

Géométrie fractale et ports de plaisance français méditerranéens

Bailly, e

Université de Nice Sophia-Antipolis,

98 boulevard Edouard Herriot

B.P. 209 - 06204 Nice Cedex 3

bailly@unice.fr

Mots clés : Géométrie fractale, ports de plaisance, Méditerranée

Key words : Fractal Geometry, marinas, Mediterranean Sea

Abstract

The observation of numerous natural organizations teaches that the need to optimize the space is governed by the fractal geometry. This research wants to strengthen the intuition of a possible optimization of the structure of a marina by means of this geometry. Indeed, the lack of ring in the Mediterranean marinas is a recurring problem.

Having detailed a set of techniques allowing the construction of fractals structures, examples of new organizations will be presented, as well as the constraints inherent to the existing harbour organization. It is then the problem of the quantification of the results that will be approached.

Résumé

L'observation de nombreuses organisations naturelles enseigne que le besoin d'optimiser l'espace est régi par la géométrie fractale. Cette recherche veut consolider l'intuition d'une possible optimisation de la structure d'un port de plaisance à l'aide de cette géométrie. En effet, le manque d'anneaux dans les ports de plaisance méditerranéens est un problème récurrent.

Après avoir détaillé un ensemble de techniques permettant la construction de structures fractales, des exemples d'organisations nouvelles seront présentées, ainsi que les contraintes inhérentes à l'agencement portuaire existant.

C'est ensuite le problème de la quantification des résultats qui sera abordé.

I. Les ports de plaisance : Une géométrie euclidienne, un énorme manque d'anneaux

La plaisance est une activité en pleine extension, mais elle est freinée par le manque chronique d'emplacements pour les bateaux, malgré les 7000 places qui seront créées d'ici 2009. On estime à 50000 le nombre d'anneaux manquant dans les 370 ports français. Cette constatation est encore plus marquée en Méditerranée, lieu de villégiature par excellence, où le nombre des immatriculations de bateaux correspond à plus de 40 % (entre 40 et 50 % selon les sources) du parc français (Fédération Française des Ports de Plaisance & Comité pour le Développement des Capacités d'Accueil de la Plaisance).

Ainsi, de nombreux acheteurs potentiels abandonnent leurs projets. C'est toute l'industrie nautique qui souffre de cette saturation. On comprend alors la forte demande sociétale à laquelle les autorités sont confrontées. Mais de nombreuses contraintes à l'extension des ports existent.

D'abord, elle est rendue difficile par les autochtones (voisins, habitants...), qui ne veulent plus voir sacrifier une partie du littoral et s'opposent à tout nouveau projet. Notons que toute demande sociétale ne fait jamais l'unanimité. Elle est toujours une balance entre partisans et opposants, dichotomie éminemment politique.

Ensuite, concernant la création de nouvelles structures, il ne semble plus y avoir d'abris naturels disponibles (soit par manque physique, soit parce qu'ils sont protégés par la loi littorale).

Fort de ces constats, nous avons étudié la géométrie de ports de plaisance méditerranéens français. L'idée générale peut se résumer à cette question : Y a-t-il une issue, même provisoire, dans l'agencement interne des ports, pour en augmenter le nombre de places ?

À partir des images aériennes existantes, nous avons signalé la morphologie des ports. Elle est double : nous distinguons d'abord une enveloppe, calquée sur l'espace naturel et souvent accompagnée d'une digue protectrice artificielle. Ensuite, la structure interne, qui génère les places pour les bateaux, est mise en évidence.

Nous remarquons aussi la présence des bateaux et surtout leur différence de taille qui est un élément important à prendre en compte.

La figure 1 présente le port de Bandol. Nous avons dessiné en surimpression les éléments géométriques qui le structurent. Les résultats de ces extractions sont visibles, pour plusieurs ports, sur le site internet http://geofractal.free.fr/ports_de_plaisance_018.htm



Figure 1 : port de Bandol et sa structure (google earth)

Ces observations nous enseignent que la géométrie interne des ports est plutôt simple, euclidienne. Même s'il y a des similitudes entre les différentes parties du port, « similitudes n'est pas auto similitude » (Sapoval B. 1997, p 102). Il n'y a pas reproduction de la structure à des échelles plus fines. Toutefois, certains exemples montrent les balbutiements d'une réitération de la structure par un enchevêtrement limité de pontons, suggérant ainsi les prémisses d'une possible organisation fractale. Il y a même une certaine ressemblance avec la première itération d'une fractale géométrique, dont nous montrerons un exemple de construction plus loin.

II. L'efficacité dans la nature est souvent fractale

La fougère est régulièrement présentée comme un exemple emblématique de la géométrie fractale. Mais pourquoi la fougère répond-elle à ces caractéristiques ? Les racines et les branches d'un arbre sont des dendrites. De nombreuses études témoignent de leur caractère fractal. Quel intérêt trouve une plante à se ramifier en suivant cette géométrie ?

L'exemple des poumons est aussi très utilisé. Le poumon possède une structure arborescente, un ensemble complexe de ramifications. Chaque bronche se subdivise pour aboutir à plus de 30 000 bronchioles et 300 millions d'alvéoles (chez l'être humain), ce qui donne une surface d'environ 140 m². Cette structure est proche de l'optimum : « les mesures faites sur lapins chats et souris montrent que le périmètre modélisé par une fractale n'est pas loin de l'optimiser » (Sapoval B. 1997, p IX) (proche, car il y a une marge de sécurité qui entraîne d'ailleurs des différences considérables dans les performances respiratoires (Sapoval B. 2005)).

Mandelbrot a le premier utilisé l'exemple de la structure d'une bronche. Il propose une image s'en rapprochant.

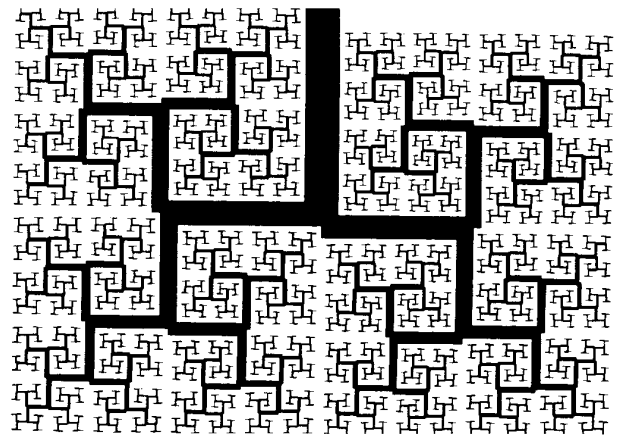


Figure 2 : "une structure ramifiée" (In Sapoval B. 1997, p X)

Dans le même ordre d'idées, de multiples études médicales montrent le caractère fractal de nombreuses fonctions corporelles, notamment du système vasculaire. En général, tous les organes qui doivent maximiser leur surface d'échange répondent à une logique fractale.

Le stade de l'étonnement et de la curiosité est dépassé. Les réflexions théoriques pour comprendre les mécanismes de la fractalité se construisent pas à pas, permettant une utilisation plus généralisée de ses retombées. De nombreux champs d'applications utilisent maintenant la géométrie fractale, et ce, dans des applications aussi bien industrielles que scientifiques. Les

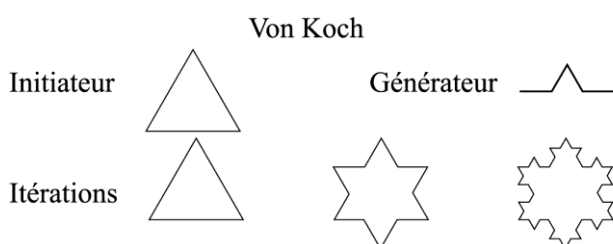
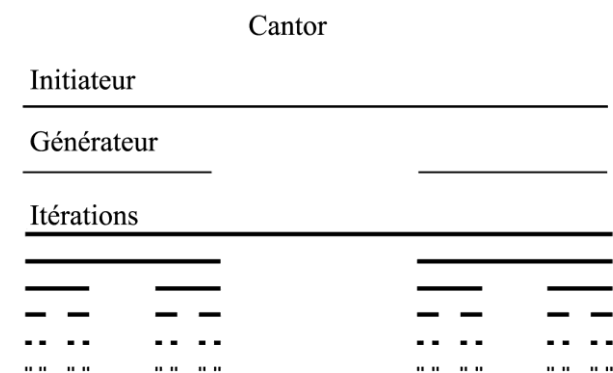
technologies sont innovantes et diverses : antennes fractales, insonorisation (meilleur amortissement des ondes sonores : mur fractal antibruit), modélisation de nombreux processus, amélioration des qualités de portance de structures en bois, fibre optique, etc.

Toutes ces constructions sont donc fractales et utilisent une des propriétés fondamentales de cette géométrie : une surface qui tend vers l'infini dans un espace fini. Cette propriété donne la réponse aux questions posées plus haut : une structure fractale représente une solution à l'optimisation des surfaces de contacts. Ainsi, on maximise la surface de contact entre feuilles et rayons du soleil et l'on obtient le meilleur échange oxygène/sang dans un poumon.

III. Principes fondamentaux de la construction d'une fractale

Il existe principalement trois méthodes pour générer une fractale. La transcription graphique d'une équation mathématique spécifique (à base de nombre complexe), un certain nombre de modèles à particules et la famille des mécanismes de réécriture. C'est cette dernière que nous allons détailler, car, à notre connaissance, les formes géométriques qu'elle engendre semblent plus s'inscrire dans notre problématique que les autres.

Cette famille se décline en trois techniques qui peuvent fournir les mêmes figures, mais qui sont adaptées plus particulièrement à telle ou telle thématique.



A. La récursivité géométrique

Le principe est simple. On définit une base géométrique que l'on remplace itérativement par un motif, lui-même composé à partir de réductions de la base. Les exemples de la figure 3 illustrent ce principe. Ils sont emblématiques de la géométrie fractale.

B. Les L-system

Le biologiste hongrois Aristid Lindermayer a objectivé la création d'une fractale à l'aide d'une grammaire formelle. Cette technique a été conçue et demeure très utilisée pour modéliser la croissance de végétaux. Un L-system est un ensemble de règles et de symboles. Il contient un alphabet, un axiome de départ (initiateur), une ou des constantes et un ensemble de règles. On peut ainsi écrire des suites de lettres créant une structure comme dans l'exemple qui suit :

Soit : un alphabet : $V = \{A, B\}$

un axiome de départ : $w = A$

des règles : $(A \rightarrow AB) \text{ \& } (B \rightarrow A)$

Le résultat sur cinq générations (n) donne :

* $n=0$, A

* $n=1$, AB

* $n=2$, AB A

* $n=3$, AB A AB

* $n=4$, AB A AB AB A

* $n=5$, AB A AB AB A AB A AB

Des langages informatiques (Logo, Smalltalk, etc.) ont permis de formaliser graphiquement ces générations comme le présente la figure 4.

Il existe plusieurs classes de L-system, plus ou moins complexes, intégrant de l'aléatoire et permettant de créer de nombreuses formes.

Figure 3 : Poussière de Cantor et flocon de Von Koch

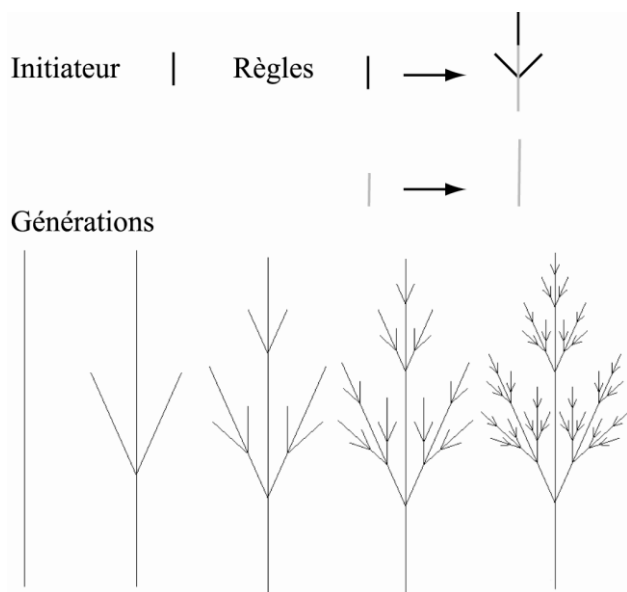


Figure 4 : modèle de croissance d'un végétal à partir d'un L-system.

C. Les IFS

Les Iterated Function System sont définies par un ensemble de transformations géométriques (dites fonctions affines) appliquées itérativement à une figure de départ. On dispose de deux approches pour les dessiner. La première, mathématique, peut se résumer à l'algorithme suivant :

Définir un point Z au hasard dans le plan

Réitérer jusqu'à ce que l'on arrête :

Choisir une fonction affine F

$Z \leftarrow F(Z)$

Tracer le point Z

Cet algorithme extrêmement simple permet d'obtenir une infinité d'images fractales.

La seconde solution pour tracer une IFS est graphique et donne lieu à de nombreux logiciels souvent appelés MRCM (Multiple Reduction Copy Machine). Le principe reste le même, mais tout se construit à l'écran de visualisation. L'utilisateur crée les transformations affines en jouant avec des formes de bases. Nous avons créé un ensemble d'IFS, présenté dans la figure 5, avec cette technique.

Ces trois familles produisent ainsi des images fractales que l'on appelle aussi attracteurs. Notons que l'attracteur est souvent complexe, mais qu'il est issu de réitérations simples.

IV. De la théorie à la réalité portuaire

Après la définition de ce cadre de réflexion, présentons une approche plus pragmatique. L'idée principale de cette recherche est donc de générer une structure fractale à l'intérieur d'un espace portuaire, d'en dépasser la géométrie euclidienne, afin d'optimiser le nombre de places.

Imaginons que nous voulions construire un port dans un espace non restreint géographiquement. La figure 2 nous donne une solution différente de la géométrie que l'on retrouve classiquement dans un port. Outre sa structure ramifiée et son emprise sur tout l'espace, elle a comme caractéristique de rendre accessible chaque point du plan.

Les images qui suivent présentent quelques exemples de figures fractales qui pourraient elles aussi convenir à notre étude.

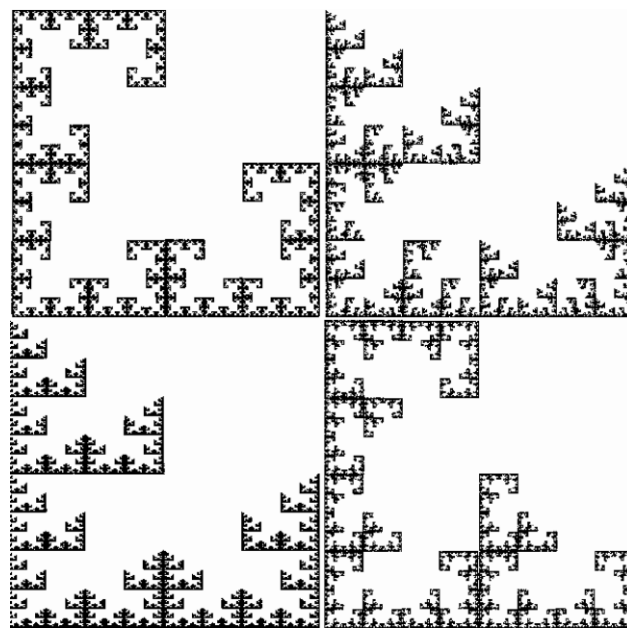


Figure 5 : une collection de structures issues d'IFS

Ce sont des réalisations possibles parmi une infinité de solutions. Nous les avons sélectionnées comme exemples, car elles sont enserrées dans un carré dont un quart (en haut à droite) a été supprimé ce qui peut correspondre, dans la réalité, à une entrée de port.

Il conviendra ensuite d'effectuer cette réorganisation géométrique sous plusieurs contraintes.

Tout d'abord, on ne peut pas simplement superposer une structure fractale imaginée sur l'image du port. Il faut construire la fractale à l'intérieur de l'enceinte : la génération ne débute pas d'une base géométrique quelconque, mais de la réalité physique du port. Outre les quais existants sur la côte, il y a l'enveloppe qui restreint la croissance de la fractale, en tout cas qui l'enserme.

Ensuite, les bateaux doivent avoir suffisamment de place pour manœuvrer ; ceci conditionne le choix d'une structure laissant un espace important entre chaque élément.

Enfin, il faut prendre en compte la taille des bateaux. Cette dernière contrainte n'en est pas une. En effet la géométrie fractale qui réitère la même forme à une échelle plus petite engendre automatiquement des tailles structurelles décroissantes. C'est un niveau d'organisation identique qui se réduit. Ainsi, les bateaux devraient être « rangés » par taille, les plus petits accédant aux places les plus profondes.

V. DISCUSSION

Cet article s'inscrit dans le cadre d'une recherche plus ample dont voici quelques ambitions.

La mise en place d'une base de données photographique (aériennes), complétée par la surimpression de la structure est en cours de réalisation sur les ports de plaisances méditerranéens français, avec comme possible extension l'ensemble des ports méditerranéens.

Comme nous l'avons exposé, il existe de nombreux logiciels utilisant les méthodes décrites (Ifs, L-system etc.) pour construire une fractale. Toutefois, ils demeurent des outils à vocation pédagogique et aucun, à notre connaissance, ne permet de les construire sous contraintes. Il faudra donc dans l'avenir développer des moyens d'expérimentation répondant aux conditions que nous avons décrites.

Changer la structure d'un port, l'agencement des pontons, est techniquement réalisable. En Atlantique et en Manche, ils peuvent coulisser selon les marées. En Méditerranée ils sont fixes, mais il existe des solutions en kits, modulaires, permettant de les adapter à n'importe quelle configuration.

Toutefois, avant d'envisager une possible réalisation, il reste un point essentiel à investir : mesurer la portée des gains réalisables. On peut comptabiliser sur une maquette les places gagnées par tel ou tel agencement. Mais ceci oblitère à notre avis une question majeure : quelle est la structure fractale maximisant le nombre de places ? Nous suggérons l'utilisation de la dimension fractale. Celle-ci est généralement considérée dans la littérature spécialisée comme une mesure de la rugosité d'un objet. Sous cette explication il reste de nombreux points à éclaircir. Ce n'est qu'en réalisant un ensemble de

mesures systématiques à partir de thématiques variées que la dimension fractale pourra réellement apporter une information utilisable. Nous proposons ainsi de comparer le nombre de places obtenues (comptabilisé sur maquette) avec la dimension fractale pour tenter d'en établir une meilleure compréhension.

Références bibliographiques

Sapoval B. 1997 – Universalités et fractales, Mayenne, Flammarion, 272 p.

Sapoval B. 2005 - Physique de la respiration chez les mammifères : efficacité ou robustesse, prix du ministère, Édition la recherche.