse. Il s'agit là pourtant des caractéristiques qui expliquent pour une large part l'attachement des habitants à ces maisons.

## Architecture de l'écologie

En résumé, compte tenu des formes que l'on trouve dans la nature, de l'étude des surfaces minimales, des formes les plus résistantes, économiques en matériaux et de l'adaptation à l'usage, on peut en conclure que s'il y a une architecture de l'écologie, c'est bien celle des courbes. Cela suppose évidemment que ces formes qui s'harmonisent si bien avec le milieu naturel soient aussi constituées de matières qui ne dégradent pas l'environnement. On sait qu'il faut éviter la pollution chimique des sols, de l'eau et de l'air, ainsi que

réduire la production des gaz à effet de serre. Ce sera certainement réalisable pour ce genre de construction, comme dans beaucoup d'autres domaines, car il n'est pas possible de rester à l'écart de ces problèmes.

Les solutions écologiques passeront rarement par un retour aux formes et aux matériaux du passé. Il n'y a pas de marche arrière dans l'évolution des sciences. Mais des choix sont possibles, en dehors des sciences fondamentales dont l'orientation doit rester libre. Dans l'application des technologies, les changements de direction sont nécessaires. Cela passe par une réorientation de l'industrie et de nouveaux développements. Le pouvoir politique, sous l'influence des citoyens, doit avoir un rôle d'incitation forte, car les mécanismes économiques ne prennent pas suffisamment en compte ce type de changements.

## Utopie ou réalité

Les constructions en courbes sont peu nombreuses. Leur géométrie spéciale nécessite des solutions techniques très différentes des constructions à angles droits. Faut-il pour autant les qualifier d'architecture *utopique*, dans le sens d'*irréaliste* ou toujours *en projet* ? C'est bien sûr méconnaître ce qui existe. Si le mot *utopique* fait référence au royaume d'Utopia et à un avenir plus ou moins *futuriste* d'une société de rêve, le qualificatif n'est pas très approprié. Depuis une vingtaine d'années, des maisons très élaborées ont été construites et on peut maintenant en apprécier les avantages. On n'est plus dans le rêve, c'est une réalité quotidienne pour ceux qui y vivent. Nous avons présenté ici des habitations réussies et nous sommes persuadés que ceux qui souhaitent en construire peuvent raisonnablement s'engager dans ce type de projets.

L'innovation doit néanmoins se poursuivre dans les domaines techniques, en particulier en ce qui concerne les matériaux et les procédés de mise en œuvre. Les outils informatiques déjà présents n'ont pas encore produit tous les changements dont ils sont porteurs. L'habitat de demain sera bien différent de celui que nous connaissons couramment aujourd'hui. On sait que l'avenir échappe presque toujours aux prévisions. Il est néanmoins en germe dans le présent.

**Christian Roux**

# Choisir une technique de construction

## De nouvelles solutions à essayer

Nous vivons une période de contrastes étonnants.

Le développement des sciences et des technologies donne la possibilité de réaliser les formes les plus originales et d'apporter des solutions à des problèmes pratiques défiant l'imagination peu d'années auparavant. Citons pêle-mêle les bâtiments de très grande hauteur, plusieurs centaines de mètres, de formes courbes ou à déformations complexes (en Amérique ou en Asie), la Géode, le viaduc de Millau, le tunnel sous la Manche, les constructions de Santiago Calatrava, etc... Sans oublier les constructions spectaculaires en aéronautique, astronautique, automobile, nautisme et quelques objets de la vie courante notamment dans les nouvelles technologies.

En revanche, le secteur de l'habitat individuel reste étonnamment timoré, quand il n'est pas franchement rétrograde. Ce qui n'est pas sans conséquence même sur les constructions prestigieuses auxquelles nous venons de faire allusion. Un architecte (ou un ingénieur) qui n'a pas eu l'occasion de se confronter aux solutions de la vie quotidienne dans la conception et la réalisation des petites habitations ne maîtrisera pas toujours les implications d'un grand projet concernant le vécu quotidien. La construction spectaculaire vue de l'extérieur pourra se révéler invivable à l'intérieur ou d'une banalité attristante.

Depuis plus de vingt ans, nous œuvrons modestement ici — car sans autres moyens financiers que ceux donnés par nos adhérents — pour un renouvellement des habitations. Les caractéristiques actuelles du marché n'ont pas encore attiré les investisseurs dans ce domaine. Nous continuons donc à rechercher des solutions techniques simples permettant d'échapper aux angles droits systématiques, en restant à la portée du plus grand nombre de candidats à une construction individuelle.

Dans des numéros précédents du bulletin Habitat, nous avons présenté plusieurs procédés de constructions. Certains ont déjà permis de réaliser des habitations incontestablement réussies, d'autres n'ont pas dépassé le stade des premiers essais. A nouveau, nous proposons des solutions à expérimenter, mais que nous croyons dignes d'attention. Nous en profiterons ensuite pour faire un rapide panorama comparatif de celles que nous avons déjà présentées.

## Le procédé des gabarits glissants

La principale difficulté des constructions de coques en voile de béton découle de la mise en forme des matériaux. Jusqu'à maintenant, les procédés utilisés résolvent le problème d'une manière plutôt globale avec l'utilisation soit de moules soit de gabarits et d'armatures pour

obtenir la conformité d'ensemble souhaitée, avant la projection du micro-béton. Les durées de main d'œuvre et par conséquent les coûts sont actuellement supérieurs à ceux d'une construction ordinaire. C'est bien l'une des causes qui freinent le développement de ce

type de constructions. A part les bâtiments prestigieux à usage public qui bénéficient des grands moyens, seuls des amateurs passionnés ou fortunés se lancent dans des projets d'habitation de ce genre. Un investissement personnel en temps et en argent est toujours nécessaire. Le travail du propriétaire peut compenser les moyens financiers.

L'objectif est donc de mettre au point un procédé au moins aussi rapide que ceux d'une habitation ordinaire en béton armé ou en moellons, y compris l'isolation thermique, avec de tout autres avantages bien sûr.

## De la partie... au tout

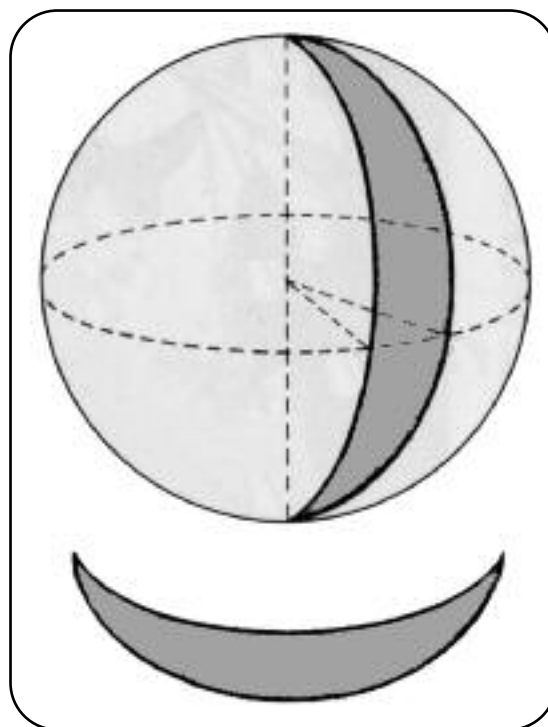
Nous proposons un processus d'exécution différent des précédents en allant, en quelque sorte, de la partie au tout. Au départ, on utilise un élément correspondant à une portion de la coque, dont le déplacement va permettre de former progressivement toute la coque. Il est plus simple évidemment de réaliser de petites parties de formes courbes qu'un ensemble beaucoup plus grand.

Une cellule d'habitation bien conçue a souvent une forme sphérique. On verra ensuite que l'on n'est pas limité à cette seule forme. Il est donc facile de réaliser un gabarit correspondant à une petite portion de la sphère. Ce gabarit mobile, pivotant sur des supports et glissant successivement le long de la paroi courbe après chaque moulage, constituera ainsi à chaque fois une partie de la forme à réaliser, pour obtenir à la fin la totalité de la coque.

Les ouvertures (portes, fenêtres, passage entre coques) devront être positionnées sous formes de gabarits particuliers, maintenus en place au sol ou en partie haute à l'aide d'un portique-échafaudage, ce qui permettra de réaliser leur contour précis au fur et à mesure de la construction de la coque. Le portique-échafaudage permettra aussi de choisir le cadrage de l'ouverture avant la position définitive.

## Une tranche de sphère mobile

Ce gabarit mobile peut avoir différentes formes. L'une des solutions les plus simples, c'est de lui donner la forme d'une tranche de sphère, entre deux méridiens. Cette tranche



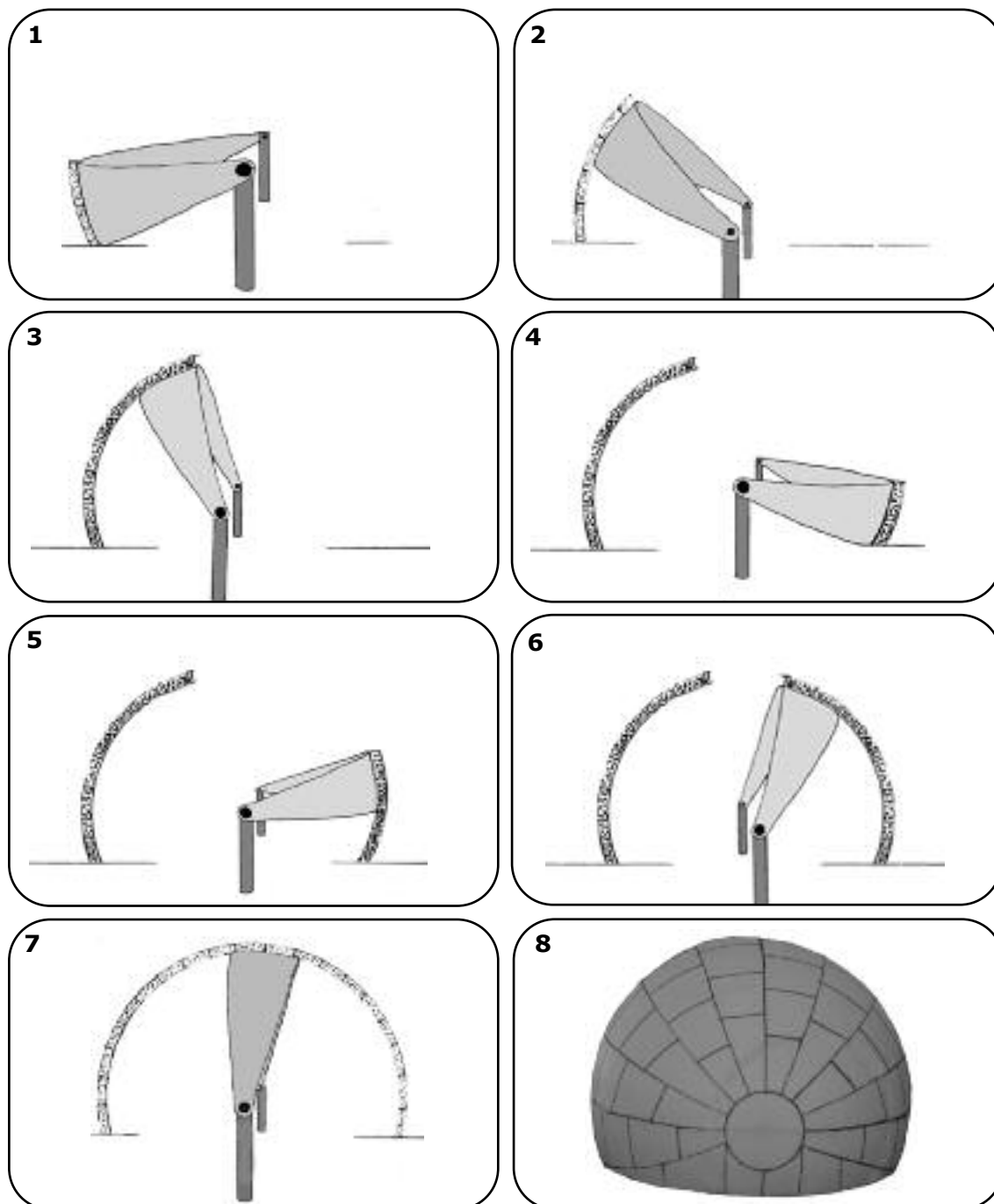
L'une des parties de sphère les plus faciles à reproduire est celle du fuseau: sa longueur est égale au demi-périmètre, sa surface courbe est délimitée par deux arcs identiques. Le gabarit-fuseau prévu aura les pôles à l'horizontal.

n'est pas utilisée verticalement, mais horizontalement afin de pouvoir la charger de matériaux sans difficulté de stabilité. Les deux extrémités de la tranche sont percées afin de recevoir des pivots pour la faire mouvoir, à hauteur de l'équateur, sur des supports fixés au sol. La tranche-gabarit est déplacée progressivement sur les pivots à l'aide d'un système de levage simple, moulage après moulage d'une portion de coque, jusqu'au point le plus haut. Le même processus est réalisé à l'opposé du point de départ pour constituer l'autre moitié de la coque à nouveau jusqu'au point le plus haut. Chaque mise en place de matériaux contre le gabarit est autostable puisque correspondant à une portion de voûte à double courbure dont les parties se verrouillent les unes aux autres. On réalise ainsi par étapes successives la totalité de la portion de sphère.

Pour réaliser une extension à cette première coque, le même processus peut être repris, avec un gabarit différent si le diamètre de la deuxième coque a une autre dimension.

○ Suite page 17

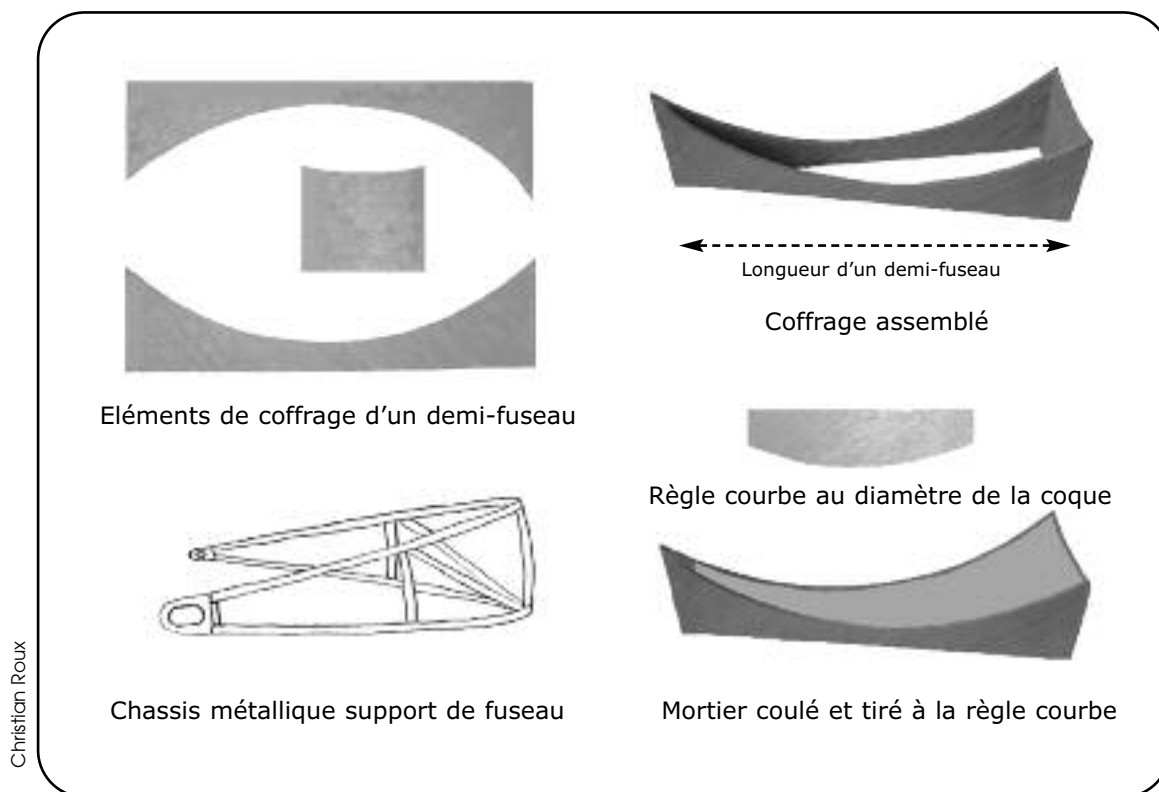
# Les étapes pour une coque



Christian Roux

Présentation schématique du fonctionnement d'un gabarit glissant : la coque est représentée en coupe au milieu, puis entière après la mise en place de blocs isolants et de béton fibré à l'intérieur. Le gabarit est une sorte de bouclier ayant la forme d'un fuseau de sphère. Il est percé aux pôles, à chaque extrémité où il reçoit des pivots horizontaux. Ceux-ci sont fixés sur des supports verticaux d'une hauteur correspondant à l'équateur. En effet, pour ne pas être gêné quand on est debout à l'intérieur d'une coque, l'équateur doit être au moins à une quarantaine de centimètres au dessus du sol. Le gabarit mobile permet la mise en place par tranches successives du béton fibré de l'intérieur de la coque et assure en même temps sa régularité de surface pour un minimum de reprises. Le positionnement des blocs isolants permet de plaquer régulièrement le béton sur ce qui est un gabarit-moule. Au départ, à défaut d'ouverture près des supports de pivot (ci-dessus n°8), l'espace laissé vide par le gabarit fait l'objet d'un remplissage spécial.

# Solution simple de fabrication du gabarit

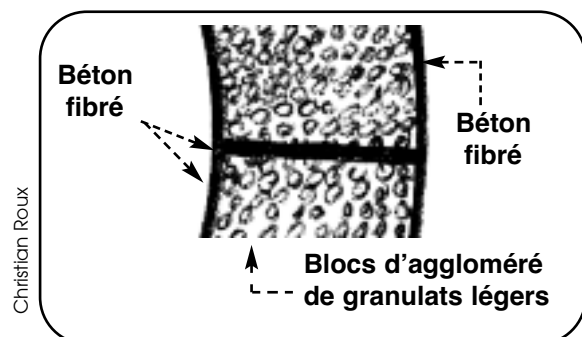


Christian Roux

L'un des avantages de cette forme de gabarit, c'est de pouvoir être réalisé avec des moyens simples. Un coffrage de trois éléments correspondant à un demi-fuseau est rempli de mortier. Celui-ci est tiré avec une règle courbe afin d'obtenir une double courbure correspondant à celle de la coque. La surface est lissée, revêtue de résine et de gelcoat.

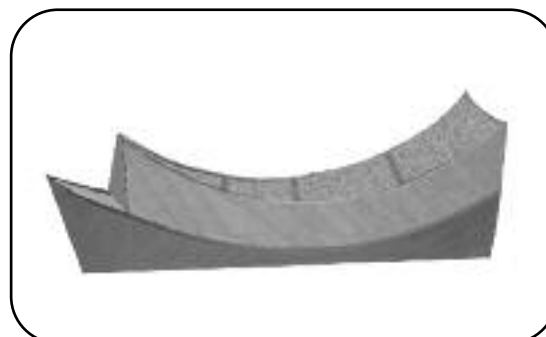
Deux tirages en stratifié résine-verre sont effectués sur ce moule contact en mortier afin d'obtenir les deux parties identiques du fuseau. Les « peaux » en stratifié obtenues sont alors fixées sur le chassis métallique

Le même type de moule contact en mortier, surmonté de parois de coffrage, sert aussi à la fabrication des blocs d'aggloméré en granulats légers (ci-dessous à droite). Ceux-ci ont des dimensions correspondant au fuseau, mais divisés en éléments d'une vingtaine de kilos.



Christian Roux

La coque est constituée de blocs courbes jointés et couverts de béton fibré, avec les renforts techniquement nécessaires.



Une autre base en mortier sert de support au coffrage des blocs de granulats légers avec le profil et les dimensions adéquates.



## Le gabarit : une peau sur un chassis

La fabrication du gabarit doit donc être simple afin de pouvoir le multiplier facilement. Il est constitué d'une peau en stratifié résine-verre fixée sur un chassis en acier ou en aluminium (pour un moindre poids) afin d'en assurer la rigidité. La dimension du gabarit, c'est-à-dire la largeur de la «tranche», sera choisie en fonction du poids et des facilités de manipulation nécessaires. Le chassis sera constitué de deux arcs, en tubes ou en profilés en T, d'une longueur qui correspond au demi-périmètre de la coque à l'équateur. Ils sont assemblés avec des traverses. Le chassis peut être réalisé en deux moitiés boulonnables, pour faciliter le démontage à la fin de la construction. La peau en stratifié est aussi réalisée en deux moitiés. Chaque partie de cette peau est produite sur un moule contact qui peut être en maçonnerie. La précision d'exécution déterminera la régularité de la coque.

## La coque : un sandwich

Cette construction par étapes successives nécessite l'emploi de matériaux bien adaptés. La coque est constituée de blocs d'isolation

### Les bétons fibrés

Plusieurs sortes de bétons fibrés peuvent être employés dans la construction des habitations en coques. Citons les bétons renforcés de fibres d'acier (ordinaire ou inox), de verre, de carbone, de kevlar. On peut mentionner aussi les particules de mica, les fibres synthétiques (polypropylène, nylon) combinées à d'autres fibres, ainsi que des fibres végétales telles que le chanvre et le lin.

Les fibres et tissus de verre doivent résister à l'alcali du ciment. Le diamètre des fibres sera au moins supérieur à 3µm pour ne pas être préjudiciable à la santé. Des ingénieurs en génie civil peuvent fournir les conseils techniques nécessaires.

### Des granulats légers

Certains granulats légers utilisés en vrac peuvent être aussi agglomérés avec du ciment (ou des résines). C'est le cas de l'argile expansé, de la vermiculite (sans amiante), de la pierre ponce et du verre expansé. Les billes de polystyrène, peu résistantes et peu écologiques, sont moins adaptées.

L'un des matériaux les plus performants serait le verre expansé ou verre mousse. Plus de la moitié du verre utilisé dans sa production provient du recyclage. Il est inerte, chimiquement neutre, inorganique et imputrescible. Le choix de granulométrie des billes s'étage de 0,1-0,3 mm à 8-16 mm pour une conductivité 0,07 et 0,08 W/mK et un poids de 400 à 140 kg/m<sup>3</sup>.

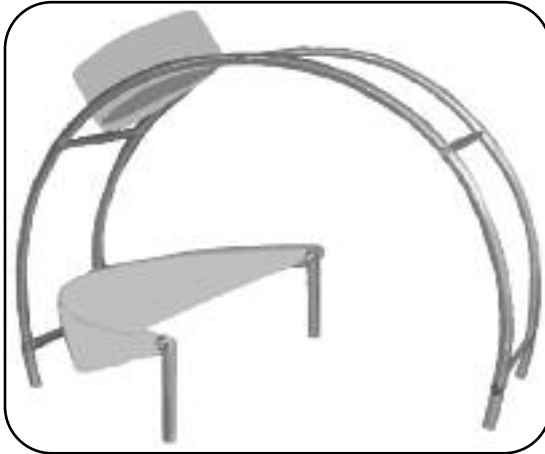
La résistance à la compression varie de 24 à 8 KN matière seule, l'association avec un béton augmente ces chiffres. La résistance au feu particulièrement recommandée dans le bâtiment est remarquable : température de début de ramolissement à 700°C.

thermique, analogues à des moellons courbes, jointés et pris entre deux couches de béton fibré à haute résistance, donc de faible épaisseur. La mise en place des blocs isolants sert à plaquer la couche intérieure de béton fibré sur le gabarit. On pourrait ainsi obtenir d'emblée une finition de la surface intérieure de la coque, avec un minimum de corrections à réaliser, au raccord de chaque moulage.

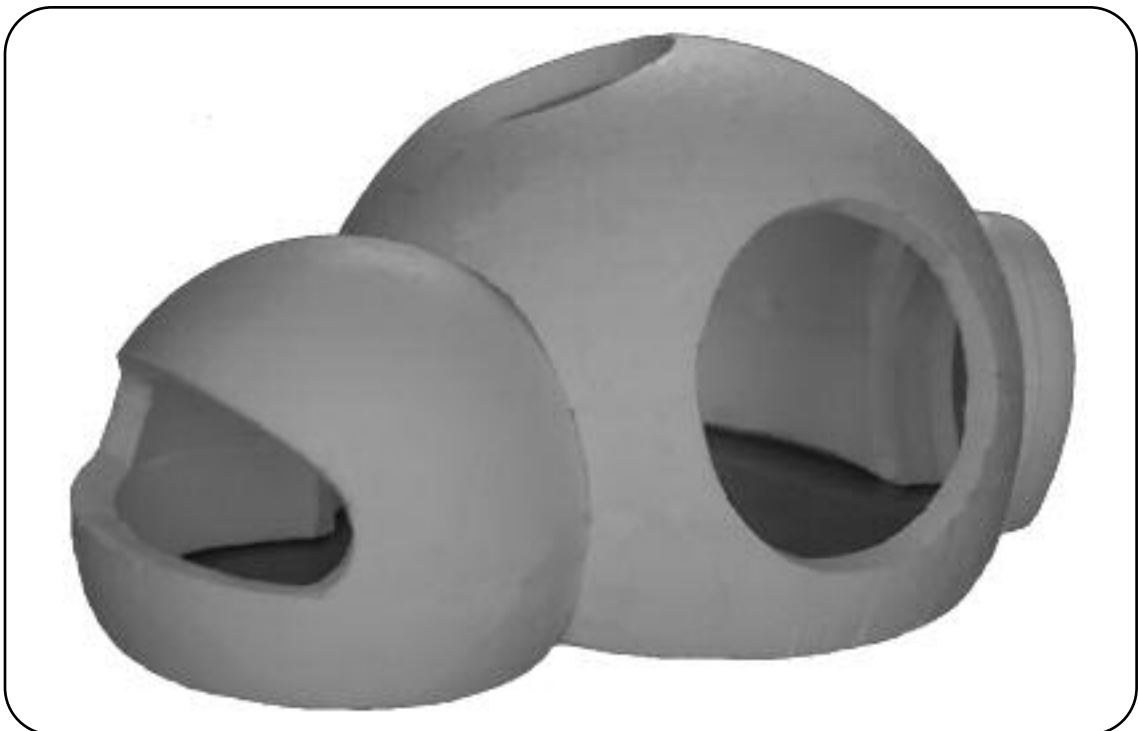
Le mouvement glissant du gabarit, après un léger recul pour le décoller, exige une très faible adhérence du béton fibré sur le gabarit après durcissement. Outre l'emploi de produits démoulants, on peut envisager l'utilisation d'un film intercalaire supprimant tout risque d'adhérence. La prise du béton fibré peut être provoquée en moins d'une heure, ce qui permettrait plusieurs rangées-fuseaux par jour.

La couche externe de béton fibré serait mise en place après la réalisation de toute la coque, pour une meilleure homogénéité.

Les essais détermineront les avantages de chaque solution, notamment en ce qui concerne la solidité et la qualité de finition de la coque.



Un portique courbe (image de gauche) en plusieurs éléments enjambe le chantier d'une coque et sert de support d'échafaudage. Il permet le positionnement et le maintien des gabarits d'ouvertures au dessus du sol. Il est ainsi possible de choisir le bon cadrage de l'ouverture avant de commencer la construction. Les gabarits d'ouvertures sont constitués d'un châssis métallique entouré d'une feuille de contreplaqué mince ou de stratifié semi-rigide. Ils peuvent avoir diverses formes, cylindriques, coniques ou d'ellipse. Le châssis est rétractable afin de faciliter le démontage du gabarit après construction. Le contour du gabarit d'ouverture doit se raccorder avec celui de la coque. C'est le cas sans découpe spéciale des gabarits de forme cylindrique des images de gauche et de droite. Par contre, les ouvertures reposant au sol (image de droite) qui ne sont pas rayonnantes doivent faire l'objet d'une découpe particulière ; le tracé est effectué avec un crayon au bout d'un filin fixé au centre de la sphère, à la longueur du rayon, ce qui permet de dessiner les contours à découper sur le contreplaqué ou le stratifié. L'image de droite (une maquette) représente une coque brute de surface après construction. On aperçoit les blocs isolants et les gabarits des ouvertures. La finition extérieure à réaliser consiste en un enduit de béton fibré de grains très fins.



Spécimens (maquette) de coques réalisables : la régularité des formes et la finesse de la surface découleront du procédé de gabarit glissant et des matériaux employés.

## Des blocs légers moulés

Les blocs isolants courbes d'une vingtaine de centimètres d'épaisseur seront réalisés en granulats légers, agglomérés avec du ciment ou avec une résine (moindre poids et meilleure isolation, mais moindre résistance au feu). L'utilisation du ciment donne une meilleure résistance à la compression. Ces blocs seront moulés dans des coffrages réalisés à partir d'un moule contact en mortier, analogue à celui qui sert à la fabrication de la peau en stratifié, avec un complément de parois (voir les dessins).

Les dimensions des blocs seront choisies afin de ne pas dépasser un poids d'une vingtaine de kilos la pièce, pour en faciliter la manipulation. Compte tenu des granulats très légers utilisés, ils seront plus grands que des moellons en béton et donc en nombre réduit.

### Formes diverses

Le procédé de gabarits glissants peut convenir pour des coques sphériques, sphé-

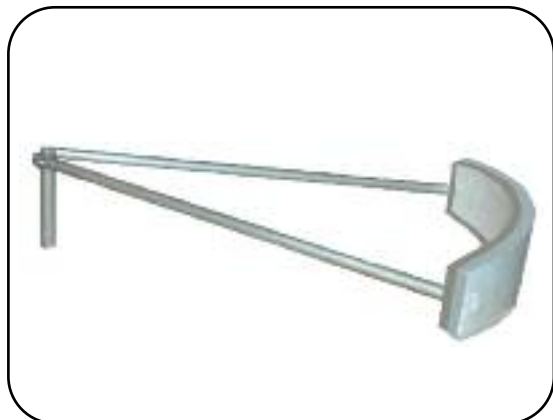
roïdes, ovoïdes, cylindriques et toutes formes dont une partie peut permettre par glissement de constituer la totalité. Les solutions seront plus ou moins faciles à mettre en œuvre par rapport à celles de la sphère, mais finalement toujours plus simples que la construction d'une grande forme. Dans le cas d'un couloir curviligne, c'est une portion de ce couloir en stratifié qui sera d'abord réalisée, puis glissée sur un guide au sol ou sur le bord d'un escalier, au fur et à mesure du moulage de la coque.

Des essais doivent permettre de valider les matériaux et les procédés de mise en œuvre. Un atelier d'expérimentation est en projet dans la région lyonnaise pour les mois à venir. Les personnes intéressées sont invitées à se faire connaître afin de faciliter les prévisions nécessaires.

Pour l'avenir, l'association peut envisager la mise à disposition des gabarits, des chassis et des portiques afin de réduire le coût de la construction. Ces fournitures peuvent en effet être réutilisées plusieurs fois. Une assistance technique devrait être proposée aux constructeurs.

**Christian Roux**

## Variante de support et de gabarits



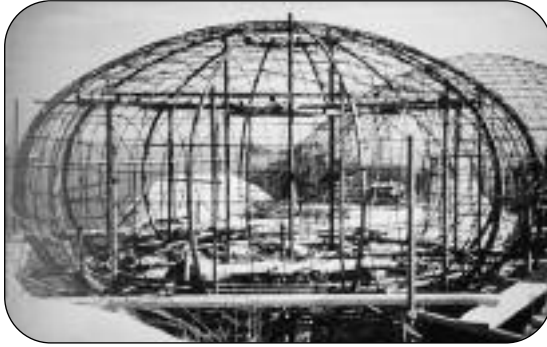
Christian Roux

Autre type de gabarits et de support (à gauche) : un seul pivot situé au centre de la sphère permet le déplacement horizontal et vertical d'un gabarit ayant la forme, par exemple, de la partie centrale d'un fuseau. Il permet la mise en place de blocs isolants correspondant à des segments de fuseau (image de droite). On peut aussi envisager des blocs triangulaires ou polygonaux semblables aux éléments d'un dôme géodésique.

Ce type de support peut convenir à des coques de grande dimension. Le gabarit a une envergure qui correspond à une partie du périmètre de la coque (le quart, par exemple). Dans le cas d'une très grande coque, c'est une grue de levage qui pourrait faire office de pivot et de bras ; elle assurerait le positionnement et le déplacement du gabarit au cours des différentes phases de construction.

# D'autres procédés

## ○ Le voile de béton ou ferrociment



Deux phases du ferrailage d'Antti Lovag : à gauche, mise en place des nappes de fers à béton sur des gabarits; à droite, démontage des gabarits pour la mise en place du coffrage perdu (grillage) avant remontage partiel des gabarits pour la projection du micro-béton.

Le voile de béton est utilisé pour des habitations depuis 1959. Pascal Häusermann a été l'un des premiers à employer des coffrages perdus intégrés à la coque. Il s'agit de grilles légères attachées directement sur le ferrailage. Elles retiennent le micro-béton projeté et restent prises dans la paroi. Dans ce procédé, ce n'est plus un coffrage en bois qui détermine la forme, comme pour les coques construites jusque là, mais le ferrailage lui-même. On utilisera ensuite des supports ou gabarits pour disposer avec régularité le ferrailage et réaliser des formes précises. Antti Lovag a mis au point un ferrailage et un jeu de gabarits très élaboré.

L'isolation thermique a été réalisée soit en mousse de polyuréthane projetée, soit en éléments de polystyrène, puis enfin en béton léger à granulats de polystyrène. La peau extérieure a été d'abord réalisée en stratifié de résine-verre, puis en voile de béton avec peinture d'étanchéité.

**Pour** - Très grande variété des formes réalisables, solidité des coques avec un ferrailage et un bétonnage corrects.

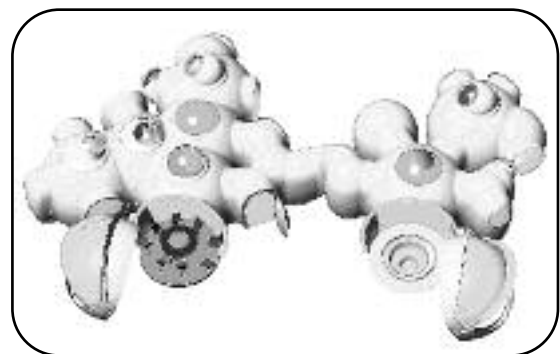
**Contre** - Longue durée de main d'œuvre, technicité du ferrailage et bétonnage régulier difficile. Risque de micro-fissures nuisibles à l'étanchéité, ce qui exigent dans ce cas un entretien.

## ○ Béton fibré et polystyrène sur moules en modules

Antti Lovag, avec la coopération de Martine Jovine et Pierre Colleu, a conçu des moules en stratifié résine-verre destinés à réaliser des coques en béton fibré et en éléments courbes de polystyrène. Ces moules dessinés en 3D sur ordinateur devaient être réalisés avec un robot de prototypage. Le procédé n'a pas été utilisé pour une construction.

**Pour** - Mise en œuvre facile des moules, en principe, coque solide et légère, isolation thermique et étanchéité efficaces.

**Contre** - Conception et mise au point des moules exigeant un investissement financier, aspect standardisé malgré la diversité.



Projet de coques dessiné sur ordinateur à réaliser avec des moules modulaires en stratifié.

## ○ Béton fibré sur moule en textile rigidifié

Pour réduire les durées de main d'œuvre dans la construction de coques, l'utilisation d'un textile élastique avec mise en forme à l'aide de gabarits a fait l'objet de plusieurs essais par Antti Lovag et Philippe Mousset. La rigidification du textile afin de l'utiliser comme un moule a été expérimentée avec plusieurs matériaux. Le plâtre fibré, sensible à l'humidité, employé il y a quelques années, a été remplacé par une résine époxy. La coque devrait ensuite être constituée de béton fibré de part et d'autre d'un béton léger. Les formes à double courbure, tantôt rétractées entre les supports, tantôt dilatées par la structure courbe ont une remarquable diversité d'aspect.

**Pour** - Rapidité de mise en œuvre, formes « artistiques ».

**Contre** - Maîtrise difficile des formes qui ne correspondent que partiellement à l'usa-



Pierre et Isabelle Roche

Essai de mise en forme d'un textile étirable à l'aide de gabarits au cours d'un stage conduit par Antti Lovag.

ge, isolation thermique complexe en raison des formes.

## ○ Plastique moulé et mousse isolante



Coques moulées en résine armée de verre (maison de Martine Jovine et Pierre Colleu).

L'une des premières maisons-coques entièrement en plastique a été présentée en 1956. Elle est l'œuvre de Ionel Schein, Yves Magnant et Coulon. Plus de 70 prototypes de maisons en plastique seront recensés de 1956 à 1971. Des cellules autonomes en résine et fibres de verre sont expérimentées par Pascal Häusermann, Claude Costy, Chanéac et Antti Lovag. L'une des habitations en plastique, complètement achevée, est celle des designers Pierre Colleu et Martine Jovine dans la Drôme (1990). Elle est constituée d'une double coque en résine-verre et d'une isolation en mousse.



Exemple de modules standardisés.

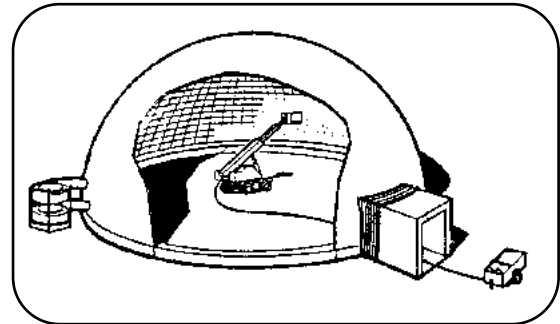
**Pour** - Matière plastique.

**Contre** - Matière plastique.

## ○ Voile de béton avec moule gonflable

Il existe plusieurs procédés de coques en voile de béton réalisées avec un moule gonflable. En général, un tissu enduit, découpé et assemblé en portion de sphère, est gonflé et maintenu sous pression. Le compresseur d'air est à double sécurité pour compenser les pertes de pression. Une mousse isolante est projetée de l'intérieur. Puis un ferrailage est attaché, toujours à l'intérieur, avant la projection d'un micro béton. La coque doit rester sous pression pendant tout le chantier et jusqu'au séchage du béton. Les ouvertures sont découpées dans la coque. Il faut une nouvelle membrane pour chaque coque, car elle reste en place et sert d'étanchéité.

**Pour** - Bel aspect extérieur.



Silo à grain en construction : le bétonnage est réalisé à l'aide d'une nacelle.

**Contre** - Peu de diversité possible en raison des contraintes de la membrane, inconvénients du voile de béton sans la variété.

## ○ Parmi de nombreux autres procédés...

Après les coupôles en pierre et en maçonnerie des siècles passés, notre époque a vu différents matériaux utilisés pour des formes plus ou moins courbes.

Il existe, par exemple, des habitations en bois à structures courbes en lamellé-collé. Mais l'une des formes les plus connues et les plus spectaculaires est celle des dômes géodésiques. Ces formes polygonales datent de plusieurs siècles. On en trouve dans les dessins de Léonard de Vinci. Mais c'est Richard Buckminster Fuller (1895-1983) qui est le constructeur de l'un des premiers dômes géodésiques. Ceux-ci sont constitués de structures en réseaux polyédriques, recouvertes d'une

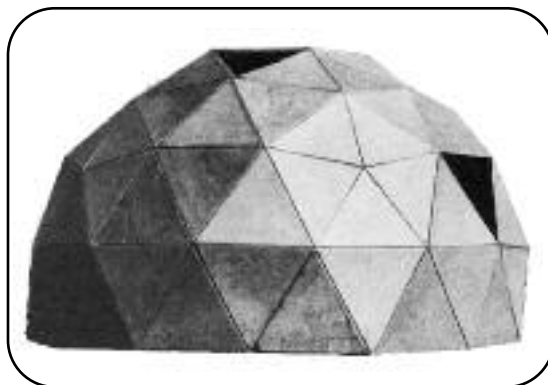


Construction courbe en bois.

enveloppe. Les éléments peuvent être produits en série.

L'aspect extérieur de ces dômes est en général à facettes triangulaires ou hexagonales et pentagonales. Ils peuvent couvrir des surfaces considérables sans support. Buckminster Fuller a construit à Baton Rouge, en Louisiane, un dôme de 117 m de diamètre (1958). Il envisageait des dômes de plusieurs kilomètres. La Géode à Paris, est l'un des rares exemples de dôme géodésique à enveloppe sphérique en inox.

Ce procédé a l'avantage d'être très économique en matière : la structure fonctionne selon le principe d'équilibre de « tenségrité » qui est un principe organisateur central du monde physique dans son entier. Les molécules de carbone sphériques à l'échelle atomique ressemblent, par exemple, à des ballons de football. On les a baptisées des fullerènes, en référence à Buckminster Fuller. Autre exemple : les molécules d'argile s'arrangent aussi entre elles suivant des motifs de tenségrité.



A la dimension d'une habitation, les facettes d'un dôme géodésique sont en général bien visibles.

# Après les Journées de recherche sur l'habitat

Les Journées de recherche sur l'habitat, qui ont eu lieu du 1<sup>er</sup> au 6 juin 2004 à Tourrettes-sur-Loup ont été un succès à beaucoup de points de vue.

Organisées par l'association Homme et habitat, à l'occasion du 20<sup>e</sup> anniversaire du bulletin Habitat, elles ont attirées plusieurs dizaines de participants venus de nombreuses régions de France, mais aussi d'Allemagne, d'Autriche, d'Italie et de Suisse. Il y avait beaucoup de constructeurs d'habitation en voile autoportant venus pour faire le point sur les techniques, mais aussi pour le plaisir des échanges sur ce sujet. Il y avait aussi des enseignants d'écoles d'architecture et des beaux-arts ainsi que de nombreux étudiants; la plus importante délégation venait de l'Ecole d'architecture de Clermont-Ferrand. Outre les professionnels de la construction et de l'industrie textile, il y avait de nombreux amateurs désireux d'approfondir leurs connaissances ou de découvrir ces habitations sortant de l'ordinaire.

Durant les premiers jours, des essais de moules en textiles étirables rigidifiés avec de la résine ont été réalisés sous la conduite d'Antti Lovag. L'intérêt actif et soutenu des participants a permis de concrétiser un projet de coque, révélateur des avantages et des inconvénients de ce procédé.

Le point d'orgue de cette manifestation fut l'après-midi du vendredi 4 juin avec la participation de nombreuses personnalités de la région, correspondant à l'éventail politique. Le préfet des Alpes-Maritimes était représenté par M. Jean-Michel Palette, directeur adjoint de l'Equipement, le Conseil général, par M. José Balarello, vice-président, sénateur. Plusieurs maires étaient présents: MM. José Bertaina, maire de Tourrettes-sur-Loup, René Buron, maire de Saint-Paul, Pierre Marchou, maire de Vence. Mme Caroline Filippi, représentait le maire de Nice.

Les débats lors de la table ronde ont permis de préciser la situation de la recherche concernant l'habitat.



Essai de moule en textile étirable rigidifié, sous la conduite d'Antti Lovag.

# Archilab 2004 : la ville à nu

« Depuis sa création en 1999, Archilab s'est affirmé comme une plate-forme internationale de débats, de rencontres, qui a sans nul doute renouvelé le discours critique sur l'architecture », estime Marie-Ange Brayer, directrice artistique.

En 2004, comme lors des précédents Archilab, le recueil des interventions\* a permis de découvrir, à froid, le discours des participants et tout d'abord celui du commissaire, cette année, Bert Lootsma, enseignant et historien.

L'intitulé « La ville à nu » révèle d'emblée que les débats feront une large place à l'urbanisme. Les architectes « s'intéressent à la réalité de la ville et ses nouvelles données, qui se précisent aujourd'hui avec ou sans l'intervention des architectes », déclare B. Lootsma. Il y a ceux qui démarrent une carrière régionale, comme auparavant, puis élargissent leur

champ d'activité. Mais il y a aussi « les enfants du baby boom, affamés de différence et d'ailleurs notoirement absents de la vie dans les banlieues, (qui) se sont mis à faire, sans répéter le tour du monde. » Ce sont les Frank Gehry, Zaha Hadid et Daniel Libeskind, qui bâtissent dans le monde entier. Ils forment une élite nouvelle, radicalement sans attache. C'est la génération du Déconstructivisme. Sans position politique, ils travaillent pour des sociétés multinationales ou des villes.

Pour la génération suivante, « le contexte mondial n'est que le cadre normal ». Elle vit aussi de plain-pied la révolution numérique. Ses créations sont dans la « tradition de l'architecture radicale des années 60 ». Elles correspondent à l'architecture non standard, présentée en 2003 au Centre Pompidou. Les réalisations sont encore peu nombreuses.

Pour des architectes comme Rem Koolhaas, l'urbanisme consiste à accepter ce qui existe et à se laisser porter par la vague. La mondialisation entraîne des concentrations urbaines prospères où règne la loi du marché, mais aussi des flux de population qui imbriquent le tiers-monde à l'intérieur du monde occidental.

D'autres architectes, comme Peter Sloterdijk, tentent de prendre en compte ces changements socio-géographiques, ils empruntent à l'anthropologie et à la sociologie et font preuve d'un « nouvel engagement », comme Molly Mesbit qui s'interroge sur la possibilité de l'utopie. « Très souvent, les aspects de l'architecture et de l'urbanisme vers lesquels ils se tournent le plus souvent sont liés à l'organisation, au lieu d'être formels et esthétiques ».

Le constat n'est finalement pas très optimiste. Bert Lootsma s'interroge : « Sera-t-il possible à nouveau, à un moment donné, de renouer des discours qui s'excluent l'un l'autre, l'architecture avec un A majuscule et la vie de tous les jours au cœur de la ville, architecture et urbanisme ? Pourra-t-on à nouveau rendre l'architecture disponible pour de larges pans de la population ? Nous devons attendre pour le voir. Mais tout du moins quelques architectes travaillent-ils à nouveau sur ce thème. »

## Depuis six ans

Archilab a commencé en 1999 sous l'impulsion de Pierre Sueur, maire (PS) d'Orléans, à l'époque, avec la coopération du FRAC (Fonds Régional d'Art Contemporain, de la Région Centre). La périodicité de cette manifestation était annuelle. Elle a pris d'emblée une certaine ampleur avec des expositions, des conférences et un incontestable retentissement médiatique, même si la critique a été souvenant mitigée.

Le FRAC a rassemblé une importante collection sur l'architecture contemporaine s'étendant notamment depuis les années 50/60, sous la direction de Frédéric Migayrou au début, puis de Marie-Ange Brayer ensuite. Les changements politiques ont secoué l'équilibre de l'organisation sans la mettre à bas. Le maire d'Orléans est maintenant Serge Grouard (UMP), tandis que la région Centre est présidée par Michel Sapin (PS). Le président du FRAC était François Bordry (UDF). Le nouveau est Jean-Marie Panazol, conseiller régional PS et universitaire spécialiste de la gestion.

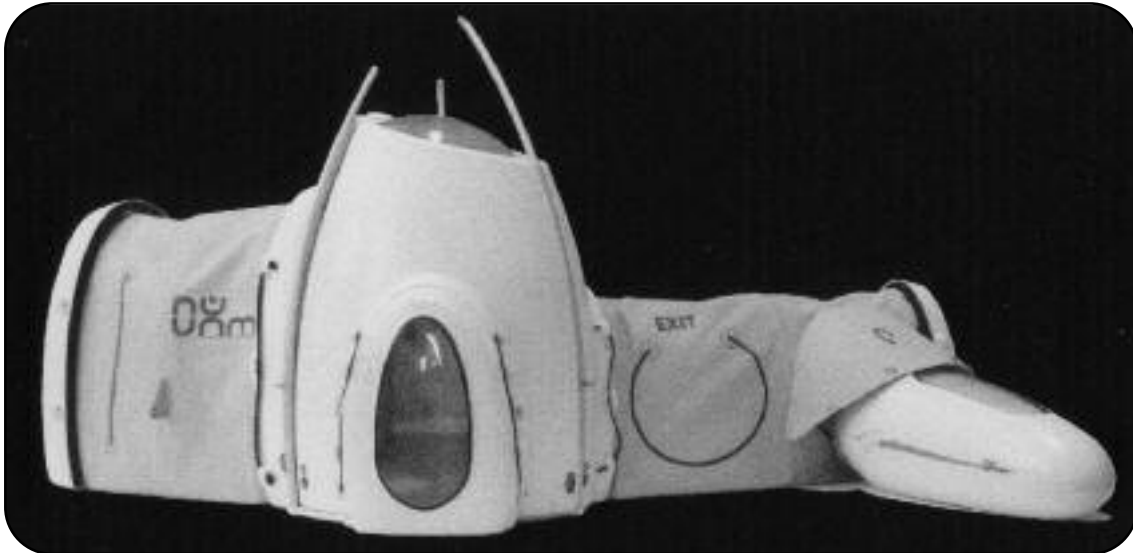
Archilab aura lieu dorénavant tous les deux ans, à l'automne.

\* Archilab 2004 Orléans, la ville à nu, édi-

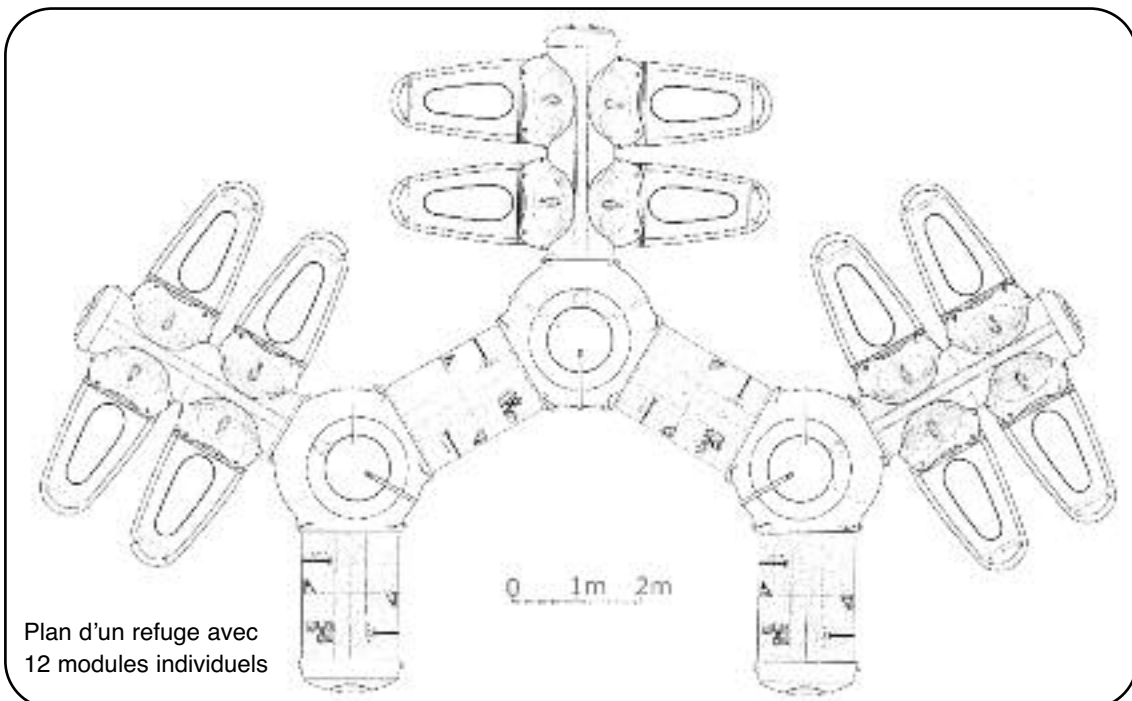


# Mosaïque...

- Refuge déplaçable pour randonneurs à la Biennale du design de Saint-Etienne



Le refuge évolutif et déplaçable proposé par Franck Pitois avec modules individuels et collectifs peut constituer un véritable camp de base pour de l'exploration ou un tourisme d'aventure.



Parmi les centaines de créations présentées à la Biennale du Design, en 2004 à Saint-Etienne, nous avons retenu un projet de refuge évolutif pour randonneurs conçu par le designer Franck

Pitois. Ce refuge peut être installé dans de nombreux sites naturels, en montagne, dans le désert, sur des rivages, etc... Constitué de modules individuels en nombre variable, associés à des

espaces collectifs, il répond aux attentes d'un nomadisme léger pour de courts séjours. Très complet dans sa conception, il est prévu avec un mobilier et des équipements respectueux de l'environnement. (Renseignements: own.franck@voila.fr).

Les travaux de la Cité du Design à Saint-Etienne, conçue par l'agence berlinoise Lin doivent commencer à l'automne 2005 pour une inauguration en 2007. Elle sera associée aux bâtiments de l'ancienne Manufacture d'armes. Elle regroupera les acteurs du design: enseignement, recherche, création artistique, artisanale et industrielle.

## ○ Exposition sur les maisons à Lyon

La Maison de l'architecture Rhône-Alpes\* présente à Lyon une exposition sur « toutes sortes de maisons contemporaines du monde ». Le choix très éclectique reflète la diversité des techniques et des goûts depuis le début du XX<sup>e</sup> siècle jusqu'à ces dernières années. Plusieurs dizaines de maisons sont montrées avec une photo de l'extérieur, accompagnées des publications dont elles ont fait l'objet. Une salle de projection permet, pour quelques unes d'entre elles, une découverte par la vidéo.

Les maisons en voile de béton sont représentées par celle de Fontaines-sur-Saône, conçue par Antti Lovag.

\* 21 place des Terreaux, 69001 Lyon, du 15 avril au 31 juillet 2005, [www.architecture-rhonealpes.com](http://www.architecture-rhonealpes.com).

## ○ INSA : conception et réalisation de prototypes par des élèves ingénieurs

Les Grands Ateliers\* de Villefontaine (Isère) étaient le cadre de travaux pratiques inhabituels, au début du mois d'avril 2005, pour une vingtaine d'élèves ingénieurs en génie civil de l'INSA-Lyon.

Les étudiants ont réalisé des moules et des prototypes de mobilier urbain en béton, sous la conduite de Jean Ambroise, maître de conférence au département de génie civil et urbanisme, assisté de Jean-Marc Bonnard, professeur à l'Ecole des Beaux-Arts de Saint-Etienne et Antonio Beninca, designer, intervenant extérieur.

Ce travail, d'un niveau déjà professionnel, comportait la conception des pièces sur ordinateur, l'exécution des moules, le ferrailage et la réalisation en béton auto-plaçant. Il s'inscrit dans la validation d'un module d'étude de design et technologie des bétons, aciers, polymères et bois. Il complète ainsi le cycle d'étude par une confrontation avec la réalisation directe ce qui est une pratique rare dans les écoles d'ingénieurs. Ces travaux pratiques répondent à l'attente de plusieurs industriels.

\* Pole d'enseignement, de recherche et d'expérimentation de la construction (architectes, ingénieurs, artistes).

## ○ Nouvel Ar'site

Le dernier numéro de la revue Ar'site, paru fin 2004, présente son panorama habituel de l'actualité architecturale. Rappelons que cette revue offre sur ce sujet l'une des synthèses les plus complètes que nous connaissions. Tout amateur d'architecture devrait être abonné.

Dans ce numéro, elle retrace l'activité professionnelle de Joël Unal au service de la création depuis 1963. Celui-ci vient en effet de réaliser un CD qui résume son travail de la sculpture... aux constructions en voile de béton. Il a travaillé, par exemple, à une partie du ferrailage de la villa de Fontaines-sur-Saône.

Ar'site, 16 rue des Bas Tilllets, 92310 Sèvres.

## ○ Cantercel 2005

Le site expérimental d'architecture de Cantercel (Saint-Martin de Castries, Hérault) a publié son programme 2005. Il comporte des stages pratiques, des visites guidées, des journées thématiques (la maison contemporaine, qualité de l'espace et bien-être, climat et confort thermique, etc...), des séminaires culturels et des stages d'étudiants. Renseignements: 04 67 44 60 06 ou [www.cantercel.com](http://www.cantercel.com).

## SOMMAIRE DES PRECEDENTS

# Habitat

### 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.

### N°21

Pistes de recherche - La bioarchitecture de Javier Senosiain (Mexique) - Les voiles de béton armé ont-ils la forme ? - Mosaique d'événements - De l'image virtuelle à une réalité personnalisée - Coques dans le monde par Internet - Un livre sur le ferrociment publié aux U.S.A.

### N°22

Une interview d'Antti Lovag : pragmatisme et technologie - Des coffrages de maisons-bulles conçus sur ordinateur - Usage et ambiance des formes courbes - Histoire de bulles et bulles sans histoire - Ferro 7 à Singapour - Mosaique d'événements.

### N°23

Numéro spécial. Origine des maisons-bulles : pour une histoire des courbes en architecture - Libres propos d'Antti Lovag - Encadrement des portes et fenêtres courbes - Mosaique d'événements.

### N°24

Journées de recherche sur l'habitat - Essais d'une technique de coque avec des textiles étirables rigidifiés - Conception d'une habitation par Antti Lovag - Ergonomie dynamique et architecture minimale - Architecture courbe et complexe - Antti Lovag et l'Ecole d'architecture de Clermont-Ferrand - Des coques sous le regard de l'histoire.

Un exemplaire Habitat du n° 19 au 24 : 7,62€. Cotisation annuelle avec un numéro : 15,24€.  
Homme et Habitat, chemin Vetter 69270 Fontaines-sur-Saône. FRANCE.  
Tél.: (33) (0)4 78 08 07 37, Fax: (33) (0)4 78 08 64 57. chrhabitat@wanadoo.fr

### Parmi les sites internet

[www.habiter-selon-lovag.com](http://www.habiter-selon-lovag.com) Pierre Roche.

<http://perso.wanadoo.fr/jloup.drouet/habitat.html> - L'habitat troglodytique. Informations sur Homme et habitat et les maisons-bulles.

<http://www.france5.fr/questionmaison/W00440/1/> - Vidéo, avec RealPlayer téléchargeable.

[www.ferrocement.net](http://www.ferrocement.net) - Site américain de Paul Sarnstrom(en anglais). Photos.

[www.odorama5.com](http://www.odorama5.com) puis cliquez sur "Vision of home"

[www.frac-centre.asso.fr](http://www.frac-centre.asso.fr) - Site du FRAC Centre qui possède une importante collection de documents et de maquettes d'architecture.

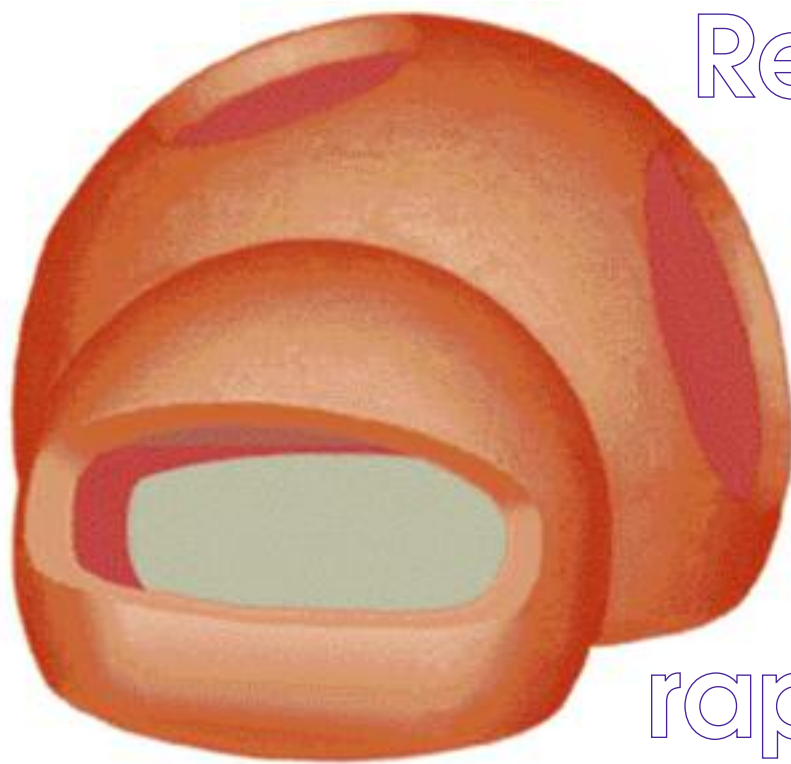
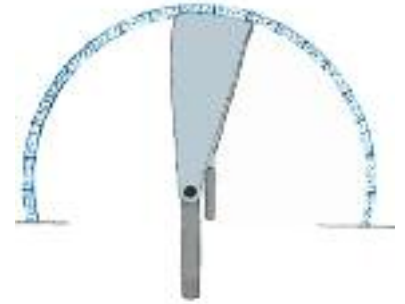
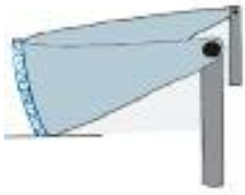
[www.ferrocement.com](http://www.ferrocement.com) - Site américain ouvert aux créateurs de coques de tous pays. Plusieurs langues.

[www.multimania.com/floreportages](http://www.multimania.com/floreportages) - Conçu par une journaliste indépendante des Alpes-Maritimes .

[http://www.architecturerhonealpes.com/patrimoine/historique.php3?id\\_loca=215](http://www.architecturerhonealpes.com/patrimoine/historique.php3?id_loca=215)

[www.palaisbulles.com/4architecture.htm](http://www.palaisbulles.com/4architecture.htm) - Présentation du Palais-Bulles de Pierre Cardin.

Echanges d'informations avec la revue **Ar'site**, 16 rue des Bas Tilllets, 92310 Sèvres.



Recherche  
de  
solutions  
simples  
et  
rapides

