

Collaborateurs du projet participating collaborators

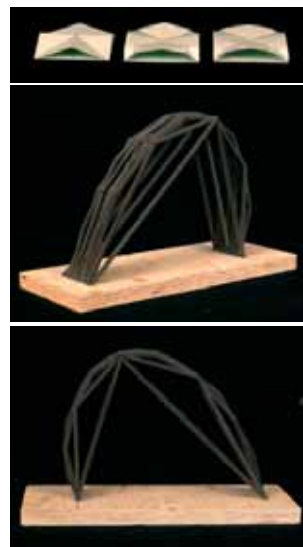
Prof. Dr. Yves Weinand,
architecte et ingénieur, IBOIS/EPFL
Dr. Eric Tosan,
ingénieur informaticien, LIRIS/Université Lyon
Prof. Peter Buser,
ingénieur mathématicien, GEOM/EPFL
Iver Bailly-Salins,
ingénieur mathématicien, GEOM/EPFL
Gilles Gouaty, ingénieur informaticien, IBOIS/EPFL
Ivo Stoltz, architecte, IBOIS/EPFL

Financement funding
EPFL, SNF

Partenaire industriel industrial partner
Partenaire chercheur

Période period
2005 - 2008

Page web webpage
<http://fractals-ibois.epfl.ch/>
<http://ibois.epfl.ch/page12312.html>



1

GEOMETRIE FRACTALE (APPLICATIONS EN ARCHITECTURE)

Ce doctorat s'inscrit dans le cadre plus large du projet de recherche sur la géométrie fractale et ses applications dans le domaine de la construction. Ce projet interdisciplinaire regroupe les compétences des domaines de mathématique (Prof. P. Buser EPFL/DMA; Dr E. Tosan LYON/LIRIS/UMR 5205 CNRS) et de la construction (Prof. Y. Weinand EPFL/IBOIS). Chercher et développer des applications concrètes de la géométrie fractale dans le domaine de la construction est l'objectif de ce regroupement interdisciplinaire.

Le projet porte sur l'utilisation de modèles fractals développés au LIRIS dans le domaine de l'Informatique graphique. Ces modèles sont transposés pour dégager des algorithmes adaptés aux problèmes de la construction. Ceci conduit à la spéculation suivante : les algorithmes itératifs qui génèrent des objets fractals sous forme d'images numériques peuvent-ils être utilisés pour les matérialiser sous forme d'objets physiques ? Quels sont alors les spécificités et les avantages inhérent à cette méthode de modélisation géométrique ?

La construction de fractales se base sur le formalisme décrit par BARNSELY qui utilise des systèmes de fonctions itératives. Ce formalisme opère sur un ensemble de fonctions simples et compréhensibles pour construire des géométries nouvelles et complexes. La façon dont sont décrites les objets modélisés se limite à quelques paramètres. Les figures ainsi obtenues sont toujours modélisées selon un nombre d'éléments finis et structurés.

L'expression des géométries par un ensemble d'éléments finis offre désormais un avantage direct quant à la réalisation constructive de formes

FRactal GEOMETRY (APPLICA- TIONS IN ARCHITECTURE)

This thesis work is part of a broader research project that is entitled 'Fractal Geometry and its Applications in the field of construction'. This interdisciplinary research covers the domains of mathematics (Prof. P. Buser EPFL/DMA; Dr E. Tosan LYON/LIRIS/UMR 5205 CNRS) and construction (Prof. Y. Weinand EPFL/IBOIS). The goal of the interdisciplinary work group is to research and to develop concrete applications of fractal geometry in the field of construction.

The project relies on the use of fractal models, based on iterative algorithms, which has been developed at the LIRIS for the creation of virtual images. The considered model is adopted in order to create algorithms that are suited to the problems of physical construction. This leads to the following speculation: Is it possible to use iterative algorithms - which produce fractal objects for virtual images - for the construction of materialized physical objects? What are then the inherent specifications and advantages of this geometric modeling method?

The construction of fractals relies on BARNSELY's formalism, which uses iterative function systems. The formalism operates on a set of simple and comprehensible functions, which build - if applied iteratively - uncommon and complex objects. The way such objects are described is therefore limited to a few parameters. The obtained objects are always modeled of a finite number of discrete elements.

The discrete expression of the modeled objects offers a set of advantages for the physical realization of complex shapes. The studied modeling method generates meshes that, on the one hand, are potentially interpretable by software for numerical simulation and, on the other hand, are ready made for integrated manufacturing. Outlook the proposed method not only al-

complexes. La méthode de modélisation étudiée génère des maillages non seulement potentiellement interprétable par des logiciels de simulation numérique mais également directement productible par la voie de la production intégrée.

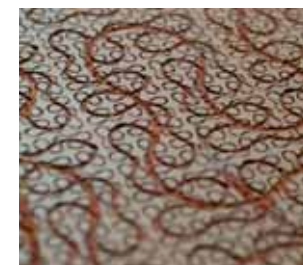
A partir de cette modélisation, non seulement la construction d'objets fractals est possible (figures autosimilaires, objet fractal creux, objet fractal construit par croissance, objet fractal par éclatement) mais aussi la construction de formes à pôle classique (Bézier, Spline, NURBS, etc.). Ainsi, la méthode étudiée offre à la conception et à la production architecturale un nouvel univers plastique.

Par la suite, la combinaison géométrie fractale / matériaux bois / production automatisée et industrialisée ouvre de nouveaux champs d'application du matériau bois dans la construction. Les structures en bois ainsi créées rempliront différents rôles: Structures portantes, panneaux de fermeture constructifs et visuels, éléments d'équilibre climatique.

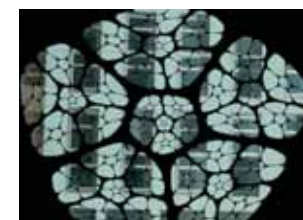
- 1 L'algorithme De Casteljau construit des Bézières à quatre points de contrôle de manière itérative. En haut : voûte croisée et modélisée en différents degrés de discrétisation. En bas : Voûte en bois composée d'éléments représentant les étapes successives de la subdivision d'une courbe de Bézières.
- 2 Une variante de la courbe de Hilbert était à la base de ce panneau multiplis fraisé numériquement. Plusieurs niveaux de détail cohabitent dans la même figure.
- 3 Maquettes de structure de coques fractales. En haut : maquette de prototypage rapide produite par impression 3D. En bas : Maquettes de prototypage rapide produite par 'fused deposit modeling'.
- 4 Maquettes de structure de coques fractales. En haut : maquette de prototypage rapide produite par impression 3D. En bas : Maquettes de prototypage rapide produite par 'fused deposit modeling'.

allows the construction of fractal objects (self-similar objects, hollow fractal objects, growing structures, bursting objects) but also the construction of classic polynomial figures (Bezier, Spline, NURBS, etc.). In terms of architectural conception and production, the studied method opens the door to a new sculptural universe.

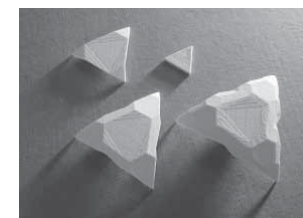
Furthermore, the combination fractal geometry / wood / integrated manufacturing explores a new application range of the material wood in the field of construction. The created structures will play different roles: Bearing structures and spatial separators as well as deco-, shading or acoustic panels.



2



3



4

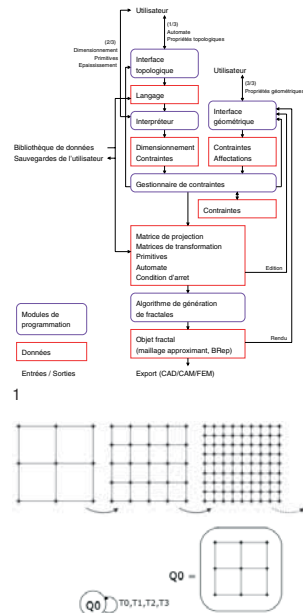
Collaborateurs du projet
participating collaborators
Prof. Dr. Yves Weinand,
architecte et ingénieur, IBOIS/EPFL
Dr. Eric Tosan,
ingénieur informaticien, IIRIS/Université Lyon
Prof. Peter Buser,
ingénieur mathématicien, GEOM/EPFL
Iver Bailly-Salins,
ingénieur mathématicien, GEOM/EPFL
Gilles Gouaty, ingénieur informaticien, IBOIS/EPFL
Ivo Stotz, architecte IBOIS/EPFL

Financement funding
EPFL, SNF

Partenaire industriel industrial partner
Partenaire recherché

Période period
2005 - 2008

Page web webpage
<http://fractals-ibois.epfl.ch/>
<http://ibois.epfl.ch/page12312.html>



2

GEOMETRIE FRACTALE (IMPLEMENTATION INFORMATIQUE)

CONCEPTION ASSISTEE PAR ORDINATEUR

La conception de formes, destinées à la construction, a connu une évolution considérable depuis l'apparition de l'informatique en tant qu'outil de travail. La capacité de calcul des ordinateurs a rendu possible l'utilisation de modèles mathématiques de plus en plus sophistiqués pour représenter ces formes. La recherche en modélisation géométrique, qui a notamment établi la définition de ces modèles, est un domaine en pleine expansion. La quasi-totalité des logiciels de CAO les plus courants se basent sur des modèles mathématiques qui définissent des formes « lisses » (Bézier, B-splines, NURBS,...). La géométrie fractale permet de définir des formes aux propriétés surprenantes et originales, qui permettent de sortir de cet aspect lisse.

CADRE THEORIQUE

Dans le projet « géométrie fractale et ses applications dans la construction en bois », nous allons développer un modèleur spécialisé dans la modélisation d'objets fractals. On se base sur un type particulier de fractales qui est défini d'après le modèle BCIFS (Boundary Controlled Iterated Functions System), qui est une généralisation du modèle CIFS (Controlled Iterated Function System), lui-même généralisant le modèle IFS (Iterated Function System) plus classique. Le modèle BCIFS permet un contrôle plus fin des propriétés géométriques et topologiques de l'objet modélisé.

MODELEUR FRACTAL

Le schéma du logiciel illustre les principaux éléments composant le modèleur fractal que nous envisageons. En amont, ils communiquent avec l'utilisateur par l'intermédiaire d'interfaces. En plus, certaines données géométriques peuvent être importées c.a.d. que l'import

FRactal Geometry (Software Implementation)

COMPUTER ASSISTED DESIGN

The shape conception, used for construction, has considerably advanced since the apparition of informatics as a working tool. The growth of the computing capacity made the use of more and more sophisticated mathematical models possible to create and to render complexe shapes. The research in geometric modelling, which notably bases the definition of such models, is a growing domain. The large majority of CAD (Computer Assisted Design) software are based on mathematical models that define "smooth" shapes (Bézier, B-Splines, NURBS,...). The fractal geometry allows to define shapes with original and surprising properties, which allows to go upon the limits of the classical smooth models.

THEORETICAL FRAMEWORK

In the project "fractal geometry and its application in wood construction", we are going to develop a modeller that is specialized in the creation of fractal objects. We start from a particular kind of fractal objects defined by the BCIFS (Boundary Controlled Iterated Functions System) model, which is a generalization of the CIFS (Controlled Iterated Function System) model, which is itself a generalization of the more classical IFS (Iterated Function System) model. The BCIFS model allows a best control of the geometrical and topological properties of the modelled objects.

FRactal Modeler

On the top of this document, the diagram shows the main elements which compose our fractal modeller. It is constituted by a set of software components. Each of them communicates with others by sharing specific types of data. Upstream, they communicate with the user through graphical user interfaces. In addition to that, geometrical data can be imported.

de maillage provenant d'autre modèleur est possible.

En aval, ils génèrent des maillages qui peuvent être récupérés par des modèles CAO classiques ou des logiciels CAM (Computer Aided Manufacturing) ou FEM (Finite Elements Method). Le format de fichier en sortie doit se baser sur des standards répandus, soit le .STL, le .DXF, ou bien le .VRML. Certaines données intermédiaires peuvent être sauvegardées de manière à être réutilisées ultérieurement.

Nous avons décomposé la problématique liée à la modélisation d'objets fractals en deux thématiques principales : d'une part la topologie, et d'autre part la géométrie.

La partie topologique se consacre uniquement aux propriétés des raccords que doit vérifier l'objet. Les schémas présentés illustrent le cas d'une subdivision d'une surface. Une fois que les spécifications topologiques sont entrées par l'utilisateur, il passe ensuite à la modélisation géométrique proprement dite.

1 Schémas fonctionnel du modèleur fractal

2 Définition d'un carreau de surface:

- Grille à 3*3 points de contrôle
- Quatre matrices de transformations permettant de créer les nouveaux points

3 Exemple d'une implémentation informatique: Environnement d'utilisateur réalisé avec OGL Viewer qui communique avec le logiciel Rhinoceros

4 Surface de subdivision : Un carreau est subdivisé par quatre transformations sans vérification des contraintes de raccord sur les arêtes (au milieu) respectivement des contraintes de raccord sur les sommets (en haut). La figure du bas est le résultat obtenu lorsque les contraintes spécifient que tous les éléments soient bien raccordés.

Downstream, they generate meshes that can be exported towards classic CAD modellers, CAM (Computer Aided Manufacturing) or FEM (Finite Elements Method) software. The file format has to be based on widespread standards, such as .STL, .DXF, or .VRML. Intermediate data can be saved in an internal file format, in order to be reused subsequently.

The top of the diagram is divided in two columns, which distinguish the geometrical and the topological parts. These two aspects are complementary and very different one from the other.

The topological part is only devoted to the joins properties that the modelled object has to check. The pictures show the case of a surface subdivision. Once the user has entered the topological descriptions, he moves on to the purely geometrical modelling

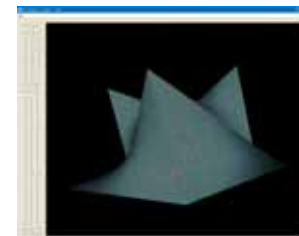
1 Functional model of the fractal modeller

2 Definition of a square of surface:

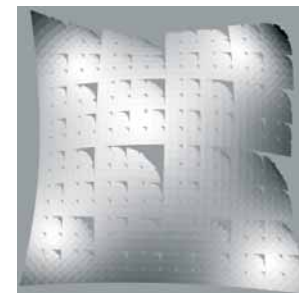
- Grid of 3*3 control points
- 4 transformation matrices, allowing the generation of the new points

3 Example of a software implementation: Graphical user interface created with OGL-Viewer. The shown prototype communicates with common CAD modelers.

4 Subdivision surfaces: a square is subdivided without verifying the connections of the edges (center) or of the vertices (top). The bottom figure is a result obtained when all of the elements are correctly connected.



3



4

Collaborateurs du projet participating collaborators

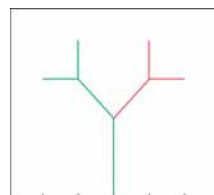
Prof. Dr. Yves Weinand,
architecte et ingénieur, IBOIS/EPFL
Dr. Eric Tosan,
ingénieur informaticien, LIRIS/Université Lyon
Prof. Peter Buser,
ingénieur mathématicien, GEOM/EPFL
Iver Bailly-Salins,
ingénieur mathématicien, GEOM/EPFL
Gilles Gouaty, ingénieur informaticien, IBOIS/EPFL
Ivo Stotz, architecte IBOIS/EPFL

Financement funding
EPFL, SNF

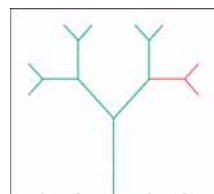
Partenaire industriel industrial partner
Partenaire recherché

Période period
2005 - 2008

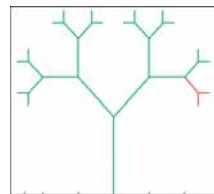
Page web webpage
<http://fractals-ibois.epfl.ch/>
<http://ibois.epfl.ch/page12312.html>



1



2



3

GEOMETRIE FRACTALE (MODELISATION MATHÉMATIQUE)

Les IFS (systèmes de fonctions itérées) appartiennent aux techniques de modélisation dites procédurales. Au lieu de définir des objets de manière explicite, les IFS permettent de définir implicitement des objets arbitrairement complexes et détaillés par la donnée d'une procédure simple permettant d'enrichir itérativement la complexité d'une structure. Les IFS permettent de définir simplement l'aspect d'un objet de sa macrostructure à sa texture la plus fine et de conserver certaines propriétés esthétiques ou mathématiques à toutes les échelles intermédiaires. Ces propriétés d'autosimilarité sont propres à la classe des objets fractals.

Un IFS est défini par un ensemble de transformations applicables récursivement sur les éléments d'un objet. La nature de ces objets, des transformations utilisées, et les règles qui en dictent le mécanisme d'application, sont des variables qui distinguent plusieurs champs particuliers dans le cadre des IFS. Les plus connus sont :

Les Lindenmayer systèmes (images 1, 2, 3) utilisés pour modéliser les phénomènes naturels de croissance.

Les schémas de subdivision (images 4, 5, 6), utilisés pour générer des courbes ou surfaces lisses à partir de structures de contrôle discrètes.

Le formalisme associé aux IFS est récent (BARNSELEY) et appliqué principalement dans des domaines liés à l'informatique graphique.

Le projet de recherche Géométrie Fractale et ses Applications dans la Construction en Bois regroupe plusieurs compétences provenant du domaine de l'informatique graphique (LIRIS), du domaine des mathématiques (IGAT) ainsi

FRactal Geometry (MATHEMATICAL MODEL)

Iterated function systems belong to procedural modelling techniques. Instead of defining objects explicitly, IFS are used to implicitly define objects of arbitrary complexity and detail by describing a simple procedure which controls an iterative process of refinement of these objects. IFS enable us to define simply and in a coherent manner the aspects of an object from its macrostructure to its finest texture, preserving certain esthetical and mathematical properties all along the intermediate scales. These self-similar properties are specific to fractal objects.

An IFS is defined by a set of transforms recursively applicable to the elements of an object. The nature of these objects, of the transforms used, and of the rules defining the mechanism of their application are variables which distinguish several particular fields in the domain of IFS. The most common are :

Lindenmayer systems (images 1, 2, 3) used to simulate natural growth phenomena.

Subdivision schemes (images 4, 5, 6) used to generate smooth curves and surfaces from discrete control structures.

The formalism associated to IFS is recent (BARNSELEY) and used mainly in fields linked to computer graphics.

Several competences are gathered around the research project « fractal geometry and its applications in wood construction ». The implicated laboratories cover various domains : computer graphics (LIRIS), mathematics (IGAT) and construction (IBOIS). Each of these persons is associated to a particular field of research.

The mathematical challenges associated to this project are various: Redefine, to unify, enrich and combine the common

que du domaine de la construction (IBOIS). Chacun est associé à un champ de recherche particulier.

Les défis mathématiques associés à ce projet sont variés: Redéfinir, pour enrichir et combiner les systèmes itératifs déjà utilisés dans la modélisation géométrique (principalement surfaces de subdivision et L-systèmes). Caractériser les structures générées (convergence des systèmes itératifs, existence d'expressions analytiques pour les limites...).

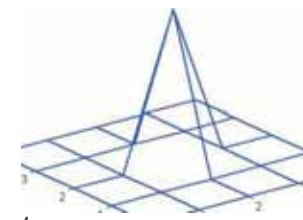
Contrôler les propriétés de ces assemblages d'éléments discrets pour les rendre directement adaptées à la construction (taille des éléments, contraintes d'assemblage, nature et connectivités topologiques...).

Développer les outils logiciels adaptés mettant à disposition d'utilisateurs non-experts le fruit de cette recherche mathématique pour créer des structures innovantes.

IFS already used in geometric modelling (principally L-Systems and subdivision schemes). Characterise the generated structures (convergence of the iterative process, existence of an analytical expression for the limit object...).

Control the properties of the assemblies of simple elements within complex virtual structures, with a direct application of this control in real constructions (size of construction elements, assembly constraints, topological connectivity...).

Develop the suitable software tools to be put at a user's disposal to exploit the fruit of the mathematical research underlying the project, in a user-friendly and intuitive way to create innovative structures.



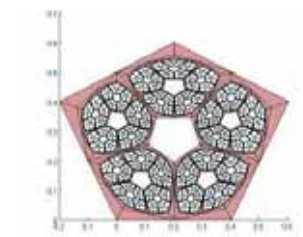
4



5



6



7



8

1-3 Premières itérations d'un système de Lindenmayer simple: Des éléments (figurés en rouge) se retrouvent à plusieurs échelles dans la structure générée.

4-6 Premières itérations du schéma de subdivision de Catmull-Clark: Le maillage généré converge vers une surface dont l'expression analytique est connue (surface spline polynomiale).

7-8 Structures générées par des IFS généralisant et combinant les principes exploités dans les L-Systèmes et schémas de subdivision.

1-3 First iterations of a simple Lindenmayer system: The parts (shown in red) can be found at different scales of the generated structure.

4-6 First iterations of the subdivision scheme of Catmull-Clark: The generated mesh converges to a surface of which the analytical expression is known (polynomial spline surface)

7-8 Figures which have been generated by IFS that generalize and combine the principles on which rely the L-Systems and the subdivision schemes.