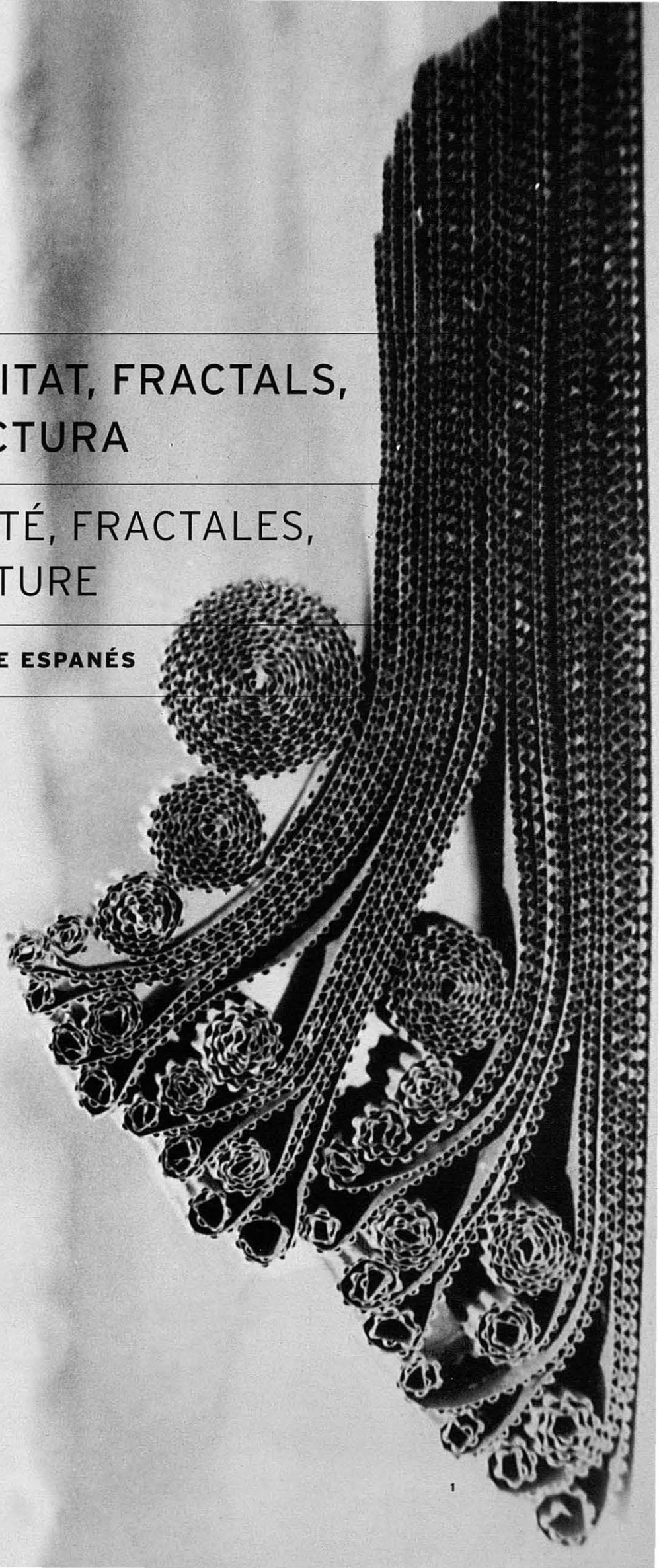
# COMPLEXITAT, FRACTALS, ARQUITECTURA

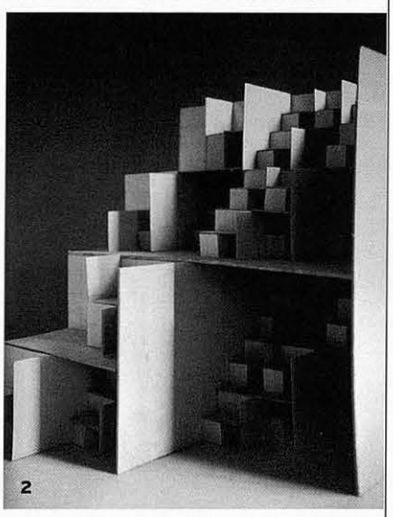
# COMPLEXITÉ, FRACTALES, ARCHITECTURE

**INÉS MOISSET DE ESPANÉS**



Fins al segle passat, la ciència ensenyava que el cosmos es podia considerar com una màquina perfectament *predicible* que es regia sota la llei i l'ordre. Aquest model idealitzat es va esfondrar i rere l'equilibri aparent va sorgir una nova visió de la naturalesa que aprecia la *complexitat de les relacions.* L'ordre perfecte de les formes d'Euclides o Descartes no representa adequadament la geometria de la naturalesa. Les corbes regulars, com el cercle, són casos particularíssims. La realitat es revela tan irregular que el model continu i perfectament homogeni fracassa i no pot servir ni tan sols com una primera aproximació.

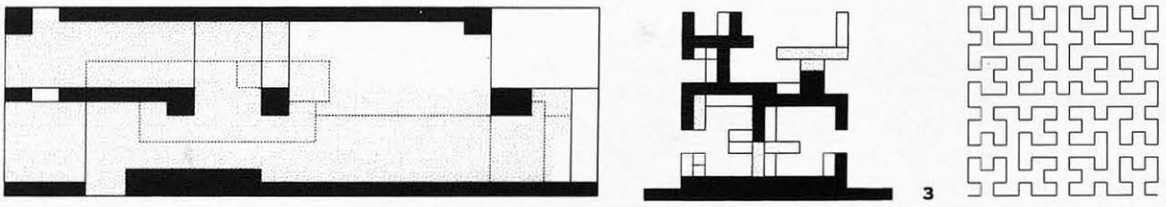
La discussió d'aquests nous conceptes va sorgir entre la fi del segle XIX i el començament del XX, quan matemàtics com Cantor, Von Koch i Peano començaren a dibuixar corbes diferents a les que s'havien vist fins aleshores. Eren autosemblants i tenien una longitud que no era fàcilment mesurable o definible. A més, la seva dimensió semblava que diferia de la dimensió tradicional de la línia i potser es trobava entre la de la línia i el pla. Els matemàtics tradicionals van qualificar aquestes corbes de "monstruoses" i "patològiques" i es van refusar a tractar-hi.


2

Al voltant de l'any 1970, el matemàtic Benoit Mandelbrot descobreix que expressions matemàtiques molt simples poden donar com a resultat funcions caòtiques i no periòdiques, que no obstant això tenen una mena d'ordre molt rígid completament especificat a les equacions originals. Mandelbrot encunya el terme *fractal* i el relaciona amb la dimensió de Hausdorff-Besicovitch o dimensió fraccionària.[1]

Els fractals es defineixen com corbes infinites contingudes en una superfície finita –i, per tant, amb *un nombre no enter o fraccionari de dimensions*– que poden ser representades amb l'ajuda d'ordinadors, seguint els algoritmes o la successió d'instruccions que les defineixen.[2] Mitjançant lleis deterministes i simples es pot produir un comportament tan complex i irregular que sembla aleatori; es poden elaborar formes d'un alt grau de complexitat a partir de codis simples. Una variació petitíssima en les condicions inicials pot conduir a una desviació extremadament gran en el resultat final. L'adveniment dels ordinadors permet una visualització immediata d'aquests objectes.

La intenció és elaborar processos, camins i mètodes i determinar les relacions creatives entre les ideas contingudes en l'ordre fractal i la forma i desenvolupar pautes morfològiques i geomètriques de transferència i traducció. El mètode és el fenomenològic, que arriba al coneixement mitjançant l'experiència sensible. S'inverteix el procés de teoria-pràctica pel de recerca-reflexió, exploració-construcció. Aquesta manera de pensar fent revela el valor de la teoria lligada al quefer arquitectònic. Per assolir


3

Jusqu'au siècle passé, la science apprenait que le cosmos pouvait être considéré comme une machine parfaitement *prévisible* qui était régie par la loi et l'ordre. Ce modèle idéalisé a été mis à bas et après l'équilibre apparent surgit une nouvelle vision de la nature qui apprécie la *complexité des relations.* L'ordre parfait des formes d'Euclide ou Descartes ne représente pas la géométrie de la nature de façon adéquate. Les courbes régulières, telles que le cercle, sont des cas particuliers. La réalité se révèle tant irrégulière que le modèle continu et parfaitement homogène ne fonctionne pas et ne peut même pas servir comme première approximation.

Le débat sur ces nouveaux concepts surgit entre la fin du XIXème siècle et le début du XXème, quand des mathématiciens comme Cantor, Von Koch et Peano commencèrent à dessiner des courbes différentes de celles vues jusqu'à lors. Elles étaient auto-semblables et avaient une longueur qui n'était pas facilement mesurable ou définissable. De plus, leurs dimensions paraissaient différer des dimensions traditionnelles d'une ligne et se trouvaient peut-être entre celle de la linge et celle du plan. Les mathématiciens traditionnels appelèrent ces courbes « monstrueuses », « pathologiques » et refusèrent de traiter avec elles.

Vers l'année 1970, le mathématicien Benoît Mandelbrot découvrit que des expressions mathématiques très simples pouvaient avoir comme résultat des fonctions chaotiques et non périodiques, qui contenaient sans nul doute une sorte d'ordre très rigide complètement spécifié dans les équations originales. Mandelbrot y attribua le terme de *fractal* et le mit en relation avec la dimension de Hausdorff-Besicovitch ou dimension fractionnaire.[1]

Les fractals se définissent comme des courbes infinies contenues en une superficie finie – et ainsi, avec *un nombre non entier ou fractionnaire de dimensions* – que peuvent être représentées à l'aide d'ordinateurs suivant les algorithmes ou succession d'instructions qui les définissent.[2] Au travers de lois déterministes et simples, il est possible de produire un comportement si complexe et irrégulier qu'il parait aléatoire. Il est possible d'élaborer des formes d'une très grande complexité à partir de codes simples. Une minuscule variation dans

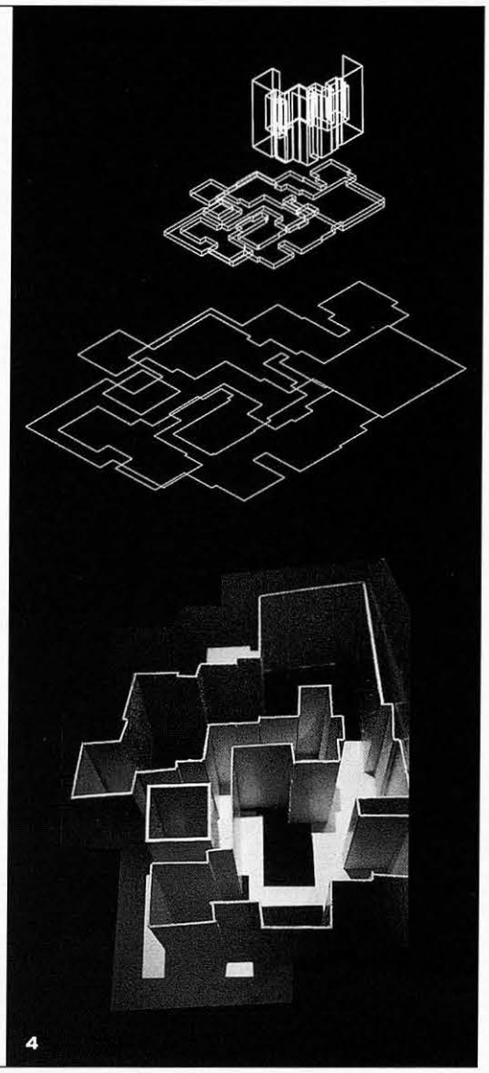
la transferència a la forma s'experimenta mitjançant l'elaboració de models, mitjançant la construcció concreta d'objectes que s'elaboren a partir d'una estructura compositiva i sobre la que treballem tenint en compte jerarquies, creixements, combinacions, textures, etc.; és a dir, elements del disseny arquitectònic.

Com podem traslladar les idees abstractes i els esquemes geomètrics a l'arquitectura? La geometria no pot ser portada mecànicament a l'arquitectura. Cal una *traducció* de les seves essències, dels seus significats i de les seves lleis. Es considera la geometria fractal com un ordre arquitectònic, l'eina indispensable per a la traducció de les idees a les formes. L'objectiu era anar més enllà de l'esquema geomètric estructurant, triar i desenvolupar les estratègies a partir de les lleis plantejades: la jerarquització, la qualificació, la selecció de formes, la recerca d'equilibri, de contrast, d'escala, de proporció, de síntesi, d'articulació, etc. La geometria ens proposa lleis de joc. La forma arquitectònica sorgeix de l'elecció d'estratègies a partir d'aquest ordre.

L'arquitectura actual es troba en cerca d'una nova complexitat. És una arquitectura que medita sobre el caos aparent, les distorsions i les deformacions, els replegaments i els intersticis. És una arquitectura que construeix les contradiccions de l'explosió d'un espai dinàmic portat al límit de la fragmentació. És una arquitectura que tracta de plantejar nous mètodes de representació alternatius als que s'empren convencionalment.

No obstant això, **RERE EL MECANISME DE LA SUPERPOSICIÓ, LA DESCOMPOSICIÓ I EL DINAMISME, HI HA UN IMPULS CAP A LA COHERÈNCIA I LA CONSISTÈNCIA, CAP A UN ORDRE SUBJACENT QUE EN REALITAT ÉS UN COMPLICAT SISTEMA D'ORDRES SUPERPOSATS, INTRICATS I MUTABLES EN LES SEVES RELACIONS RECÍPROQUES.**

Quines són les noves regles del joc? Hem de reinventar els codis? Quin és el nou concepte d'ordre? Els arquitectes contemporanis busquem en què sustentar-nos, ens interroguem sobre allò que les teories del caos puguin



4

les conditions initiales peut conduire à une déviation extrêmement grande pour le résultat final. L'avènement des ordinateurs permet une visualisation immédiate de ces objets.

L'intention est d'élaborer des processus, des voies et méthodes et déterminer les relations créatives entre les idées contenues dans l'ordre fractal et la forme et développer des modèles morphologiques et géométriques de transfert et traduction. La méthode est la phénoménologie qui permet la connaissance au travers de l'expérience sensible. Le processus de théorie-pratique de recherche-réflexion, exploration-construction est inversé. Cette manière de procéder révèle la valeur de la théorie liée au procédé architectonique. Pour atteindre le transfert de la forme, on procède à des essais par le biais de création de modèles, au moyen de la construction concrète d'objets qui sont élaborés à partir d'un structure composite et sur laquelle on travaille en tenant compte de hiérarchies, croissances, combinaisons, textures, etc. ; c'est à dire d'éléments du dessin architectural.

Comment appliquer les idées abstraites et les schémas géométriques à l'architecture ? La géométrie ne peut être transposée mécaniquement à l'architecture. Une *traduction* de ses essences, de ses signifiés et de ses lois est nécessaire. La géométrie fractale est considérée comme un ordre architectural, étant l'outil indispensable pour la traduction des idées à celles des formes. L'objectif était d'aller au-delà du schéma géométrique structurant, de choisir et de développer les stratégies à partir des lois exposées : la mise en hiérarchie, la qualification, la sélection de formes, la recherche d'équilibre, le contraste, l'échelle, la proportion, la synthèse, l'articulation, etc. La géométrie nous propose les règles du jeu. La forme architecturale surgit de l'élection de stratégies à partir de cet ordre.

L'architecture actuelle est à la recherche d'une nouvelle complexité. C'est une architecture qui réfléchit sur le chaos apparent, les distorsions et les déformations, les replis et les interstices. C'est une architecture qui construit les contradictions de l'explosion d'un espace dynamique porté à la limite de la fragmentation. C'est une architecture qui tente d'instaurer de nouvelles méthodes de représentation alternatives à celles utilisées de manière conventionnelle.

Cependant, DERRIÈRE LE MÉCANISME DE LA SUPERPOSITION, DE LA DÉCOMPOSITION ET DU DYNAMISME, EXISTE UNE IMPULSION VERS LA COHÉRENCE ET LA CONSISTANCE, VERS UN ORDRE SOUS-JACENT QUI EST EN RÉALITÉ UN SYSTÈME COMPLIQUÉ D'ORDRES SUPERPOSÉS, INEXTRICABLES ET MUTABLES DANS LEURS RELATIONS RÉCIPROQUES.

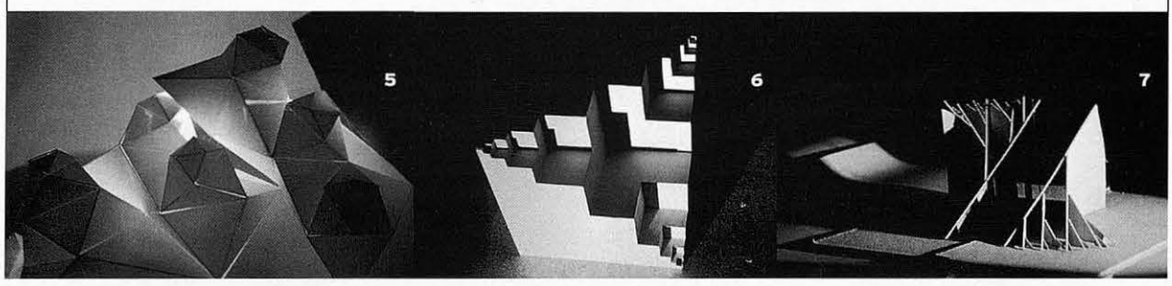
aportar a la pràctica de l'arquitectura, investiguem fins a quin punt podem manipular-ho o acceptar-ho, fins a quin punt podem permetre que domini un projecte.

**EXPERIMENTEM UNA NOVA SENSIBILITAT ENVERS L'ATZAR. EN AQUEST ASPECTE, EL QUE ABANS ES CONSIDERAVA DESORDRE ARA S'EXPERIMENTA COM A ORDRE.**

Així, doncs, intentem descobrir si hi ha alguna possibilitat de posar ordre en el caos de les imatges del món d'avui. En aquest sentit, com a instrument d'ordre, es planteja aquí l'ús de la geometria fractal en arquitectura. Formes ordenades i complexitat orgànica: aquesta seria la doble aportació a l'arquitectura de la geometria fractal com a instrument generador, l'expressió de la simultaneïtat de dos estats tradicionalment contradictoris.

**Inés Moisset de Espanés**, Arquitecta i professora de l'Instituto del Diseño, UCC i CONICOR. Argentina

**1** La *dimensió fractal* mesura el grau d'irregularitat i interrupció. Els objectes fractals tenen una dimensió més gran que la que tenen els objectes descrits per la geometria tradicional. En la geometria elemental, un punt té dimensió 0; una recta, dimensió 1; un pla, 2; un volum, 3. Al 1919, el matemàtic Hausdorff va determinar que per a determinades figures la dimensió no és un nombre enter, sinó una fracció o un nombre irracional. Podem dir que una figura la dimensió de la qual estigui entre 1 i 2 ha de ser més "desfilada" que una superfície, però més "massissa" que una línia. És una corba que no tendeix a l'infinit però que la seva longitud entre dos punts qualssevol és infinita.
**2** A nivell morfològic, hi ha dues característiques de les fractals que són importants:
La *iteració*: és la repetició a l'infinit d'un mateix procés. Per exemple, extreure el segment central o substituir els costats d'una figura per un altre conjunt de segments –com en el cas del floc de neu de Von Kock– o agregar cubs més petits a un altre cub. Si continuem el procés indefinidament, obtindrem un nombre infinit de segments (infinitament petits) en un sol full de paper de dimensions finites o un nombre infinit de volums en un espai finit. Una cosa impossible de fer a la pràctica, però sí a la imaginació. La idea subjacent rere les fractals és que mitjançant la iteració d'una fórmula senzilla es pot assolir una estructura molt complexa i rica.
L'*autosemblança*: la forma de la corba fractal es repeteix a si mateixa a escales cada cop més petites que contenen còpies infinites d'elles mateixes. Això permet apreciar que els nivells successius d'anàlisi tenen el mateix caràcter global, els mateixos trets genèrics. Si n'ampliem una petita porció, la seva forma és molt semblant a la de la forma total.




**1 - 2 - 5 - 6 - 7 Experiments projectuals amb geometries fractals a l'Instituto de Diseño, UCC y CONICOR, Argentina.**
Expériences projectuelles avec géométrics fractales à l'Instituto de Diseño, UCC et CONICOR, Argentine.
**3 Edifici realitzat a partir de la corba de Hilbert. Planta i secció transversal.**
Bâtiment réalisé à partir de la courbe Hilbert. Étage et coupe transversale.
**4 Superposició geomètrica per a tres nivells d'escala: Territori, plaça, edifici. Maqueta de l'edifici.**
Superposition géométrique pour trois niveau d'ecaliers: territoire, place, bâtiment. Maquette bâtiment.

Quelles sont les nouvelles règles du jeu ? Devons-nous réinventer les codes ? Quel est le nouveau concept d'ordre ? Nous, architectes contemporains, nous cherchons à quoi nous soutenir, en nous interrogeant sur ce que les théories du chaos peuvent apporter à la pratique de l'architecture, recherchant jusqu'à quel point nous pouvons le manipuler ou l'accepter, jusqu'à quel point nous pouvons lui permettre qu'il domine un projet.

NOUS EXPÉRIMENTONS UNE NOUVELLE SENSIBILITÉ VERS LE HASARD. DE CE POINT DE VUE, CE QUI ÉTAIT PRÉCÉDEMMENT CONSIDÉRÉ COMME DÉSORDRE EST À PRÉSENT EXPÉRIMENTÉ COMME UN ORDRE.

Ainsi donc, nous tentons de découvrir s'il existe la possibilité de mettre un ordre dans le chaos des images du monde d'aujourd'hui. De ce point de vue, en tant qu'instrument d'ordre, se pose ici l'usage de la géométrie fractale en architecture.
Formes ordonnées et complexité organique, ce serait le double apport à l'architecture de la géométrie fractale comme instrument générateur : l'expression de la simultanéité de deux états traditionnellement contradictoires.

**Inés Moisset de Espanés**, architecte et professeur de l'Institut de Design, UCC et CONICOR. Argentine

**1** La *dimension fractale* mesure le grade d'irrégularité et d'interruption. Les objets fractals ont une dimension supérieure à celle que possèdent les objets décrits par la géométrie traditionnelle. Dans la géométrie élémentaire, un point a une dimension 0 ; une droite, une dimension 1 ; un plan, 2 ; un volume, 3. En 1919, le mathématicien Hausdorff détermina que pour certaines figures, la dimension n'est pas un nombre entier, sinon une fraction ou un nombre irrationnel. On peut dire qu'une figure dont la dimension se situe entre 1 et 2 doit être plus « effilée » qu'une superficie, mais plus « massive » qu'une ligne. C'est une courbe qui ne tend pas à l'infini mais dont la distance entre deux points quelconques est infinie.
**2** Deux caractéristiques des fractals sont importantes au niveau morphologique :
L'*itération* : c'est la répétition à l'infini d'un même processus. Par exemple, extraire le segment central ou remplacer les côtés d'une figure par un autre ensemble de segments – comme dans le cas du flocon de neige de Von Koch – ou ajouter d'autres cubes plus petits à un autre cube. Si nous poursuivons le processus indéfiniment, nous obtenons un nombre infini de segments (infiniment petits) en une seule feuille de papier de taille finie ou un nombre infini de volumes en un espace fini. Chose possible à réaliser dans l'imagination, mais pas dans la pratique. L'idée sous-jacente aux fractals est que au moyen de l'itération d'une formule simple il est possible d'obtenir une structure très complexe et très riche.
L'*auto-ressemblance* : la forme de la courbe fractale se répète à elle même en échelles de plus en plus petites qui contiennent d'infinies copies d'elle-même. Ceci permet d'apprécier que les niveaux successifs d'analyse ont le même caractère global, les mêmes traits génériques. Si une petite portion est amplifiée, sa forme est similaire à celle de la forme totale.