

## RAPPORT D'ACTIVITES DE RECHERCHE

alain marty,  
ingénieur, architecte, maître assistant  
enseignant chercheur à l'EALR

Il n'y a pas de laboratoire constitué pour la recherche informatique à l'EALR. C'est dans le cadre du **GRRSLA** dirigé par le professeur **MOTRO**, que j'ai engagé dès 1991 un travail personnel de recherche en programmation orientée Infographie et Modélisation des surfaces, dont je présente ci-dessous l'évolution.

Conformément aux principes du groupe Pédagogie de l'Informatique que je dirige à l'EALR depuis 1989, cette recherche doit "coller" au plus près avec les besoins de la pédagogie, doit avoir des retombées directes sur la pédagogie, ce qui suppose une volonté constante de simplification, de clarté et d'ouverture; l'objectif final étant d'aboutir à une palette d'outils graphiques se situant entre les routines systèmes et les logiciels commerciaux, exploitables par ceux qui veulent être en contact direct avec les concepts de base ou par ceux qui ont besoin de développer certaines fonctions spécifiques (par exemple en structure), ou tout simplement par ceux qui cherchent à comprendre les concepts de base de l'infographie souvent occultés ou trop "maquillés" par tel ou tel logiciel commercial.

Voici donc la liste des recherches entreprises:

- 1) **Randonnée Infographique (1992)**
- 2) **Equation de Laplace et tableur (1992)**
- 3) **Modélisation de Surfaces (1993)**
- 4) **Interface HyperTalk pour Renderman Interface (1993)**
- 5) **Le programme  $\mu$ Ray (1994)**
- 6) **Randonnée Infographique, Chemins de traverse (1995)**
- 7) **Formes Multilinéaires Récursives (1997)**
- 8) **Formes Pascaliennes, éléments (1999)**
- 9) **Pascalien Forms, Delft (2000)**
- 10) **Conférences à la Faculté d'Architecture, UdM, Québec (2001)**
- 11) **Les Formes Pascaliennes, essai sur les formes gauches (2002)**

A partir de 1997, le travail s'est concentré sur la recherche d'une formulation unitaire des formes gauches ; une étape importante a été atteinte en Décembre 2001 sous la forme d'un ensemble cohérent et complet comprenant une présentation théorique associée à une bibliothèque de fonctions intégrées au logiciel POVRAY permettant de générer et d'analyser un grand nombre de formes gauches, de retrouver les grands classiques et de découvrir de nouveaux champs d'exploration. Ces travaux sont visibles à l'adresse suivante:

<http://marty.alain.free.fr/recherche>.

### 1) Randonnée Infographique

J'ai effectué pendant les années 1991 et 1992 un travail personnel de recherche que j'ai eu l'occasion de présenter dans le cadre du Premier Séminaire International sur la Morphologie Structurale qui s'est déroulé à Montpellier du 7 au 11 Septembre 92, séminaire organisé par le professeur René Motro. Ce travail s'est matérialisé par un programme ( **$\mu$ 3D**) en Pascal Objet, qui a été écrit d'abord pour servir de base à un **enseignement** sur le Pascal puis sur l'Infographie, et ensuite pour induire à terme un ensemble de **recherches** et de productions.

Ce programme  **$\mu$ 3D** était le début d'une randonnée, écrite le long de points clés tels que:

- 1) les transformations et le rendu,
- 2) la description de courbes et de surfaces définies paramétriquement ou par points de contrôle, et enfin
- 3) le contrôle interactif local ou global d'objets et de scènes,

pour tenter de mieux comprendre et de faire mieux comprendre par la pratique les concepts fondamentaux de l'infographie et pour réaliser un outil totalement ouvert, lisible et évolutif, un lieu possible de rencontres et d'échanges entre les divers axes de recherche (structures spatiales, pliage, représentation, archi navale..) qui existent et/ou se dessinent à l'EALR.

L'ensemble était articulé en plusieurs niveaux:

- 1) le premier est destiné à celui qui est uniquement intéressé par l'aspect production d'images: géométrie appliquée, design, projet,...;
- 2) le second à celui qui veut entrer plus avant dans le détail opératoire des concepts infographiques: modélisation, lumière, matière, interactivité,...;
- 3) le troisième à celui qui veut travailler sur les aspects purement informatiques (gestion mémoire, interface,...), sur la définition mathématique ou structurale de telle ou telle surface particulière (les surfaces à points de contrôle, les déformations, les shaders,...), et sur les extensions fondamentales à apporter à un tel programme infographique, le modèle restant "Renderman Interface".

Autant de passerelles ouvertes vers l'enseignement des nouvelles images du projet architectural (les ateliers), vers l'enseignement des mathématiques (Delarue/Berthomier et la géométrie des pliages par exemple) et vers celui des structures spatiales (René Motro et les surfaces minimales par exemple).

Ce travail a servi de support pour un cours d'Infographie donné en 1993.

### 2) Equation de Laplace et tableur (contribution à un article paru)

A l'occasion de ce même séminaire (Septembre 1992), j'ai pu participer à un article portant sur "Deux Systèmes de CAO pour les membranes architecturales" dont les autres auteurs sont N.Pauli, D.Pierre et R.Motro.

Dans le cadre de cet article j'ai eu à traiter la partie présentant la programmation de l'équation de Laplace associée à la membrane, sur un tableur classique.

Le tableur Excel de la société Microsoft n'ayant pas à l'époque des sorties graphiques 3D adaptées à notre problème, c'est le tableur Résolve de la société Claris qui disposait lui de très bonnes sorties 3D et d'un bon interface qui avait été choisi.

L'idée était de montrer l'extraordinaire simplicité de l'équation de Laplace dès qu'on l'étudie sous la forme de différences finies ( on exprime que chaque point est placé en position moyenne par rapport aux voisins), de montrer l'énorme importance des conditions aux limites et de montrer avec quelle facilité le tout pouvait être écrit sur un outil qui n'avait pas été fait pour ça, et manipulé agréablement de façon interactive.

Cette étude a servi de base à un cours sur les structures (Pauli, Motro).

### 3) **Modélisation de Surfaces (article et support de cours)**

Le programme  $\mu$ 3D qui avait servi de base à l'article "Randonnée Infographique", a été entièrement réécrit en 1993 et a abouti à une nouvelle mouture écrite en Pascal Objet.

L'article proposait une typologie des surfaces basée sur les propriétés d'édition:

- une portion de sphère ne peut que se déformer par la manipulation du rayon, et des valeurs limitant la portion en latitude et longitude;
- une surface de Bézier ne se déforme partiellement que par le biais de points de contrôle en nombre limité;
- une surface satisfaisant à l'équation de Laplace (membrane élastique par exemple ) suit toutes les transformations appliquées en chacun de ses points puis se relaxe "doucement" vers une position d'équilibre.

Les propriétés géométriques minimales de ces surfaces étaient présentées de façon simple, un rappel était donné sur les modèles de rendu et les transformations permettant de manipuler et de visualiser ces surfaces et des exemples d'écriture étaient donnés pour illustrer la relative simplicité d'utilisation de l'ensemble.

Cette étude a servi de base à un cours sur les structures, et à un enseignement en DEA (CONCEPTION EN STRUCTURES) en 1994 à l'Université de Montpellier

### 4) **Interface HyperTalk pour Renderman Interface (support de cours)**

La société PIXAR a créé un moteur de rendu photoréaliste utilisable sur tous les systèmes et possédant un interface extrêmement bien structuré, Renderman Interface. Tout modeleur 3D capable de produire des fichiers au format correspondant, le rib (fichier texte comme l'est le DXF), peut créer par ce biais des images d'une qualité extraordinaire. Du point de vue pédagogique, l'étude de Renderman Interface est enrichissante et a été incorporée dans un cours d'infographie dispensé à l'EALR en 1992 et 1994.

La première année, le modeleur utilisé a été...

le traitement de texte MacWrite produisant ... du texte et donc pouvant produire des fichiers rib bien écrits. Mais le besoin s'est vite fait sentir de travailler à partir d'une base plus appropriée et j'ai écrit un interface sur HyperCard permettant d'utiliser toutes les possibilités d'un superbe langage méconnu, HyperTalk, et notamment les procédures et les fonctions, les structures de contrôle, de test et même les structures de données, le tout rendant possible la création de scènes vraiment complexes et donc intéressantes ( calcul des ombres, des réflexions, des opérations booléennes,...). On peut donc vraiment programmer proprement des scènes et produire en sortie un fichier texte au format rib.

Ce travail a servi de support pour un cours d'Infographie donné en 1993.

### 5) **Le programme $\mu$ Ray (support de cours, article non publié)**

Pendant l'année 93/94, j'ai approfondi mes connaissances en C++, jugé comme étant le langage d'avenir le plus adapté dans ce domaine, et autorisant une écriture des algorithmes proche de l'écriture normale des cours sur l'algèbre vectorielle, sur les structures ou sur l'infographie.

Par exemple, un vecteur incident **I** se réfléchit sur une surface de normale **N** suivant un rayon **R** qui s'écrit ainsi :  $\mathbf{R} = 2(\mathbf{I} \cdot \mathbf{N})\mathbf{N} - \mathbf{I}$  dans untraité d'algèbre et qui s'écrit ainsi :  $\mathbf{R} = 2 * (\text{dot}(\mathbf{I}, \mathbf{N})) * \mathbf{N} - \mathbf{I}$  ; dans un programme écrit en C++. Il suffit de se souvenir de la même relation écrite en Basic ou même en Pascal et on comprend le chemin parcouru et l'intérêt du point de vue pédagogique.

Cette connaissance m'a permis de porter l'ancien programme  $\mu$ 3D sur C++ et donc de le rendre compatible avec de nouveaux systèmes comme les PowerPC, avant de le porter sur système DOS et WINDOWS.

J'ai entrepris l'écriture d'un nouveau programme,  $\mu$ Ray, qui est un outil de rendu par Ray Tracing. Il est arrivé maintenant à un niveau suffisant de clarté et de robustesse pour permettre la construction de scènes complexes et la sortie dans des temps que je juge raisonnables d'images de qualité suffisante.

Ce travail a servi de support pour un cours d'Infographie donné en 1995. Ce travail a servi de base à un projet présenté au CNIAM le 16 Février 1995 par 6 étudiants de Maitrise Informatique de l'UFR de Montpellier. Ce travail consistait au portage du programme  $\mu$ Ray sur les plateformes WINDOWS et NEXT/UNIX.

Le portage a parfaitement réussi, et les étudiants qui étaient très motivé par le sujet ont obtenu la note de 18/20.

### 6) **Randonnée Infographique, Chemins de traverse (article publié)**

A l'occasion des journées d'étude sur la place de la Géométrie dans les Ecoles d'Architecture, des 9 et 10 novembre 1995 à l'Institut Henri Poincaré (Paris), j'ai eu l'occasion de présenter un article de 16 pages proposant une réflexion sur la génération des formes, sur la composition des formes et sur la perspective:

- dans la partie "Génération des Formes", dans

une relecture des courbes et surfaces de Bézier, il était montré l'importance et le caractère "universel" de l'interpolation multilinéaire dans le processus de création de formes gauches complexes ;

- dans la partie "Composition des Formes", l'objectif visé était la création d'un modèleur 3D basé sur une palette élémentaire d'opérateurs (+, -, \*, /, ...) appliqués aux formes multilinéaires, une sorte de "tableur 3D" ;

- dans la partie "Perspective", il s'agissait d'une réflexion libre basée sur le caractère quadridimensionnel de l'opérateur "perspective": on peut noter des similitudes entre la relativité restreinte et la perspective, et voir la perspective inverse comme une opération qui consiste à passer de l'espace vu (virtuel ou réel ?) dans lequel les formes ne sont pas invariantes dans les transformations, à un espace construit (réel ou virtuel ?) dans lequel elles deviennent invariantes. Et se demander s'il ne faudrait pas mettre la relativité en perspective ...

Ce travail a servi de support pour un cours d'Infographie donné en 1996 et 1997.

#### 7) **Formes Multilinéaires Récursives (support de cours, article non publié)**

En 1996 et 1997, à la suite des réflexions exposées dans le précédent article (Chemins de Traverse), l'intérêt se focalise sur une génération plus géométrique des formes gauches. Le plan de l'étude comprend une approche géométrique, une approche algébrique et une approche géométrique:

- approche géométrique: inspirée de l'algorithme de de Casteljaou, une construction purement géométrique des formes gauches est entreprise sur la base de trois opérateurs élémentaires, MI(), MIR() et DIAG(). Les formes de Bézier, les splines et les NURBS sont revues au travers d'un langage simple et unitaire.

- approche algébrique: il s'agit là d'un retour sur la génération de ces mêmes formes par un processus multilinéaire plus classique, déjà abordé dans le précédent travail présenté en 1995.

- approche informatique: une implémentation partielle de ces formes est faite dans le langage JAVA, à titre de contrôle de validité et pour illustrer la puissance d'une approche totalement unitaire sur des formes aussi différentes qu'une parabole et un hypercube gauche.

Ce travail a servi de support pour un cours d'Infographie donné en 1997.

#### 8) **Formes Pascaliennes, éléments (article publié)**

Un congrès international organisé en Mai 1999 à Ottawa, Canada, par l'ACFAS (Association Canadienne Française pour l'Avancement des Sciences) donne l'occasion de présenter un nouveau travail sur les formes gauches et de préciser le concept unitaire dégagé dans les précédentes études, notamment en proposant un nom original "Formes Pascaliennes" pour un ensemble de formes dont l'expression doit beaucoup au triangle de Pascal, et qui peut être complètement dégagé

de toute approche analytique. De plus, un nouveau concept de "Formes Immergées" se dégage étendant les possibilités de cette famille de formes.

Ce travail a servi de support pour un cours d'Infographie donné en 2000.

#### 9) **Pascalian Forms, from computer graphics to freehand drawing (article publié)**

Un congrès international organisé en Août 2000 à Delft, Pays Bas, par le groupe SMG de l'IASS (Structural Morphology Group of International Association for Shell and Spatial Structures), donne l'occasion de représenter une nouvelle version de l'étude, améliorée pour l'occasion.

Cette version a servi de support pour un cours d'Infographie donné en 2000/2001.

#### 10) **Conférences à la Faculté de l'Aménagement et de l'Architecture Université de Montréal, Québec, Mars 2001**

J'entretiens depuis quelques années des liens étroits avec une équipe d'enseignants et de chercheurs intervenant sur les relations entre l'Architecture et l'Informatique, dans le cadre de la Faculté de l'Aménagement et de l'Architecture de l'Université de Montréal.

Initiée sur la base d'un projet commun sur la Conception Assistée par Ordinateur (1996 et 1997), cette collaboration s'est prolongée par quelques séjours croisés à Montréal et à Montpellier, donnant l'occasion de comparer les projets pédagogiques et d'analyser les sujets de recherche. Ce qui m'a valu d'être invité à présenter la recherche sur les formes pascaliennes que je mène dans le domaine de l'Infographie à l'occasion du Congrès de l'ACFAS (Association Canadienne Francophone pour l'avancement des Sciences) qui s'est tenu à Ottawa en 1999, et au vu de ce que je présentais, d'être intégré comme membre au GRCAO (Groupe pour la recherche en Conception en Architecture sur Ordinateur).

Plus récemment, j'ai été invité à intervenir fin Mars 2001 dans un certain nombre de formations en cours à la Faculté d'Architecture de l'UdM, et notamment à donner un cours sur POVRAY et une conférence sur mes recherches en Infographie. Cette conférence sur l'Infographie d'une durée de 2 heures donnée pour les membres du GRCAO et quelques étudiants en maîtrise, s'est appuyée sur l'article présenté à l'occasion du Congrès Structural Morphology (IASS) de Delft en Août 2000, en focalisant sur le point suivant : la question posée est de savoir comment utiliser dans la création et la composition des formes courbes, gauches, libres, les règles séculaires de composition en architecture qui s'appliquent essentiellement aux formes orthogonales, la richesse des outils informatiques ne permettant pas de faire l'économie d'une réflexion sur ce sujet . En réponse, et s'appuyant sur quelques gestes simples, l'approche "formes pascaliennes" propose une redécouverte et un contrôle intuitif des formes courbes, et ouvre des chemins pour explorer de nouvelles formes. De la géométrie de prime abord assez abstraite aboutissant à une technique très simple de dessin à main levée, l'ordinateur éteint !

Deux semaines de conférences et de cours sui-

vis de nombreux contacts fructueux avec les enseignants, les chercheurs et les étudiants; la satisfaction (pour ne pas dire l'étonnement) de constater l'intérêt porté à mes élucubrations, sur l'approche très pragmatique et minimaliste des outils informatiques pour l'architecture, sur les principes pédagogiques en matière d'informatique dans une école d'architecture, sur l'approche à la fois très théorique et très basique des concepts de l'Infographie ; et une proposition appuyée de m'accueillir pour passer un PhD sur mon sujet préféré, les formes pascaliennes.

### 11) Les Formes Pascaliennes, essai sur les formes gauches (ouvrage à paraître aux Editions de l'Espérou, Montpellier)

Le prolongement naturel des recherches passées sur les Formes Pascaliennes passe par l'écriture des algorithmes les plus généraux possibles pour la création d'une forme, quelle que soit sa nature (courbe, surface, volume, hypervolume,...), l'espace dans lequel cette forme est plongée ("notre" espace euclidien orthogonal à 3 dimensions ou un espace courbe,...) et son mode de création (composition de plusieurs sous-formes, tubages, interpolations,...).

L'environnement POV-Ray a été choisi pour son caractère ouvert (sources du code disponible), multiplateforme (Unix, Windows, Mac), pour la qualité du moteur de rendu (ray-tracing) et du langage embarqué dans son format de fichier texte, et pour les retombées possibles sur le plan pédagogique (expériences croisées avec les Ecoles d'Architecture de Marseille (Jacques ZOLLER) et de Montréal (Giovanni de PAOLI)).

En décembre 2001, l'écriture des algorithmes a atteint une étape importante, et les outils fondamentaux sont désormais en place, comprenant:

- une bibliothèque d'algorithmes fondamentaux indépendants de la nature de la forme ;
- une bibliothèque d'algorithmes "interfaces" spécifiques à la manipulation des courbes, des surfaces et des volumes ;
- une bibliothèque d'algorithmes de création de formes particulières comme les maillages, les surfaces de révolution, surfaces de Coons, les tubages,...

Grâce à ces outils, quelques résultats ont été atteints, en voici des illustrations :

- l'interface actuel est devenu simple, et la construction des formes gauches est assez claire et logique pour constituer un véritable outil de simulation ;
- on sait que l'intersection entre une sphère de rayon R et d'un cylindre tangent de rayon R/2 est une courbe en forme de "huit" connue sous le nom de "fenêtre de Viviani", dont l'approche analytique est loin d'être évidente. L'analyse de la simulation précédente construite sur des points choisis pour engendrer une portion de sphère montre que la diagonale de la portion de sphère (1/8ème) est une fenêtre de Viviani ; dans l'approche "pascalienne", il s'agit d'un segment immergé (ipL2) dans une portion de sphère, projection dans R3 d'une biquadrique (pS33) construite dans R4 ; une simple pCourbe contrôlée par 5 points (pL5), dont

on maîtrise facilement les propriétés ;

- le tracé d'un cercle complet à l'aide de NURBS n'est pas un exercice trivial ; il peut maintenant être facilement réalisé à l'aide d'une pCourbe contrôlée par 5 points (pL5) dans l'intervalle  $[-k, 1+k]$  avec  $k = \text{racine}(2)/2$  ;

- des pFormes décrites de façon "naturelle" dans R4 deviendront des courbes et des surfaces rationnelles en projection dans R3, par exemple des surfaces de révolution ; cette habitude prise de raisonner dans R4 est en soi une expérience riche en surprises et peut être un chemin vers la rencontre de formes nouvelles ; chercher à comprendre quelle est la forme de R4 dont la projection dans R3 est un cylindre amène à réfléchir sur la simple translation dans R4, puis sur les rotations, les homothéties, ... sans jamais perdre le contact avec les formes "réelles" derrière un formalisme abstrait et/ou indigeste.

- tracer une portion de tore (1/16ème, pS33), étirer sa diagonale (pL5) dans l'intervalle  $[-k, 1+k]$  et constater que la courbe parcourt le tore complet et se referme proprement, visualiser le repère de Frenet et le comportement de la normale et de la binormale, passer de façon continue du tore à la sphère et suivre sont vraiment des expériences enrichissantes... :)

### Conclusion

A cette série de recherches, je pourrais ajouter un certain nombre de programmes plus petits écrits à l'occasion des cours donnés sur HyperTalk, sur Pascal, sur C/C++, et sur JAVA.

Au commencement (début des années 90) Sur HyperTalk, de nombreux exercices ont porté sur l'écriture d'un outil de dessin BitMap (outils crayon, ligne, rectangle, ovale, motifs,...), sur le rôle de la liste d'objets dans le passage BitMap -> Vectoriel, sur l'écriture d'un outil de visualisation 3D et sur l'importance des transformations.

Les mêmes outils ont été réécrits et analysés de façon plus approfondie sur Pascal et C/C++, au prix de l'apprentissage des structures de contrôle et de données plus complexes de ces langages, ce qui s'est fait sans trop de difficultés pour des étudiants motivés par les résultats à atteindre.

Sur JAVA, c'est aujourd'hui la possibilité d'écrire des exercices dans un environnement de développement gratuit, multiplateforme et possédant l'API universel (application programming interface) qui manquait au C++. JAVA constitue peut-être aujourd'hui LE langage idéal dans l'enseignement et même dans la recherche quand il s'agit de monter des maquettes de contrôle. Des exercices ont été faits avec les étudiants sur les fractales (ensemble de Mandelbrot), sur le Ray Tracing (le programme  $\mu$ Ray écrit en 1994 a été partiellement traduit en JAVA), sur la modélisation 3D (MU3D, DRAW2D,...). Concernant la recherche, l'écriture d'une class FORM base de toutes les formes pascaliennes a été une illustration supplémentaire du grand intérêt de ce langage pour apporter une validation à des concepts abstraits.

JAVA est porté par la vague INTERNET qui a bouleversé un grand nombre de choses. On redécouvre

les vertus du simple quand il s'agit d'échanger des données entre de multiples plates-formes, le traitement de texte redevient l'éditeur roi et le langage de balises HTML son complice. Avec Javascript pour le rendre dynamique, des formats de fichier comme VRML pour manipuler des espaces virtuels interactifs, ou des outils comme POV RAY pour créer des images de grande qualité, c'est un nouveau champ qui s'ouvre. La simple construction d'un site web devient un véritable travail de conception et fait appel à une vaste palette de connaissances, depuis la programmation pure et dure jusqu'aux questions purement graphiques, en passant par de difficiles choix de structure, de maintenance, de politique de communication.

Enfin POV-RAY ! Formidable outil ouvert (sources du code disponibles), multiplateforme (Unix, Windows, Mac), disposant d'un moteur de rendu (ray-tracing) de qualité, et d'un excellent langage embarqué autorisant une description élégante et compacte de toutes les scènes imaginables, idéal sur le plan pédagogique pour faire toucher les concepts fondamentaux de l'infographie (sous les images les mots), et pourquoi pas pour accompagner une recherche plus théorique, comme celle entreprise sur les Formes Pascaliennes.

D'un côté l'INFOGRAPHIE et ses questions sur la modélisation, sur l'interaction entre la lumière et les matériaux, et sur l'interaction avec l'utilisateur. De l'autre INTERNET et ses questions sur la communication, sur les formats d'échange et sur l'architecture des sites WEB. On n'est pas prêts de s'ennuyer !

Montpellier Juillet 2003  
Alain Marty

#### Articles parus:

- 1) **Computers Graphics**  
pages 343 à 355, article paru dans les actes du "Premier Séminaire International sur la Morphologie Structurale", IASS/LMGC/GRRSLA, direction R.Motro et T. Wester, Montpellier, 7/11 Septembre 1992.
- 2) **Randonnée Infographique, Chemins de traverse**  
pages 117 à 134, article paru dans les actes du Colloque sur "La géométrie dans l'enseignement de l'architecture", Paris, Novembre 1995, actes parus dans la Collection IN EXTENSO, direction R.March et J.Sakarovitch, Editeur Ecole d'Architecture Paris-Villemin, Octobre 2000.
- 3) **Formes Pascaliennes, géométrie descriptive des formes gauches**  
pages 102 à 138, article paru dans Les Cahiers Scientifiques du 95ème Congrès de l'ACFAS (Association canadienne-française pour l'avancement de la science), Ottawa, Mai 1999, titre des actes "Modélisation architecturale et outils informatiques entre cultures de la représentation et du savoir-faire", direction G.De Paoli et T.Tidafi, .
- 4) **Pascalian Forms from computer graphics to freehand drawing**  
pages 359 à 367, article paru dans les actes du International Colloquium on Structural Morphology, August 17/19 2000, Delft, Nederlands, titre des actes "Bridge between civil engineering and architecture", IASS/working Group N°15 Structural Morphology, direction P.Huybers.

#### Ouvrage à paraître:

- 5) **FORMES PASCALIENNES**  
essai sur les formes gauches  
ouvrage à paraître cette année aux Editions de l'Espérou, Montpellier.