



**HAL**  
open science

## Croissance organique et architecture

Marie-Pascale Corcuff

► **To cite this version:**

Marie-Pascale Corcuff. Croissance organique et architecture. [Rapport de recherche] 0968/97, Ecole Nationale Supérieure d'Architecture de Bretagne; Bureau de la recherche architecturale (BRA). 1997, pp. 93. hal-03102080

**HAL Id: hal-03102080**

**<https://hal.science/hal-03102080>**

Submitted on 7 Jan 2021

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

968

Bureau de la Recherche Architecturale  
Ecole d'Architecture de Bretagne

marie-pascale corcuff  
croissance organique et architecture

projet de recherche  
rapport final

## Sommaire

De la recherche architecturale	p. 2
De la spécificité de l'architecture	p. 10
Du rapport entre l'architecture et les mathématiques	p. 19
De l'architecture organique	p. 23
De l'organique et de ce qui ne l'est pas	p. 33
<i>La vie dans les plis</i>	p. 40
Du rapport de la surface au volume	p. 44
Expérimentations	p. 46
Bibliographie	p. 51
+ 41 planches hors-textes	

Toutes les illustrations ont été produites à l'aide du programme exp (© m-p corcuff) écrit en C, tournant sur Macintosh LC475, et sorties sur imprimante HP Deskwriter 660C.

## De la recherche architecturale

Qu'est-ce que faire de la *recherche architecturale*? Faut-il entendre une recherche *en* architecture ou une recherche *sur* l'architecture? Et de quel type de recherche s'agit-il ici?

Pour mieux comprendre le sens de la question et tenter d'y apporter des réponses, on peut se demander, par analogie, ce que c'est que faire, par exemple, de la *recherche mathématique*? La distinction entre recherche *en* mathématiques et recherche *sur* les mathématiques apparaît peut-être plus clairement qu'à propos de l'architecture: faire de la recherche *en* mathématiques, c'est explorer plus avant un territoire encore en partie vierge de l'univers mathématique, ou c'est construire une portion nouvelle de l'édifice mathématique (selon que l'on pense les mathématiques comme à découvrir (à explorer) ou à inventer (à fabriquer)), mais c'est en tout cas *faire des mathématiques*; faire de la recherche *sur* les mathématiques, par contre, c'est tenir un discours extérieur aux mathématiques elles-mêmes, c'est mener une réflexion sur le contenu des mathématiques, sur leur rapport au réel, par exemple, sur leurs fondements, ou bien encore c'est analyser les méthodes employées par les mathématiciens, mais ce n'est en aucun cas *faire des mathématiques*. Wittgenstein, dans ses *Remarques sur les fondements des mathématiques*, comme bien d'autres philosophes qui se sont penchés sur les mathématiques, ne *fait* pas de mathématiques, il réfléchit *sur* les mathématiques. Cette réflexion, si elle est souvent le fait des philosophes, peut être menée par les mathématiciens eux-mêmes, du moment qu'ils changent de position, et qu'ils observent leurs propres méthodes.

Mais qu'est-ce que *faire des mathématiques*, et d'abord, est-ce inventer (fabriquer) un monde, ou est-ce le découvrir (l'explorer)? Raymond Queneau, écrivain mais aussi dans une certaine mesure mathématicien, soutient dans *Odile*, par la bouche de son narrateur sans doute fidèle portrait de lui-même, le second versant de l'alternative:

Il n'existe pas qu'un seul monde, lui dis-je, celui que vous voyez ou que vous croyez voir ou que vous vous imaginez voir ou que vous voulez bien voir, ce monde que touchent les aveugles, qu'entendent les amputés et que reniflent les sourds, ce monde de choses et de forces, de solidités et d'illusions, ce monde de vie et de mort, de naissances et de destructions, ce monde où nous buvons, au milieu duquel nous avons coutume de nous endormir. Il en existe au moins un autre à ma connaissance: celui des nombres et des figures, des identités et des fonctions, des opérations et des groupes, des ensembles et espaces. Il y a des gens, vous le savez, qui prétendent que ce ne sont là que des abstractions, constructions, combinaisons. Ils veulent faire croire à une sorte d'architecture; on prend des éléments dans la nature, on les raffine, on les polit, on les dessèche et l'esprit humain bâtit avec ces briques une demeure splendide, magistral témoignage de la puissance de la raison. Vous devez certainement connaître cette théorie, votre professeur de philosophie devait la soutenir: c'est bien la plus vulgaire qui soit. Une bâtisse, ils prennent la science mathématique pour une bâtisse! On s'assure de la solidité des fondations avant de construire le rez-de-chaussée et le rez-de-chaussée fini on passe au premier étage puis au second et ainsi de suite sans qu'il y ait de motif pour que cela s'arrête. Mais en réalité les choses ne se

passent pas ainsi; ce n'est pas à l'architecture, à la maçonnerie qu'il faut comparer la géométrie ou l'analyse, mais à la botanique, à la géographie, aux sciences physiques même. Il s'agit de décrire un monde, de le découvrir et non de le construire ou de l'inventer, car il existe en dehors de l'esprit humain et indépendamment de lui. On doit explorer cet univers et dire ensuite aux hommes ce que l'on y a vu - je dis bien: vu.<sup>1</sup>

La description que nous fait Queneau de l'univers mathématique comme d'un monde à explorer n'est pas totalement, contrairement à ce qu'on pourrait croire à première vue, identique à la vision commune, naïve, celle qui prévaut chez les non épistémologues, comme Viollet-le Duc, par exemple:

(L'homme) n'a pas inventé le cercle, il a trouvé une figure éternellement existante. Toutes (les) découvertes en géométrie sont des observations, non des créations; car les angles opposés au sommet n'ont pas attendu que l'homme ait constaté leur propriété pour être égaux entre eux.<sup>2</sup>

Queneau ne dit pas tout-à-fait, comme l'affirme Viollet-le Duc, qu'il suffit d'un sens de l'observation pour faire des mathématiques, il dit qu'une fois posés un certain nombre de postulats, leur germination, le fruit de leurs conséquences, échappe en grande partie même à celui qui a inventé ou posé ces postulats, et qu'alors il y a bien un univers à explorer, univers qui n'a d'ailleurs, a priori, rien à voir avec notre monde sensible. C'est bien ce que nous offre la géométrie fractale. Même si Benoît Mandelbrot, son fondateur, ou son explorateur, comme on voudra, se réfère aux formes de la nature comme ayant impulsé certaines idées de départ, et comme champ d'application de sa géométrie, il est lui-même en position de découvreur étonné quand, ayant imaginé de voir ce que devenait le module d'un nombre complexe auquel on fait subir itérativement une même transformation (fort simple au demeurant), il se retrouve, en dessinant la "carte" des nombres dont le module tend vers l'infini, devant un monstre à la frontière infiniment échancrée, qu'il nomme alors, fort modestement, et comme un explorateur donne son nom à "son" île, ou un entomologiste le sien à "son" papillon: *l'ensemble de Mandelbrot*.

En fait, ce qu'on peut dire, c'est que toute activité humaine, qu'elle soit scientifique ou artistique, est créatrice, et qu'elle est dans cette tension entre découverte et invention, entre exploration et fabrication. Les arts aussi peuvent être vus comme des mondes à découvrir (à explorer) ou à inventer (à fabriquer):

Les seules différences qui apparaîtraient dans un musée de l'esquisse seraient celles des grandes catégories de l'esprit humain, baroques ou classiques; découvreurs, explorateurs de l'humain, comme Wols, ou inventeurs, constructeurs, comme Fernand Léger.<sup>3</sup>

Et l'architecture, qui comprend ses classiques et ses baroques, comporte elle aussi, malgré la vision caricaturale qu'en montre Queneau dans son texte, sa part de découverte, d'exploration, comme sa part plus évidente de construction, d'invention. Et de même que l'artiste n'est pas seulement un inventeur, le scientifique le plus en prise avec le réel, le botaniste par exemple, n'est pas non plus seulement un observateur: il ne voit que ce qu'il sait chercher, et après tout, même Christophe

<sup>1</sup> Raymond Queneau *Odile*, Gallimard, 1937, p. 27-28

<sup>2</sup> Eugène Viollet-le-Duc, cité par Philippe Boudon *Introduction à l'architecture*, Dunod, 1992, p. 52

<sup>3</sup> Jacques Mandelbrojt *Les cheveux de la réalité; autoportraits de l'art et de la science*, Alliage, 1991, p. 29

Colomb n'a pas découvert l'Amérique, mais seulement ce qu'il croyait trouver, c'est-à-dire les Indes...

L'architecture n'étant pas une science, mais un art, on peut se demander si l'analogie avec les mathématiques est complètement valide (bien que les mathématiques, ne se référant pas au réel, mais seulement à elles-mêmes, sont sans doute elles aussi dans une position ambiguë entre science et art). Ce que cette comparaison met cependant bien en lumière, c'est que *faire de la recherche en architecture* ne peut conduire qu'à produire *de l'architecture*. Si ce qui est produit est un *discours sur l'architecture*, son contenu, ses méthodes, etc, alors il s'agit de recherche *sur* l'architecture, d'*architecturologie*, devrait-on dire, si l'on peut employer ce terme sans se mettre automatiquement sous la bannière de Philippe Boudon...

Pour en revenir à ce qu'est *faire de la recherche en mathématiques*, on peut se demander si l'on peut *faire* des mathématiques d'une façon qui ne soit pas de la recherche. Existe-t-il d'ailleurs une pratique scientifique qui ne soit pas *de recherche*? L'élève qui "fait des maths" en classe semble se livrer à une activité de même type, bien qu'à un tout autre niveau et surtout dans des secteurs bien mieux balisés, que le mathématicien proprement dit. S'il se consacre un jour à la recherche dans ce domaine, ce sera d'ailleurs dans une continuité scolaire, puis universitaire. Mais il ne sera considéré comme "chercheur" que s'il pousse assez loin son activité, jusqu'à inventer des théorèmes, ou en démontrer certains restés hypothétiques, au lieu de seulement re-démontrer des théorèmes archi-connus. L'écolier ne fait donc pas véritablement de *recherche* en mathématiques, il fait seulement semblant d'en faire (ce qui n'est d'ailleurs déjà pas si mal). La recherche, dans un domaine scientifique, n'implique pas une scientificité plus grande (si la recherche scientifique est scientifique, c'est parce que son objet l'est), mais simplement un taux d'invention ou de découverte plus fort. On peut donc de même dire qu'est *chercheur* dans un domaine non scientifique, par exemple l'architecture, quelqu'un qui invente ou qui découvre de nouvelles manières de faire, qui produit des objets qui sont nouveaux et originaux.

Tout ce que l'on peut dire de la *recherche architecturale* s'applique plus ou moins à la notion de *théorie architecturale*... Si l'on reprend l'analogie avec les mathématiques, on constate qu'une *théorie* mathématique (par exemple la géométrie de Riemann, ou la théorie des groupes) n'est pas du tout de l'ordre du discours *sur* les mathématiques, mais est un système consistant d'axiomes et de théorèmes, inclus dans l'édifice mathématique total. Elaborer une théorie mathématique, c'est d'ailleurs l'objet de la recherche *en* mathématiques, c'est encore une fois *faire* des mathématiques. La théorie est l'objet propre de l'activité mathématique, son produit. L'objet propre de l'architecture semble plutôt a priori être l'objet architectural construit, ou du moins quelque chose de cet ordre. Un art, même le plus conceptuel, produit des objets (livres, films, tableaux, sculptures, etc; voire performances, emballages, ready-mades, etc, ce que Deleuze appelle des "agrégats sensibles" (cf infra)), non a priori des théories. On peut cependant proposer d'appeler *théorie artistique* (et, partant, *théorie architecturale*) un système suffisamment fort et cohérent, bien que dans une large mesure arbitraire, pour que tout artiste (respectivement, tout architecte) arrivant ensuite ne puisse faire autrement que de

s'y référer, ne serait-ce que pour s'y opposer. Difficile par exemple, après Duchamp, de faire tranquillement de la peinture ou de la sculpture sans se sentir obligé de s'en justifier. Difficile, après Le Corbusier et en général le mouvement moderne, de ne pas penser un plan d'architecture en terme de "plan libre" (quitte à le refuser). Le caractère arbitraire d'une telle *théorie* amène certains à la qualifier de dogme ou de doctrine et à lui refuser toute validité ou pertinence:

(...) nous sommes enclins à situer hors de l'architecturologie que nous visons ce qui, dans le discours, a trait à la théorie, théorie artistique constituée par un ensemble de préceptes.<sup>4</sup>

Or, si l'on peut se réjouir si cet anathème signifie que Philippe Boudon n'a pas l'intention d'imposer son propre "ensemble de préceptes" (ce qui n'a rien d'étonnant puisqu'il n'est pas lui-même architecte, ou du moins qu'il refuse de l'être quand il est en position d'*architecturologue*), il serait dommage pour lui, et pour l'architecturologie qu'il propose, de refuser à son champ de recherche les "théories" architecturales, en ne leur accordant qu'un statut de discours d'auto-justification. Après tout, ces théories sont un peu l'équivalent des diverses langues humaines (même si l'on ne peut pas pousser l'analogie trop loin), avec leur arbitraire (les règles syntaxiques étant ce qu'il y a de plus injustifiable par la raison, puisque non universel, et en même temps de plus inviolable), ce qui n'empêche pas la linguistique de les considérer comme objets d'étude valables. On constate en tout cas qu'à toutes les époques les artistes, dans tous les domaines artistiques, se sont sentis obligés d'élaborer de telles *théories*, d'y adhérer ou de s'en détacher. L'art ne consiste donc pas seulement à produire des objets, mais à mettre en place un système, que dans le meilleur des cas on appellera une *théorie*, qui correspond souvent à une vision du monde, voire à une idéologie, mais dont il ne faut pas oublier qu'elle est en grande partie arbitraire: c'est ce qui distingue l'art de la science, qui doit elle se référer à la réalité (pour les sciences "naturelles": physique, chimie, etc), ou se soumettre à des lois qu'elle a elle-même énoncées (mathématiques). Une fois mise en place cette "théorie", l'architecture consiste bien, dans une certaine mesure, à explorer l'univers des possibles offerts par cette théorie. Il en est ainsi de la théorie "organique" de l'architecture (ou plutôt de ces théories, car il y en a plusieurs): un certain nombre de postulats étant posés, quels objets d'architecture sont-ils possibles? Dans une certaine mesure toute théorie architecturale peut sembler être de l'ordre d'une obsession à la limite d'une folie totalitaire, puisqu'il n'y a aucune raison de préférer tel système à tel autre, ni surtout de l'imposer à toute l'architecture. Mais ce que l'architecturologie, ou théorie de l'architecture, ne peut ignorer, c'est qu'il est pratiquement impossible de faire de l'architecture sans commencer par mettre en place un tel système.

Le *modulor* est un exemple d'un tel système (qui n'est qu'une part (concernant seulement les dimensions, ou mesures, et proportions, à donner aux divers éléments d'un bâtiment) de ce qu'on pourrait appeler la "théorie architecturale de Le Corbusier"). Il est évident que ce système est arbitraire (quelles que soient les justifications pseudo-scientifiques avancées pour tenter de l'imposer à toute l'architecture), ni plus ni moins valable que celui moins connu de Dom van der Laan, par exemple, ou encore que celui de Schindler (basé sur les unités de mesure anglo-saxonnes). Plus exactement, un tel système régulateur est totalement arbitraire si on le considère comme un moyen pour arriver à des fins (qu'elles soient ergonomiques ou esthétiques). Par contre, un tel système est intéressant en tant

<sup>4</sup> Philippe Boudon *Introduction à l'architecturologie*, Dunod, 1992, p. 12

qu'exemple du lien fondamental, que l'on tentera d'expliciter ici (le mot-clé est le mot *abstraction*), entre la géométrie et l'architecture:

Comme la ville, les artifices, les établissements humains s'évaluaient par une abstraction de la nature, de même la maison est, selon Le Corbusier, une abstraction du corps humain mise en œuvre par la géométrie.

Je parle des méthodes de projetage que Le Corbusier a utilisées déjà dans les années 20, seulement codifiées en partie plus tard dans le *Modulor*. Mais une lecture du *Modulor* de 1950 n'explique pas les raisons et les manières de penser à l'échelle humaine. Dans les courants de l'époque il apparaît souvent comme l'effort d'une normalisation et d'une standardisation des besoins humains se référant à une science médicale, des "lois biologiques" dans le sens de son ami, le Dr Pierre Winter.

Mais la figure du *Modulor* de Le Corbusier est beaucoup plus étroitement liée à Léonard de Vinci que Le Corbusier a bien voulu le dire. Et ce recours est motivé par l'observation que la civilisation industrielle dans son ensemble perd le sens des dimensions qui avaient été déterminantes dans toute la civilisation préindustrielle. "*L'anthropocentrisme, c'est-à-dire la reprise en contact avec l'échelle humaine...la maison s'attache à nos gestes...*" (*L'esprit Nouveau en architecture*, 1925)

L'effort dans la pratique de Le Corbusier de retrouver l'échelle humaine ne se fonde pas sur l'arithmétique, les nombres et les calculs mais sur la géométrie à laquelle il redonne un message humain. L'homme peut être décrit par un carré et donc la géométrie peut avoir un contenu humain. La carré et le cercle dessinent le corps humain comme espace et comme territoire, le transforment en espace. L'architecture devient par là une "*géométrie sensible*" (expression du *Modulor*), la base d'un dialogue entre "bête" humaine et artifice à travers lequel s'élabore la sensibilité humaine.

En cela Le Corbusier va à contre-courant de son époque. Car dès la fin des années vingt et de manière accentuée dans les années 50, la géométrie se voit réduite à des chaînes de mesure arithmétique. Le quadrillage impose l'ordre de sa trame. Pour toute notre génération, c'est cela qu'a été la géométrie: une forme de rationalité arbitraire, la froideur de la grille géométrique.

La géométrie humaine, qui fut pour Léonard de Vinci la preuve d'une unité cosmique, devient l'instrument d'une humanisation où retrouver une base archaïque pour une architecture nouvelle.<sup>5</sup>

Cela dit, on aurait pu imaginer que se serait mis en place, en Occident ou dans une autre civilisation, un système de mesures absolument impérieux, aussi impérieux que celui régissant la gamme tempérée pour la musique occidentale par exemple. Dans une certaine mesure l'usage du *ken* (mesure du tatami) dans l'architecture traditionnelle japonaise est ce qui se rapproche le plus d'un tel système, encore qu'apparemment cette mesure ait subi des fluctuations régionales et historiques. Les *ordres* architecturaux dans l'architecture de l'Antiquité définissaient aussi un système auquel il fallait se plier. Des systèmes de mesures et de proportions locaux ont dû être utilisés dans l'architecture vernaculaire.

<sup>5</sup> Thilo Hilpert "La maison des hommes: leçons possibles de l'anthropocentrisme de Le Corbusier" in *Le Corbusier et la nature (rencontres des 14-15 juin 1991)*, Fondation Le Corbusier, p. 164

Une certaine standardisation de la construction amène à rencontrer dans l'architecture contemporaine ce qui pourrait apparaître comme une base commune de mesures et de proportions, mais elle n'est pas dictée par un souci théorique. Quoi qu'il en soit, on peut s'interroger sur le fait qu'aucun système n'a jamais eu la même prégnance que la hauteur des sons réglée par la gamme occidentale n'en a sur notre ouïe: quoi qu'on en dise, qu'une pièce ait les dimensions requises par la règle du modulator, par exemple, ou que ces dimensions s'en écartent de quelques centimètres, personne n'en est conscient, alors qu'une fausse note est perceptible par les plus béotiens des auditeurs.<sup>6</sup>

Ce n'est pas cette acception (une "théorie" architecturale comme équivalent d'une théorie scientifique, l'arbitraire en plus) du mot *théorie* qui est entendue généralement quand on parle de théorie de l'architecture, et ce n'est certainement pas celle qui est dans l'esprit du rédacteur de la réforme de l'enseignement de l'architecture quand il intitule un groupe de disciplines *Théorie et pratique de la conception architecturale*. Ce qui est sous-jacent à cette dénomination est l'assimilation de la *conception architecturale* (et non de l'*architecture*, quoi que cette distinction puisse signifier) à une science, qui aurait sa face *théorique*, fondamentale, désincarnée, désintéressée, et sa face *pratique*, appliquée, opérationnelle, productive. Les mathématiques elles-mêmes ont bien ce versant théorique, lorsqu'elles sont pratiquées pour elles-mêmes, et ce versant pratique, lorsqu'elles sont appliquées à un autre champ scientifique (ou non scientifique). Mais, encore une fois, les mathématiques théoriques sont bien des mathématiques, et pas un *discours sur* les mathématiques. Alors qu'il est probable que d'un enseignement de *théorie de la conception architecturale* il soit attendu un *discours sur* la conception architecturale, ses méthodes, ses courants, etc.

Il y a encore une autre interprétation du qualificatif de "théorique" appliqué à l'architecture, en opposition à celui de "pratique", et qui est spécialement liée à l'activité d'enseignement, et plus précisément à la situation d'apprentissage. On dira qu'un projet est "théorique" (voire "utopique") lorsque la commande est fictive, et le résultat sans suite concrète (situation du "travail d'atelier" dans les écoles d'architecture quel que soit l'effort pour se rapprocher d'une commande réelle et d'un rendu de type "concours"), par opposition aux projets qui, même s'ils ne se construisent pas (concours perdus ou démission du maître d'ouvrage), ont été pensés avec des contraintes réelles (budgétaires, techniques, etc). La théorie s'oppose donc là à la pratique, en tant que dégagée des contingences de la réalité concrète, comme lorsque l'on dit: "En théorie, cela marche, mais..." (sous-entendu si on essaie "vraiment", on verra bien que cela ne marche pas...). La théorie a donc là une connotation positive de liberté, voire de folie, mais aussi une connotation négative de frivolité, d'irrationalité. Dans ce sens, ce qui se fait dans une école n'est que "théorique", ne peut jamais s'appeler "pratique" puisque, si loin que l'on pousse la simulation des conditions réelles d'exécution, ce n'est jamais "pour de vrai", comme "dans la vie active". Les architectes qui n'ont pas (ou peu) construit sont souvent qualifiés d'*utopistes* ou de théoriciens:

Il serait erroné de ranger David Georges Emmerich dans la catégorie close des théoriciens parce qu'il n'a pas construit, et le séparer ainsi du champ de la construction, comme si construire une pensée n'était pas déjà développer un système architectural. Théorie et

<sup>6</sup> Cette question des systèmes de mesures et de proportions sera abordée ultérieurement.

pratique sont des "espaces corrélatifs" (M. Foucault) et non des processus étanches.<sup>7</sup>

voire d'*architectes-artistes* (cf F. Kiesler), avec toujours une petite connotation péjorative, et on en rencontre quelques-uns dans le monde de l'architecture organique qui sont d'authentiques "chercheurs en architecture".

Si l'on admet donc que d'une part l'architecture ne consiste pas seulement à produire des objets architecturaux, mais aussi à produire des "théories", et que d'autre part l'expression "recherche architecturale" peut s'entendre comme "recherche *en* architecture" aussi bien que comme "recherche *sur* l'architecture", il est légitime, à mon avis, de considérer comme *recherche architecturale* une activité de conception architecturale, dont le produit consiste en projets d'architecture relevant d'une "théorie" élaborée par leur auteur. Ce type de recherche n'est pas comprise comme telle par quelqu'un comme Philippe Boudon:

Ira-t-on chercher l'objet de la recherche architecturale - après tout - chez l'architecte? Une telle proposition, évidemment, est de nature à faire frémir les chercheurs en architecture qui ont trop souvent entendu des propos du genre "l'architecte avec son papier et son calque fait de la recherche" propos tenu depuis quelque bord politique que ce soit il faut bien le dire. Cette "recherche patiente" dont parlait Le Corbusier qui pour estimable, légitime et inéluctable qu'elle soit ne saurait être considérée comme de la recherche.<sup>8</sup>

bien que l'on puisse se demander pourquoi. N'y aurait-il (si l'on suit son raisonnement qui veut qu'il n'y ait que de recherche "sur" et pas de recherche "en") comme recherche scientifique que l'épistémologie? Cette recherche "en" architecture n'est pas incluse dans le programme du BRA. On peut le déplorer car il n'y a que peu de lieux d'expression ouverts à ce type de recherche, les revues dites d'architecture confondant malheureusement toute production bâtie ou susceptible de l'être sous le vocable unique d'architecture. Il est pourtant évident que les travaux d'un Peter Eisenman (pour prendre un exemple déjà presque entré dans l'histoire de l'architecture), qui sont bien de l'ordre de la *recherche en architecture*, ne peuvent pas se juger de la même façon qu'une ènième opération de logements à Belleville.

Pour conclure sur ce premier point, précisons qu'il s'agit bien sûr ici de recherche *sur* l'architecture, d'architecturologie, donc, voire de théorie *de* l'architecture, et non de recherche *en* architecture, qui ne peut se faire que dans un autre cadre. Et l'analogie avec les mathématiques n'a pas été choisie par hasard, puisqu'il sera assez largement question, à travers la question de la notion d'*architecture organique*, des rapports possibles entre architecture et mathématiques, ainsi d'ailleurs que des rapports de l'architecture et des mathématiques avec la nature, puisque l'architecture dite *organique* est celle qui se réfère, d'une façon ou d'une autre, aux formes naturelles. Dans ce projet de recherche, je veux donc creuser plus profondément cette question du rapport de l'architecture aux formes naturelles, et à travers elles au concept d'autosimilarité, et aux processus de croissance et de complexification. Ce premier type de travail est donc dans un mouvement allant de l'architecture vers

<sup>7</sup> Marie-Ange Brayer "Assemblages" in *David Georges Emmerich*, éd. HYX, 1997, p. 25

<sup>8</sup> Philippe Boudon "L'objet de la recherche" in *La recherche en architecture: un bilan international* Actes du colloque "Rencontres, recherche, architecture" Marseille, Nancy, Nantes, Paris, 12-13-14 juin 1984, Ed. Parenthèses, 1986, p. 72

l'organique, et vers la géométrie fractale et les grammaires formelles. Il s'agit de détecter ce qui dans l'architecture, qu'elle se revendique pour organique ou pas, est de l'ordre d'une ressemblance aux formes résultant d'un processus de croissance ou de complexification. Mais, dans un mouvement inverse, et parce que la géométrie fractale et les grammaires formelles m'intéressent depuis longtemps en elles-mêmes, pour leur beauté théorique intrinsèque, j'ai aussi entrepris un certain nombre d'expérimentations pour essayer de trouver ce qui, dans ces théories, et dans les formes qu'elles permettent d'engendrer, peut alimenter et éclairer notre regard sur l'architecture, et, espérons-le, notre création dans ce domaine. De ce double mouvement, de cet aller-retour constant, devraient émerger d'une part un nouveau point de vue sur des *figures* architecturales, et d'autre part des outils d'analyse et de création de formes, celles-ci étant entendues non comme des objets finis, instantanés, mais comme résultant d'un processus.

Le sujet peut sembler relever du paradoxal, en ceci que l'architecture n'est, *en aucun cas*, le résultat d'un processus de croissance de type organique (ceci est déjà moins strictement vrai de la ville). Cela est indéniable, mais il est tout aussi indéniable que nombre d'architectes, dans des courants et des temps très divers, ont eu recours à la métaphore organique pour décrire leur méthode ou le résultat de leur travail. Que ce soit sous la forme des proportions humaines dans l'architecture de la Renaissance, de la revendication affichée de Frank Lloyd Wright, du dessin de coquillage de Le Corbusier mis en regard de son projet de musée à croissance illimitée, des formes proliférantes de Ricardo Porro (pour ne citer que quatre exemples aussi éloignés les uns des autres que possible), les références aux formes organiques, issues d'un processus de croissance ou de complexification, sont innombrables dans l'histoire de l'architecture. L'autosimilarité (comme idée, et non comme concept strict et rigoureux) peut, au même titre que la symétrie, dont elle est d'ailleurs conceptuellement une extension, être détectée dans certaines formes architecturales, et dans presque toutes les formes urbaines. La géométrie fractale ne fournit d'ailleurs pas seulement des outils de création de formes, mais elle est aussi utilisable dans l'analyse de formes existantes, dont on peut mesurer la dimension fractale, révélatrice du processus de densification ou de complexification qui a été mis en oeuvre.

## De la spécificité de l'architecture

Puisqu'il s'agit ici de recherche sur l'architecture, donc de théorie de l'architecture, il faut en revenir à la question fondamentale: qu'est-ce qu'on fait quand on fait de l'architecture? Qu'est-ce qui caractérise fondamentalement et essentiellement l'architecture? Qu'est-ce qui est inhérent à l'architecture de la même façon que le système de filmage et de projection l'est pour le cinéma, par exemple? Quel est le résidu, l'extrait, commun à tout acte d'architecture?<sup>9</sup>

La définition d'un dedans et d'un dehors est de toute évidence ce qu'il y a de plus fondamental. Que le dedans soit inaccessible matériellement n'importe d'ailleurs pas véritablement. Il suffit qu'il y ait une possibilité imaginaire de pénétration pour qu'il y ait cet élément de définition de l'architecture: les pyramides égyptiennes relèvent bien de l'architecture, même si leur entrée était condamnée pour des siècles, les égyptiens sachant bien que là était la demeure éternelle de leurs Pharaons. Jouer avec cette notion de dedans/dehors, c'est faire de l'architecture. Limiter l'espace, le délimiter, ou donner des limites, des systèmes de limites, à l'espace, c'est faire de l'architecture. Il n'y a pas d'autre discipline qui joue le même rôle. Des artistes, non architectes, jouent parfois avec ces questions, mais alors on peut dire que, à ce moment, dans cette posture, ils *font de l'architecture*. A l'occasion de ce "jeu", sont mis en œuvre des concepts fondamentaux, qui peuvent être mathématiques. Quand il y a définition de limites, de murs, d'enceintes, peuvent se rencontrer des concepts de clôture ou d'ouverture (au sens topologique), de "lisse" ou de "plissé", de fractalité de la frontière, etc. Cela peut être l'occasion de rechercher le plus grand volume enclos dans le moins de surface possible, ou, au contraire, pour le même volume enclos, d'avoir une surface de murs tendant virtuellement vers l'infini: on peut donc distinguer des tendances opposées d'une même qualité définie (maladroitement) comme le rapport entre la limite et le volume enclos.

Mais les limites ne sont jamais absolues (sinon pour un caveau, un tombeau). Il y a un système pour entrer et sortir, et pour que la lumière, aussi, entre et sorte. D'ailleurs l'espace "parcouru" peut être différent suivant que l'on pense un parcours physique, un véritable déplacement, ou un parcours visuel. Conséquence du premier élément de définition (la limite entre le dedans et le dehors), mais aussi élément de définition à part entière, l'architecture *s'habite et se parcourt*, et elle n'est jamais susceptible d'une appréhension totale en un seul point. Elle nécessite toujours en quelque façon le recours à l'imagination et à la remémoration. Ceci ne lui est pas complètement spécifique, puisque c'est le cas de tous les arts qui se perçoivent dans la durée: la musique, le cinéma, et même la littérature. Mais la spécificité de l'architecture réside dans le *mouvement dans l'espace* qu'implique son exploration (la "promenade architecturale"),

(It was Goethe's idea that architecture ought to appeal primarily to our sense of bodily movement, and that thus a man blindfolded and led through a well-planned house should

<sup>9</sup> Ces questions, déjà initiées dans mon mémoire de DEA intitulé *Notes sur l'architecture aux limites de l'art*, mériteraient un plus large développement, et ne sont abordées ici que sous les seuls aspects pertinents au regard du thème de cette recherche.

experience a pleasure like that we feel in dancing.)<sup>10</sup>

[Trad:

(C'était l'idée de Goethe que l'architecture devrait en appeler principalement à notre sens du mouvement corporel, et que donc un homme dont on aurait bandé les yeux et qu'on mènerait dans une maison bien dessinée éprouverait un plaisir de même nature que celui qu'on éprouve en dansant.)]

dont une particularité est la relative liberté permise dans ce parcours. Même s'il y a des architectures qu'il faut parcourir d'une certaine façon (un musée avec parcours fléché par exemple), la contrainte n'est jamais aussi forte qu'en musique, par exemple, au cinéma, ou même en littérature (l'auditeur de musique et le spectateur de cinéma sont totalement sous l'emprise du déroulement de l'œuvre, le lecteur peut lire à son rythme, mais généralement il va du début vers la fin...).

D'être susceptible d'être habitée et parcourue est ce qui différencie l'architecture de la sculpture dans les cas où il peut y avoir ambiguïté:

L'habitable se définit comme un espace utilisable intérieurement, mais non habitable, dans la mesure où il n'est pas dans les intentions d'origine de l'auteur d'y intégrer les fonctions habituelles de la vie quotidienne. L'habitable concrétise cependant dans l'esprit d'André Bloc le passage de la sculpture à l'architecture puisque l'on se trouve devant les problèmes à résoudre d'utilisation intérieure et de dimension, puisque dans la perception extérieure le spectateur est tenu de recomposer personnellement la forme globale qu'il ne survole plus. Il y a refus de l'objet, il y a perception par parcours, en vues successives dont il faut faire la synthèse mentale.<sup>11</sup>

Cet *espace* (puisqu'il faut bien l'appeler ainsi, mais sans y mettre aucune connotation spéciale rattachant ce terme à l'architecture moderne) qui se parcourt est *tridimensionnel*, ce qui, il faut le rappeler, est une notion topologique, comme l'a si clairement montré Poincaré dans son article intitulé *Pourquoi l'espace a trois dimensions*. C'est-à-dire que l'espace que nous renvoient nos sens est, par obligation "fonctionnelle", en quelque sorte, tridimensionnel avant même qu'on n'y adjoigne un repère cartésien à trois coordonnées, avant même donc d'être un espace géométrique euclidien, doté d'une métrique. Cependant l'espace géométrique euclidien à trois dimensions, doté de la métrique habituelle, est le substrat le mieux adapté à notre perception de l'espace (on verra que sa remise en cause est parfois un élément d'une revendication "organique" de l'architecture). J'irais même plus loin, et je dirais que, l'homme habitant sur la Terre, un autre élément inéluctable, et souvent négligé ou mal interprété, de définition de l'architecture me semble être le fait qu'il y a une *verticalité* et une *horizontalité* (ces deux concepts n'étant pas, du point de vue mathématique, de même "dimension"); c'est-à-dire que parmi les trois axes de coordonnées (qui pour le mathématicien sont interchangeables), il y a un *axe* vertical, défini par la pesanteur, perpendiculaire au *plan* horizontal, et que cet axe est d'une autre nature que les axes cardinaux. L'homme est debout sur la Terre, bien

<sup>10</sup> Donald Hoffman *Frank Lloyd Wright, architecture and nature*, Dover publications, 1986

<sup>11</sup> Claude Parent 'Sculpture habitacle' in *BLOC Monolithe fracturé* (VIème mostra internationale d'architecture, Venise, 1996), Ed HXX AFAA, p. 36

avant<sup>12</sup> de remarquer les mouvements apparents du soleil et des étoiles ou planètes, et d'en déduire les points cardinaux. La verticalité d'un poteau ou d'un mur est inéluctable d'un point de vue constructif (à quelques exceptions près), de même que l'horizontalité d'un sol d'un point de vue pratique (à l'exception notable de l'"architecture oblique" de Claude Parent); l'imposition d'une trame orthogonale en plan (qui plus est dirigée vers les points cardinaux) est par contre un acte de volonté, une première manifestation peut-être de *théorie architecturale*. La verticalité du fil à plomb est imparable, de même d'ailleurs que l'horizontalité du plan d'eau. La définition de l'avant et de l'arrière, de la gauche et de la droite, se déduisent de notre corps, mais ils sont la conséquence de la mobilité de l'animal qu'est l'être humain: les végétaux, accrochés au sol comme l'est d'ailleurs l'objet bâti, poussent en hauteur, mais sont peu sujets à une différenciation du type de la symétrie bilatérale, sauf vents dominants excessifs (le tronc du sapin est vertical, et ses branches à peu près horizontales, mais elles poussent indifféremment dans toutes les directions de ce plan horizontal). De plus, ces définitions (avant/arrière, gauche/droite) sont liées à chaque observateur, alors que la verticalité est la même pour tous, du moins dans l'approximation de la portion de globe terrestre que l'homme est amené à envisager quand il n'est pas en satellite. La spécificité de l'axe vertical par rapport aux autres, importante dans la définition de l'architecture comme espace qui se parcourt, est bien mise en évidence par le fait qu'on ne peut que très difficilement (sauf à être acrobate, ou très récemment par rapport à la présence de l'homme sur terre, à l'aide des ascenseurs) se déplacer verticalement sans composer ce mouvement avec un mouvement horizontal: sentier en pente, rampe, escalier, etc.

Il est curieux de voir comme cette question de la verticalité est souvent mal comprise dans la littérature architecturale. Pourtant, autant l'imposition d'un système orthogonal en plan peut relever d'un choix idéologique, autant la verticale et sa perpendicularité avec le plan horizontal, si elles méritent certes d'être "jouées avec" en architecture, ne peuvent être remises en cause au nom d'une "naturalité", du rejet d'un espace artificiellement "géométrisé". Ce qui rend incompréhensible ce genre de prise de position:

(...) notre époque porte toujours la marque d'une architecture nettement antinaturelle, (...) des maisons continuent à s'élancer brutalement vers le ciel.<sup>13</sup>

De même, c'est entre autres (le problème de l'échelle jouant aussi son rôle) cette négation de la spécificité de la verticalité et de l'horizontalité qui rend choquantes, du point de vue de l'architecture, les structures polyédriques de Buckminster Fuller ou d'Emmerich: elles proviennent d'une analyse de l'espace comme *isotropique*, équivalent dans toutes les directions, ce qui va contre la perception humaine terrestre.

L'établissement de limites dans l'espace met en jeu l'érection d'une forme matérielle, et donc tous les problèmes de construction, même si la difficulté qui en découle va du négligeable à l'insurmontable. L'homme des cavernes qui installe son habitation est le précurseur d'un grand nombre de gestes architecturaux, mais son œuvre de "constructeur" est en l'occurrence pratiquement nulle. L'architecture est inéluctablement liée à la construction mais ne se confond pas avec elle. Il n'y a

<sup>12</sup> Cet "avant" est plus d'ordre cognitif qu'anthropologique...

<sup>13</sup> Frei Otto *Architecture et bionique* Delta & Spes, 1985, p. 132

d'architecture que construite, ou susceptible de l'être, mais une construction non habitable, non pénétrable, non parcourable, est-elle de l'architecture? Si la notion de parcourabilité est assez large, on pourrait inclure les ponts, ou la tour Eiffel, dans l'architecture. Mais ce qui est recherché dans une construction non architecturale c'est l'efficacité par rapport à un problème physique donné: franchir une certaine longueur avec le moins de points d'appui possible (pont), s'élever le plus haut possible (tour), etc. La construction est de l'ordre d'une science appliquée, comme l'agriculture peut l'être, pas l'architecture, qui est un art, pour lequel il n'y a pas véritablement de progrès. L'entremêlement de l'architecture et de la construction dans la plupart des œuvres bâties rend difficile cette distinction, mais elle existe bel et bien: un objet relève de la construction si la préoccupation principale est la résolution de problèmes constructifs, et leur mise en évidence (phénomènes de tension, de compression, d'équilibre, etc); il relève de l'architecture si la préoccupation principale est d'ordre architectural (dedans/dehors, manière dont cela se parcourt dans les trois dimensions, comment la limite se joue-t-elle, etc), et que c'est cela qui est mis en évidence. Bien sûr il se peut qu'une construction pensée seulement en tant que telle (et qui peut être, en cela, non seulement un ouvrage d'art, mais une véritable œuvre d'art) ménage également des surprises, bonnes ou mauvaises, du point de vue architectural; il y a des ponts suspendus dont les haubans vous aspirent dans un espace aux limites fragiles, mais belles dans leur recombinaison géométrique toujours recommencée; la tour Eiffel n'est pas qu'un immense pylone portant en son sommet une dérisoire antenne, ni même qu'un signe de reconnaissance pour touristes; on s'y balade, le jeu des ascenseurs et des escaliers permet des parcours multiples, on s'y sent en fin de compte, assez curieusement, "dans" quelque chose. Mais elle n'a pas vraiment été pensée avec ces jeux architecturaux comme finalité.

Que l'architecture n'ait découvert la notion d'espace que tardivement ne doit pas nous empêcher de penser que cette notion est essentielle pour l'architecture; en effet, comme Deleuze le dit si bien, les choses ne sont pas encore elles-mêmes en leur début, l'origine n'est pas le secret de l'essence d'une chose qui ne se découvre que dans ses transformations: au début du cinéma, au temps de la caméra fixe, il n'y avait pas encore d'image-mouvement:

On sait que les choses et les personnes sont toujours forcées de se cacher, déterminées à se cacher quand elles commencent. Comment en serait-il autrement? Elles surgissent dans un ensemble qui ne les comportait pas encore, et doivent mettre en avant les caractères communs qu'elles conservent avec l'ensemble, pour ne pas être rejetées. L'essence d'une chose n'apparaît jamais au début mais au milieu, dans le courant de son développement, quand ses forces sont affermisses.<sup>14</sup>

Mais on peut parfois découvrir rétrospectivement qu'en fait, cette essence existait bien avant de se dire.

The notion of space as an essential element of architecture must have existed in some rudimentary form from the time man first built enclosures or made structural improvements to his caves; but it is a curious fact that until the eighteenth century no architectural treatise ever used the word, whilst the idea of space as a primary quality of architectural composition was not fully developed until the last few years. What mattered to Classical

<sup>14</sup> Gilles Deleuze *L'image-mouvement* Les Editions de Minuit, 1983, p. 11

theorists, in an age which defined architecture as the art of building, was structure, and this did not necessarily imply the enclosure of space, but might equally well be a solid object such as an obelisk or a triumphal arch (where space-enclosure was non-existent or negligible). Complex sequences of inter-related courtyards and rooms, incorporating extremely subtle spatial relationships, were often built by Classical architects; but these were only discussed by theorists in terms of structure and proportions, and if the word 'space' was used at all, it was only with respect to their decorations, to indicate amorphous unproportionable surfaces, such as the blank areas of a painted ceiling, and had no three-dimensional significance whatsoever.<sup>15</sup>

[trad:

La notion d'espace comme élément essentiel de l'architecture a bien dû exister sous une forme rudimentaire à partir du moment où l'homme a pour la première fois construit des enclos ou apporté des améliorations structurelles à ses cavernes; mais c'est un fait curieux que jusqu'au dix-huitième siècle aucun traité architectural n'a jamais utilisé le mot, tandis que l'idée d'espace comme qualité primaire d'une composition architecturale ne fut complètement développée que dans les toutes dernières années. Ce qui importait aux théoriciens de l'âge classique, à une époque qui définissait l'architecture comme l'art de bâtir, était la structure, et ceci n'impliquait pas nécessairement la clôture de l'espace, mais pouvait aussi bien concerner un objet solide tel qu'un obélisque ou un arc de triomphe (où la clôture de l'espace était non-existante ou négligeable). Des séquences complexes de cours et de pièces en inter-relation, incorporant des relations spatiales extrêmement subtiles, étaient souvent construites par les architectes de l'âge classique; mais celles-ci étaient discutées par les théoriciens uniquement en termes de structure et de proportions, et si jamais le mot 'espace' était utilisé, c'était seulement à propos de leur décoration, pour indiquer des surfaces amorphes et sans proportions, telles que des zones vierges d'un plafond peint, et ce terme n'avait aucune signification tridimensionnelle d'aucune sorte.]

Un autre aspect inhérent à l'architecture, et qui lui est en grande partie spécifique, concerne les modalités du "projet". L'architecture est représentée, d'une façon ou d'une autre, avant d'être construite; on peut même aller jusqu'à dire que la construction n'est qu'une représentation parmi d'autres de l'architecture, et donc que l'architecture ne réside pas essentiellement dans l'objet construit, même si la constructibilité est une part essentielle de l'architecture. En conséquence, beaucoup de caractéristiques de l'architecture trouvent leur origine dans les moyens (même matériels) avec lesquels se fait le "design" (ce mot anglais intraduisible mais essentiel au processus architectural, et dont le sens est assez large pour pouvoir être traduit par "conception" ou par "dessin"). Les instruments de dessin, par exemple, ou leur abandon volontaire par l'architecte, jouent un rôle dans le type d'architecture ("organique" ou "rationnaliste") produite:

(...) there was no real historical precedent for the type of ugliness introduced by certain nineteenth century Revivalist architects, such as William Butterfield. In their work, ugliness was achieved partly by the deliberate distortion of traditional forms, and partly by

<sup>15</sup> Peter Collins *Changing ideals in modern architecture 1750-1950* Faber & Faber, 1965, p. 285

simply ignoring the problem of 'design' altogether. The latter technique was partly influenced, no doubt, by the current vogue for 'vernacular' buildings already mentioned; but it was facilitated by the fact that Butterfield himself possessed neither a drawing board nor a T-square, and created most of his designs from small sketches, or by personal intervention on the site. He was thus a pioneer of what in recent years has been called 'Action Architecture'; that is to say, architecture which is left to find its own organic order without too much human forethought or graphic research.<sup>16</sup>

[Trad:

(...) il n'y avait pas vraiment de précédent historique au type de laideur introduit par certains architectes 'revivalists' du dix-neuvième siècle, tels que William Butterfield. Dans leur œuvre, la laideur était atteinte en partie par la distorsion délibérée de formes traditionnelles, et en partie en ignorant purement et simplement le problème du 'dessin'. Cette dernière technique fut en partie influencée, sans aucun doute, par la vogue en cours pour les édifices 'vernaculaires' déjà mentionnée; mais elle fut facilitée par le fait que Butterfield lui-même ne possédait ni planche à dessin ni té, et créait la plupart de ses projets à partir de petits croquis, ou par une intervention personnelle sur le site. Il était en ce sens un précurseur de ce que dans les dernières années on a appelé 'Action Architecture'; c'est-à-dire, une architecture qu'on laisse trouver son propre ordre organique sans trop de prédétermination humaine ou de recherche graphique.]

La manière de dessiner, la préférence pour les croquis un peu flous (comme chez Alvar Aalto, par exemple) dont la matérialisation en architecture construite est laissée à une équipe ou à un assistant, constitue une caractéristique d'un certain nombre d'architectes "organiques". Le problème de l'échelle à laquelle on dessine, jusqu'à laquelle on va étudier les détails, peut aussi contribuer à distinguer entre différentes façons d'aborder le projet d'architecture:

Whereas in the traditional teaching of the Ecole des Beaux-Arts, most of the time spent on a project was devoted to 'study' - that is to say, to developing a composition by refining it and adjusting its details - the last century has seen the growth of a tendency to consider that a composition loses its spontaneity if studied too carefully, and as a result, many contemporary buildings look like small-sketches blown up to full size. (...) it is very evident that a world of difference exists between small-scale photographs of, say, the Chase-Manhattan Bank in New York and the building itself, for the former look so rich and the latter so barren and empty; and there can be few visitors, even devoted admirers of Skidmore, Owings and Merrill, who have not nostalgically compared the opulence of the various nineteenth century banks surrounding it with the bleakness of its own details, and regretted that the sincere expression of structure and materials has not provided something more substantial to caress the eye.<sup>17</sup>

[Trad:

Alors que dans l'enseignement traditionnel de l'Ecole des Beaux-Arts, la plus grande partie du temps passé sur un projet était consacrée à l' 'étude' - c'est-à-dire, à développer une

<sup>16</sup> Peter Collins *Changing ideals in modern architecture 1750-1950* Faber & Faber, 1965, p. 245

<sup>17</sup> Peter Collins *Changing ideals in modern architecture 1750-1950* Faber & Faber, 1965, p. 250-251

composition en la raffinant et en ajustant ses détails - ce dernier siècle a vu l'émergence d'une tendance à considérer qu'une composition perd sa spontanéité si on l'étudie trop soigneusement, et en conséquence, de nombreux bâtiments ressemblent à des croquis agrandis à l'échelle. (...) il est totalement évident qu'il y a un monde de différence entre des photographies à petite échelle de, disons, la Banque Chase-Manhattan à New York et le bâtiment lui-même, car celles-là semblent si riches et celui-ci si aride et vide; et il ne peut y avoir que peu de visiteurs, même s'ils sont de fervents admirateurs de Skidmore, Owings et Merrill, qui n'aient pas comparé l'opulence des diverses banques du dix-neuvième siècle qui l'entourent avec la désolation de ses propres détails, et regretté que l'expression sincère de la structure et des matériaux n'ait pas procuré quelque chose de plus substantiel pour caresser l'œil.]

Il est évident que les formes naturelles, par force, sont "étudiées" jusque dans les détails, que le processus qui donne la texture d'une surface, par exemple, est du même ordre, de même nature, que celui qui génère la forme entière, et donc qu'il y a une richesse à toutes les échelles dans les formes de la nature que l'on ne peut que retrouver difficilement dans les formes créées par l'homme (à moins que par l'usage de certains matériaux, par exemple, il laisse à la nature le rôle de fournir la richesse des détails).

L'usage de l'ordinateur va sans doute redonner une vigueur nouvelle à l'étude dans les détails d'un projet. En effet, pour un dessin sur ordinateur, il n'y a aucune difficulté à passer constamment d'une échelle à une autre (la notion d'échelle n'est que très relative en CAO), alors que dans le dessin d'architecture traditionnel, le travail "à une certaine échelle" correspond à une certaine phase du projet, et le passage d'une échelle à une autre nécessite un gros effort. D'autre part, on sait bien maintenant que l'ordinateur ne limite pas du tout l'architecte quant à la complexité des formes qu'il désire dessiner, qu'il lui offre au contraire une grande liberté. C'est ainsi qu'aujourd'hui grâce à l'ordinateur, au Japon (ce pays où se réalisent les utopies architecturales quelles qu'elles soient), on peut enfin (du point de vue de ces architectes...) bâtir concrètement des maisons véritablement "amorphes" ou "biomorphes" telles que Bloc ou Kiesler en avaient rêvées, sans jamais parvenir à les réaliser, ou alors avec de grandes difficultés:

USHIDA•FINDLAY PARTNERSHIP

TRUSS WALL HOUSE

Machida, Tokyo

The architects, Eisaku Ushida and Kathryn Findlay, seek to explore a fundamental relationship between the human body, its surroundings, space and perceptions. They integrate physical and sensory experiences aiming for what may be called 'cultural minimalism'. By working with the most primal forms and volumes (monochromatic and amorphous), and through continuous dialogue, the architects re-examine the interface between the consciousness and subconsciousness.

The Truss Wall House is named after a patented system of building compound-curve concrete. The commissioning brief allowed the architects to investigate the unexplored potential within the structural integrity, to create an open landscaped house which

maximised the available site area - a slim and economic biomorphism. The architects were therefore asked to design a house on a small, awkwardly shaped site, in a difficult location in an exurb of Tokyo.

The house is curved and vertically sliced (by CAD) every 20 cm. A truss was formed to the shape by bending reinforcing bars. These trusses are welded together laterally and covered with a fine wire mesh. Concrete is then poured into the hollow space between the trusses.

The design started by establishing a system which investigated the comfortability of the thermal environment - a thermodynamic organ. This was done with the use of a double-skin wall with insulation material, air cavities to exploit geothermal and solar heat and an earth layer on the roof garden which moderates the indoor temperature to a stable level.

Modernism has always rejected a malleable architectural material which can be formed to any shape; however, this building method presented the architects with a legitimate opportunity to industrially fabricate free-form concrete.

The house is a critique of Japanese urbanism, visually linked to the topography of the surrounding hills rather than the buildings in the street, *ergo* triggering a new consciousness in the city for both architects and local residents.<sup>18</sup>

[Trad:

USHIDA•FINDLAY ASSOCIES

TRUSS WALL HOUSE

Machida, Tokyo

Les architectes, Eisaku Ushida et Kathryn Findlay, cherchent à explorer une relation fondamentale entre le corps humain, son milieu, l'espace et les perceptions. Ils intègrent des expériences physiques et sensorielles dans la recherche de ce qu'on peut appeler un 'minimalisme culturel'. En travaillant avec les formes et volumes (monochromes et amorphes) les plus primaires, et à travers un dialogue continu, ces architectes ré-examinent l'interface entre le conscient et le subconscient.

La 'Truss Wall House' est nommée d'après un système breveté de construction en béton selon des courbes complexes. Le procédé a permis aux architectes d'explorer le potentiel encore méconnu de l'intégrité structurelle, pour créer une maison ouverte et paysagère qui utilise au mieux la portion de terrain allouée - un biomorphisme svelte et économique. On demanda donc aux architectes de dessiner une maison sur un terrain petit, de forme bizarre, dans un site difficile dans la banlieue de Tokyo.

La maison est courbée et découpée en tranches verticales (par CAO) tous les 20 cm. Un 'bâti' a été mis en forme selon la courbe en ployant des barres de renforcement. Ces bâtis sont ensuite soudés ensemble latéralement et recouverts d'un fin grillage. On coule enfin le béton dans le creux entre les bâtis. La conception a démarré en établissant un système qui cherchait à améliorer le confort de l'environnement thermique - un organe thermodynamique. Cela fut réalisé en utilisant un mur en double peau avec un matériau isolant, des cavités d'air pour tirer parti de la chaleur solaire et géothermique et une couche de terre en toit-jardin qui maintient la température intérieure à un niveau stable.

---

<sup>18</sup> in *Architectural Design Profile N°110 Aspects of minimal architecture*, 1994, p. 84

Le modernisme a toujours rejeté un matériau architectural malléable qui puisse se prêter à n'importe quelle forme; cependant, cette méthode de construction a donné aux architectes une opportunité légitime pour fabriquer industriellement du béton de forme libre.

La maison est une critique de l'urbanisme japonais, elle est liée visuellement à la topographie des collines environnantes plutôt qu'aux autres bâtiments de la rue, ergo elle déclenche une nouvelle conscience dans la cité à la fois pour les architectes et pour les résidents.]

## Du rapport entre l'architecture et les mathématiques

Les arts comme les sciences étant des activités créatrices tendues entre le pôle de l'invention et celui de la découverte, le rapport entre l'architecture et les mathématiques, comme entre n'importe quelle forme d'expression artistique et les mathématiques, tient du partage (puisque ces activités sont des reflets de ce qu'il y a de fondamental dans l'esprit humain) et de la plus totale disjonction (puisque il n'y a rien de commun, quant au résultat, entre faire de l'architecture et faire des mathématiques, entre l'objet d'architecture (même théorique), et l'objet mathématique).

Ce qui m'intéresse, ce sont les rapports entre les arts, la science et la philosophie. Il n'y a aucun privilège d'une de ces disciplines sur une autre. Chacune d'entre elles est créatrice. Le véritable objet de la science c'est de créer des fonctions, le véritable objet de l'art c'est de créer des agrégats sensibles et l'objet de la philosophie, créer des concepts. A partir de là, si l'on se donne ces grosses rubriques, aussi sommaires soient-elles: fonction, agrégat, concept, on peut formuler la question des échos et des résonances entre elles. Comment est-il possible que, sur des lignes complètement différentes, avec des rythmes et des mouvements de production complètement différents, comment est-il possible qu'un concept, un agrégat et une fonction se rencontrent?

Premier exemple: il y a, en mathématiques, un type d'espace appelé espace riemannien. Mathématiquement très bien défini, en rapport avec des fonctions, ce type d'espace implique la constitution de petits morceaux voisins dont le raccordement peut se faire d'une infinité de manières et cela a permis, entre autres, la théorie de la relativité. Maintenant, si je prends le cinéma moderne, je constate qu'après la guerre apparaît un type d'espace qui procède par voisinages, les connections d'un petit morceau avec un autre se faisant d'une infinité de manières possibles et n'étant pas prédéterminées. Ce sont des espaces déconnectés. Si je dis c'est un espace riemannien, ça a l'air facile et pourtant c'est exact d'une certaine manière. Il ne s'agit pas de dire: le cinéma fait ce que Riemann a fait. Mais si l'on prend uniquement cette détermination de l'espace: voisinages raccordés d'une infinité de manières possibles, voisinages visuels et sonores raccordés de manière tactile, alors, c'est un espace de Bresson. Alors, bien sûr, Bresson n'est pas Riemann, mais il fait dans le cinéma la même chose qui s'est produite en mathématiques et il y a écho.<sup>19</sup>

Il n'y a pas vraiment d'emprunts aux mathématiques, de métaphore ou d'analogie, si l'on envisage ces figures comme allant d'un domaine vers un autre, mais l'architecture, en tant qu'art, est un moyen, parmi d'autres, de *concrétisation* de concepts fondamentaux forgés (ou explorés?) par l'esprit humain, un moyen de les rendre perceptibles sous forme d'"agrégats sensibles", de les faire "toucher du doigt"; ces concepts pouvant aussi être explorés (ou forgés?) pour eux-mêmes dans cette discipline intellectuelle fondamentale qu'est la science mathématique.

La position des mathématiques n'est pas de préséance parce que l'art ne se déduit pas des résultats

<sup>19</sup> Gilles Deleuze in *L'autre journal* mensuel N°8, oct. 1985, repris sous le titre 'Les intercesseurs' dans *Pourparlers*, Les Editions de Minuit, 1990, p. 168-169

mathématiques, qu'il en est encore moins l'application ou l'illustration, mais c'est tout de même une position particulière parce que les mathématiques (qui s'approchent en cela souvent de la philosophie; après tout, la logique est une discipline qui tient des deux) sont au plus près du fonctionnement même de l'esprit humain.

Si l'on cherche un lien intuitif entre la peinture et les sciences exactes, c'est vers les mathématiques qu'il faut se tourner: les concepts mathématiques résument notre expérience primordiale du réel.

(...)

Les mathématiques créent et explorent les structures que les sciences exactes appliquent au réel. Elles constituent aussi (...) un réservoir d'images intuitives que l'artiste peut retrouver, à sa manière, car il s'agit d'intuitions, telle celle d'espace, qui appartiennent à un domaine plus large que celui de la science, qui exprime la quintessence de nos expériences sur le réel, qui en contiennent implicitement l'axiomatique.<sup>20</sup>

Des concepts mathématiques sont présents dans la conception d'une œuvre d'art sans forcément que cela soit conscient chez l'artiste lui-même. Et cela n'a d'ailleurs pas à être compris intellectuellement par le destinataire non plus. La musique, par exemple, s'appuie souvent sur des structures mathématiquement assez complexes, qui sont manipulées "naturellement", "naïvement" par le musicien, et qui n'ont pas à être décryptées par l'auditeur pour qu'il jouisse de cette musique. Mon hypothèse est que, cependant, il est captivé par telle musique (du moins en partie, d'autres facteurs intervenant dans l'esthétique musicale) parce qu'inconsciemment, par l'intermédiaire de son sens auditif, elle éveille en lui une possibilité de participer à ce monde mathématique mystérieux.

On pourrait se demander si cette idée, de la présence de concepts mathématiques fondamentaux dans les arts, implique l'hypothèse d'un monde conceptuel sous-jacent, l'hypothèse d'une abstraction fondamentale de l'esprit humain. Dans cette conception (anti-phénoménologique, peut-être, encore que les concepts proviennent au départ d'une lecture perceptive du monde matériel; platonicienne si on veut, mais ni spiritualiste ni métaphysique) le monde matériel est un obstacle, ou tout au moins un filtre, donc finalement un *écran* (aux deux sens du terme), interposé entre nous et ce monde conceptuel, écran cependant indispensable puisque notre corps (et donc notre perception) est bien matériel lui aussi. Le plaisir naît sans doute d'ailleurs du *décalage* qui existe entre le concept et sa mise en œuvre matérielle, sa mise en *forme*. Peut-être y a-t-il d'autant plus de plaisir que ce qui est à décrypter est mieux voilé. L'amour platonique suffit peut-être à certains, mais il faut un vrai contact avec les choses pour jouir, même si l'on sait bien que l'imaginaire joue un grand rôle dans la jouissance.

On peut constater que des concepts mathématiques très simples sont à l'œuvre dans la conception architecturale. On voit Le Corbusier s'interroger sur la parité ou la non-parité du nombre de travées du Palais du Gouverneur à Chandigarh... Cela peut sembler pourtant ne pas avoir d'importance en termes purement architecturaux. Le fait qu'un nombre entier soit pair ou impair est strictement d'ordre

<sup>20</sup> Jacques Mandelbrojt *Les cheveux de la réalité; autoportraits de l'art et de la science*, Alliage, 1991, p. 45 et p. 54

mathématique. Cependant, l'imparité amène à avoir une travée centrale, par exemple, alors que la parité ne le permet pas. La parité (ou la non-parité), exprimée en architecture, prend donc *corps* différemment qu'exprimée en poésie par exemple (on se souvient du célèbre "préfère l'impair" de Verlaine), où c'est plutôt la possibilité ou l'impossibilité de séparer le vers en deux hémistiches bien balancés qui sera primordiale. La parité, comme la symétrie, ou le rapport des parties au tout, sont des concepts que l'on peut qualifier de mathématiques puisque les mathématiques les étudient (les explorent ou les inventent...) en-dehors de toute concrétisation et qui peuvent être concrétisés de manière spécifique à chaque art.

L'hypothèse sous-jacente, et qui constitue le cadre du projet plus précis engagé ici, est la suivante: des concepts mathématiques autres que ceux largement identifiés jusqu'à présent seraient à l'œuvre aussi dans la conception architecturale. Il s'agit donc d'explicitier les rapports entre concepts architecturaux et concepts mathématiques, ces derniers pouvant être simulés par des algorithmes, et visualisés en image de synthèse.

Mais il faudrait préciser déjà ce que l'on entend par "concept mathématique". On peut prendre un exemple très simple: le *cercle* est un objet mathématique abstrait, défini comme l'ensemble des points du plan situés à égale distance d'un point appelé centre. Il est évident par ailleurs que la *figure* du cercle a généré toute une série d'idées spatiales en architecture. On pourrait étudier toutes les occurrences de la figure du cercle en architecture, en référence à cet objet mathématique abstrait qu'est le cercle. Comme on ne s'arrêtera pas bien sûr aux figures géométriques, on parlera plus généralement de concepts (le concept de symétrie, par exemple, défini rigoureusement en mathématiques). Il s'agirait donc d'étudier ce qu'on peut encore appeler *figures architecturales* même si les référents ne sont pas que des *figures* de géométrie.

Plus précisément, et pour entrer dans le vif du sujet, le concept d'*autosimilarité*, par exemple, tel que défini assez récemment par la géométrie fractale, serait tout aussi présent, quoique de manière moins consciente, dans l'esprit des architectes, que celui de *symétrie*, dont il n'est pas nécessaire de redire l'importance et même le caractère fondamental, peut-être même paradigmatique, pour l'architecture. Or l'*autosimilarité* est une caractéristique de nombre de formes naturelles, pas forcément vivantes (les nuages et les montagnes ne sont pas des êtres vivants, et sont cependant des exemples presque parfaits d'objets autosimilaires), mais en tout cas *résultant* d'un *processus* de croissance, ou plus généralement de complexification. L'architecture, qu'elle se revendique comme organique ou pas, mais qui se réfère aux formes de la nature, entretient donc sans doute plus fondamentalement, on peut en tout cas le supposer, un rapport avec ce concept d'*autosimilarité*

Puisqu'il s'agit d'étudier ce qu'on peut appeler des figures architecturales, cette recherche est d'ordre "architecturologique", même si elle part ouvertement d'une opposition à la critique faite par Philippe Boudon de l'application des "figures scalantes" à l'architecture,

C'est surtout la question de l'"application" d'un savoir scientifique élaboré ailleurs qu'en architecture qui doit faire l'objet d'une vigilance spéciale de la part de l'architecturologie. Au

lieu d'appliquer les figures scalantes à l'architecture il [sic: *probablement l'architecturologie*] cherchera à savoir si l'argumentation architecturologique qui veut que l'architecture ne soit pas la géométrie continue à faire sens au regard des figures dites *scalantes*.<sup>21</sup>

et d'ailleurs au

postulat de l'architecturologie qui veut que l'espace du géomètre soit par nature inadéquat à rendre compte de l'espace de conception architectural.<sup>22</sup>

Une motivation de départ de cette recherche est une discussion et une remise en cause de ce postulat, suivant l'argumentation suivante: il ne s'agit en aucun cas d'*appliquer* un quelconque concept extérieur à l'architecture à la conception architecturale, mais de voir en quoi l'architecture, comme activité intellectuelle et artistique humaine, permet de jouir de concepts qui sont "élaborés ailleurs", et de prouver que "l'espace du géomètre", qui est une forme d'appréhension par l'esprit humain de la notion d'espace (la plus abstraite sans doute), trouve dans "l'espace de conception architecturale" un terrain de concrétisation:

L'expression [de Le Corbusier] "*l'esprit se manifeste par la géométrie*" ne veut que décrire une capacité de la "bête" humaine par laquelle elle s'oriente, prévoit et construit dans un univers dont elle fait partie. Un outil de travail comme la ville par lequel se relativisent chaos et ordre: l'homme "*commande à sa bête par son intelligence*", "*la nature se présente à nos yeux sous une forme chaotique*", "*nous rejetons donc l'aspect des choses pour nous attacher à ce que les choses sont*" (*Urbanisme*, p. 6, 23).

La géométrie est l'instrument d'abstraction par lequel se transforme le point de vue humain dans une intelligence qui crée des artifices: "*n'ayant plus rien des aspects de la nature mais ayant avec celle-ci des lois communes*" (*Urbanisme*, p. 23). Aussi cela est spécifique dans l'architecture du XXème siècle, qu'il explique d'une telle manière la base et le but de la capacité architecturale: que l'esprit se manifeste par une capacité d'abstraction. Et que l'évolution de la géométrie, il insiste sur cette anthropologie historique, fait d'élément de l'évolution humaine.<sup>23</sup>

<sup>21</sup> Philippe Boudon *Introduction à l'architecturologie* Dunod, 1992, p. 118

<sup>22</sup> Philippe Boudon *Introduction à l'architecturologie* Dunod, 1992, p. 193

<sup>23</sup> Thilo Hilpert "La maison des hommes: leçons possibles de l'anthropocentrisme de Le Corbusier" in *Le Corbusier et la nature (rencontres des 14-15 juin 1991)* Fondation Le Corbusier, p. 162

## De l'architecture organique

We don't use the word organic as referring to something hanging in a butcher shop you know.<sup>24</sup>

[Trad:

Nous n'employons pas le mot organique comme se référant à quelque chose de suspendu à un étal de boucher vous savez.]

Comment intervient l'idée d'*organique* dans l'architecture, dans ce qui fait sa spécificité, et dans ses rapports avec les mathématiques? Il est inutile de revenir sur une analyse exhaustive de la métaphore biologique en architecture, analyse qui a été magistralement menée par Peter Collins dans *Changing ideals in modern architecture 1750-1950* et à laquelle je renvoie le lecteur. Ce qui m'intéresse plus spécialement dans la métaphore organique (si d'ailleurs il s'agit de métaphore), c'est la référence à la notion de croissance, ou de complexification, inhérente à toutes les formes de la nature, qu'elles soient organiques à strictement parler, ou cristallines, qu'elles soient vivantes ou pas.

Peter Collins use de son ton sarcastique le plus affuté pour rendre compte de la difficulté inhérente à la définition de l'architecture "organique":

What Wright has meant by 'Organic Architecture' has not always been clear; Sigfried Giedion goes so far as to contend (with good justification) that he was unable to explain the term himself. The difficulty is that for Wright it meant so much: crystalline plan forms, the possibility of growth by asymmetrical addition, the relationship of composition to site and client, the use of local materials, the individuality of every created thing, the need for every artist to endow his work with the integrity of his innermost being, and so on. But primarily it meant for him a *living* architecture; an architecture in which useless forms were sloughed off as part of the process of a nation's growth, and in which every composition, every element and every detail was deliberately shaped for the job it had to perform. With this interpretation no one can take exception, and perhaps the safest thing to say of the Biological Analogy is that it is simply a more poetic expression of Perret's ideal of *L'Architecture Vivante*.<sup>25</sup>

[Trad:

Ce que Wright a voulu dire par 'Architecture Organique' n'a pas toujours été clair; Sigfried Giedion va même jusqu'à affirmer (avec assez de justification) qu'il était incapable lui-même d'expliquer le terme. La difficulté est que pour Wright ce terme signifiait tellement de choses: des formes cristallines en plan, la possibilité de croissance par addition asymétrique, la relation de la composition avec le site et le client, l'utilisation de matériaux locaux, l'individualité de toute chose créée, le besoin pour tout artiste de marquer son œuvre de l'intégrité de son être intérieur, etc. Mais fondamentalement, cela signifiait pour lui une *architecture vivante*; une architecture dans laquelle les formes inutiles étaient rejetées

<sup>24</sup> Frank Lloyd Wright *The future of architecture* Horizon Press, 1953, p. 13

<sup>25</sup> Peter Collins *Changing ideals in modern architecture 1750-1950* Faber & Faber, 1965, p. 156

comme déchet dans le processus de la croissance d'une nation, et dans laquelle chaque composition, chaque élément, chaque détail, était délibérément mis en forme en vue de la tâche qu'il avait à accomplir. Nul n'échappe à une telle interprétation, et peut-être la chose la plus sûre que l'on puisse dire de la Métaphore Biologique est que c'est simplement une expression plus poétique de l'idéal de Perret de *L'Architecture Vivante*.]

Quand on examine de plus près les écrits de Frank Lloyd Wright, en particulier, on se rend compte que pour lui le terme d'organique est essentiellement philosophique,

Organic means intrinsic - in the philosophic sense, entity - (...).<sup>26</sup>

[Trad: Organique veut dire intrinsèque - dans le sens philosophique, entité - (...).]

voire métaphysique,

Has this modern restlessness anything to turn to? Has it recourse? Yes. Organic architecture with its sense of structure, the sense of the whole, is one great recourse. Religion might be another. These two, now as always.<sup>27</sup>

[Trad: Cette agitation moderne a-t-elle quelque chose vers quoi se tourner? A-t-elle un recours? Oui. L'architecture organique avec son sens de la structure, le sens du tout, est un immense recours. La religion pourrait en être un autre. Ces deux-là, maintenant comme toujours.]

et rejoint cet autre sens que l'on trouve dans le dictionnaire, à savoir:

ORGANIQUE adj, 3.b. Se dit d'un ensemble qui forme un tout.<sup>28</sup>

ou encore, cette analyse de la notion d'organique en architecture:

In architecture structure is drawn within things. As Bataille has suggested, architecture is the locale where the universality of geometry binds the base matter of architectural bodies. The regulating lines of architectural orders make a connection to the world as a whole, but also to the specific morphological characteristics of forms. Spatial types are involved in the practice of originating families of form (as in the constitution of 'species' such as Wittkower's brood of [Palladio's] villas). Architectural types organise amorphous matter. Architectural proportion, moreover, achieves the transcendental status of an abstract, holistic and organic body. It adopts the logic of an organism, which is above and beyond either mathematics or matter. What distinguishes harmonic proportion from mathematical measure is the value granted to specific ratios based on the symmetrical unity of all parts to a whole. The terms *organic*, *organism* and *organisation* can be used interchangeably to the extent that they all delimit things which are *whole* - that is, containing both a rigid external boundary, 'to which nothing can be added or subtracted without jeopardising the balance of the composition', and an interior space closed to the unpredicted and contingent influences of external forces. It is important to qualify these ideal bodies as whole to the fullest extent, complete to the point of exclusion. This organic logic of proportion is already embedded

<sup>26</sup> Frank Lloyd Wright *The future of architecture* Horizon Press, 1953, p. 13

<sup>27</sup> Frank Lloyd Wright *The future of architecture* Horizon Press, 1953, p. 63

<sup>28</sup> petit Larousse illustré, 1990

within architecture's interior.<sup>29</sup>

[Trad:

En architecture, la structure est dessinée dans les choses. Comme Bataille l'a suggéré, l'architecture est le lieu où l'universalité de la géométrie rejoint la matière vile des corps architecturaux. Les tracés régulateurs des ordres architecturaux établissent une connection avec le monde comme tout, mais aussi avec les caractéristiques morphologiques spécifiques de la forme. Les types spatiaux sont impliqués dans la pratique d'instituer des familles de formes (comme dans la constitution d'"espèces" telles que la "fratrie" de villas [de Palladio] par Wittkower). Les types architecturaux organisent la matière amorphe. La proportion architecturale, de plus, complète le statut transcendantal d'un corps abstrait, holistique et organique. Elle adopte la logique d'un organisme qui est au-dessus et au-delà aussi bien des mathématiques que de la matière. Ce qui distingue la proportion harmonique de la mesure mathématique est la valeur accordée à des ratios spécifiques basés sur l'unité symétrique de toutes les parties par rapport au tout. Les termes *organique*, *organisme* et *organisation* peuvent être utilisés de manière interchangeable dans la mesure où ils délimitent tous des choses qui sont *entières* - c'est-à-dire, contenant à la fois une frontière externe rigide, 'à quoi rien ne peut être ajouté ou retiré sans mettre en péril l'équilibre de la composition', et un espace intérieur fermé aux influences imprévisibles et contingentes des forces externes. Il est important de qualifier ces corps idéaux d'entiers dans le sens le plus plein du terme, de complets jusqu'à l'exclusion. Cette logique organique de proportion est déjà incluse dans l'intérieur de l'architecture.]

Cette définition philosophique de la notion d'organique qui s'interroge sur la notion de "tout", sur le rapport des parties au tout, sur la "complétude" d'une forme, rejoint la question du rapport de l'architecture aux mathématiques, et aux concepts fondamentaux. Ainsi, si l'on poursuit l'une des définitions données par Frank Lloyd Wright du terme *organic*, on lit:

Organic means intrinsic - in the philosophic sense, entity - wherever the whole is to the part as the part is to the whole (...).<sup>30</sup>

[Trad:

Organique veut dire intrinsèque - dans le sens philosophique, entité - où le tout est à la partie comme la partie est au tout (...).]

Dans la théorie fractale aussi la question du rapport des parties au tout est fondamentale, et il sera intéressant de confronter cette exigence à la notion d'autosimilarité, même si je n'ai pas la naïveté de penser qu'il y a une relation simple entre les deux idées.

Il y a un lien entre le fait qu'une forme donne l'impression de constituer un tout, et non d'être le résultat d'un assemblage, et le fait que cette forme soit le résultat d'un processus de croissance. La plupart des formes qui "poussent" sont en effet "complètes" à tous les stades de leur croissance: un

<sup>29</sup> Greg Lynn "Multiplicitous and in-organic bodies" in *Architectural Design Profile* N°106 *Organic architecture*, 1993, p. 31

<sup>30</sup> Frank Lloyd Wright *The future of architecture* Horizon Press, 1953, p. 13

enfant est aussi "complet" qu'un adulte, même si ses proportions sont différentes. Par contre certaines formes qui croissent par prolifération (les cristaux, par exemple) ne donnent pas cette même impression de complétude, de tout auquel on ne peut rien ajouter ou retirer. Ces formes cristallines sont pourtant mises à contribution dans certains types d'architecture que l'on peut qualifier d'organiques:

L'architecture se rapproche ainsi d'un réseau cristallin marqué par la contiguïté et la répétitivité d'un même élément invariable. Emmerich écrit à propos de Le Ricolais: "Les coquillages, les radiolaires, les cristaux sont autant d'exemples de voiles, de réseaux et d'ossatures qu'il essaie de traduire dans [ses] projets." Déjà, pour Le Ricolais, les réseaux cristallins étaient abordés comme des structures habitables, et Emmerich tenta d'aboutir [sic] dans ses projets cette architecture de la cristallographie dont l'histoire est déjà longue: des corps idéaux du Timée de Platon aux polyèdres de la Renaissance où réside l'Univers, des agrégats modulaires de J. N. L. Durand aux formes cristallines de Grandville, jusqu'au Pavillon de verre de Bruno Taut pour l'exposition du Werkbund en 1914, sans oublier Feininger ou Paul Scheerbarth qui souhaitait transformer la terre en "entité de cristal", l'utopie du cristallin traverse l'architecture.<sup>31</sup>

La recherche de la "complétude" d'une forme peut passer par la volonté de laisser cette forme se faire "d'elle-même". Dans la notion de "structure autotendante", par exemple, il y a l'idée d'une auto-définition de la forme, qui ne devient telle qu'elle est que par son bon vouloir à elle, par le respect des lois de la géométrie tridimensionnelle (notions de "géodésie") et de la topologie (cette "science de la structure de la structure", selon Le Ricolais), et des matériaux qui la composent (entrant le plus clairement possible dans l'une des deux catégories les plus étanches possible de réponse à la "traction" et à la "compression"):

Inspiré par l'étude des radiolaires, dont il s'étonnait qu'ils n'intéressaient que les zoologistes, ainsi que par l'ouvrage fondamental de D'Arcy Thompson, *Growth and Form*, publié dans les années quarante, Le Ricolais détermina à partir de travaux sur le film de savon ce qu'il appela une "méthode de l'image", à savoir une extension de la statique graphique aux réseaux tridimensionnels à travers l'"automorphisme", au sein duquel la forme se répète à l'infini selon ses lois propres de croissance, à l'instar d'une toile d'araignée. La structure est morphogénèse, autoconstruction.<sup>32</sup>

De même, chez Hugo Häring, qui était le mentor de Hans Scharoun, on trouve cette idée de laisser la forme se trouver elle-même:

We must call on things and let them unfold their own forms. It goes against our nature to impose forms on them, to determine them from without, to force upon them laws of any kind, to dictate to them. We acted wrongly in making them a display of historic demonstrations, and we acted equally wrongly when we made them the objects of our individual whims. We also act wrongly when we force a return to geometric or crystalline

<sup>31</sup> Marie-Ange Brayer "Assemblages" in *David Georges Emmerich*, éd. HXX, 1997, p. 11

<sup>32</sup> Marie-Ange Brayer "Assemblages" in *David Georges Emmerich*, éd. HXX, 1997, p. 11

base figures, because this always means dictatorship (*Corbusier*). Geometric base figures are not original forms (*Urformen*), nor are they *Urgestalten*. Geometric base-figures are abstractions, derived lawlikenesses. The unity which we achieve in many things on grounds of geometric figures is only a unity of form, not a unity in terms of life.<sup>33</sup>

[Trad:

Nous devons faire appel aux choses et les laisser déplier leur propres formes. Cela va contre notre nature de leur imposer des formes, de les déterminer de l'extérieur, de forcer sur elles des lois de quelque sorte que ce soit, de leur donner des ordres. Nous avons eu tort d'en faire un étalage de démonstrations historiques, et nous avons également eu tort d'en faire les objets de nos lubies individuelles. Nous avons aussi tort quand nous imposons un retour à des figures de base géométriques ou cristallines, parce que cela signifie toujours une volonté dictatoriale (*Le Corbusier*). Les figures de base géométriques ne sont pas des formes originelles (*Urformen*), ni des *Urgestalten*. Les figures de base géométriques sont des abstractions, dérivées de l'obéissance à des lois. L'unité que nous obtenons dans maintes choses sur la base de figures géométriques est seulement une unité de forme, pas une unité en termes de vie.]

On trouve aussi dans la géométrie fractale un pendant de cette idée. En effet une figure fractale s'"auto-engendre", elle ne trouve ses lois qu'en elle-même.

Le rapport des parties au tout peut s'établir selon une certaine échelle de complexité (le tout est plus complexe que chacune de ses parties):

SOCRATE Et, moitié courant, je raisonnais ainsi: un arbre chargé de feuilles est un produit de la nature. C'est un édifice dont les parties sont les feuilles, les branches, le tronc et les racines. Je suppose que chacune de ces parties me donne l'idée d'une certaine complexité. Je dis maintenant que l'ensemble de cet arbre est plus complexe que l'une quelconque de ses parties.

PHÈDRE Ceci est évident.

SOCRATE Je suis bien loin de le penser. Mais j'avais à peine dix-huit ans, et je ne connaissais que certitudes! - L'arbre, donc, comprenant telles et telles parties, comprend et assume toutes leurs diverses complexités; et il en est de même d'un animal, dont le corps tout entier est chose plus complexe que le pied, ou que la tête, puisque la complexité du tout comprend en quelque sorte, comme parties, les complexités des diverses parties.

PHÈDRE Le fait est, cher Socrate, que l'on ne peut guère concevoir un arbre comme partie d'une feuille, ou accessoire d'une racine; ni un cheval comme organe ou partie de sa cuisse...

SOCRATE J'en inférai sur-le-champ que, dans tous ces êtres, le degré de l'ensemble est nécessairement plus élevé que le degré des détails; ou plutôt qu'il peut être égal, ou plus élevé que celui-ci, mais jamais inférieur à lui.

PHÈDRE Ta pensée me semble assez claire; mais ce degré est difficile à concevoir nettement.

<sup>33</sup> in Peter Blundell Jones *Hans Scharoun* Phaidon Press, 1995, p. 96

SOCRATE Je t'ai dit et redit que j'avais dix-huit ans! Je pensais, comme je le pouvais, à un degré de l'ordre et de la distribution des parties, et éléments assemblés pour former un être... Mais tous ces êtres dont j'ai parlé sont de ceux que produit la nature. Ils s'accroissent, de façon telle que la matière dont ils sont faits, les formes qu'ils comportent, les moyens qu'ils possèdent de composer avec les localités et les saisons, soient liés entre eux invisiblement par de secrètes relations; et c'est là peut-être ce que veulent dire ces mots: "produit par la nature".

Mais quant aux objets qui sont œuvres de l'homme, il en va tout autrement. Leur structure est... un désordre!<sup>34</sup>

L'exemple de l'arbre, choisi par Valéry, n'est pas très heureux. En effet, la géométrie fractale nous montre qu'un objet fractal (dont l'arbre peut constituer une bonne approximation) est justement un objet dont le degré de complexité des parties est le même que le degré de complexité du tout... Et c'est ainsi que l'on va décrire un arbre comme composé d'arbres similaires mais plus petits! Il est plus judicieux de faire référence à des organismes supérieurs. Un animal, l'homme par exemple, peut tout-à-fait, lui, être décrit selon cette hiérarchie de degrés de complexité.

Même s'il y a un certain flou dans la notion d'organique appliquée à l'architecture, et d'immenses variations dans les objets architecturaux produits par les architectes qui se réclament de cette notion d'organique, une constante est la référence aux formes de la nature, comme le montre, à simple titre d'exemple, la définition suivante:

*Architecture organique* : courant de l'architecture du XXème siècle qui emprunte aux formes de la nature l'idée de certaines de ses structures et articulations, et tend le plus souvent à une liaison étroite avec les sites naturels (Wright, Aalto, etc).<sup>35</sup>

Si on laisse de côté la question de la liaison avec le site, qui pourra d'ailleurs se retrouver au cours de la recherche notamment avec le problème de l'échelle, c'est l'emprunt aux "formes de la nature" qui reste donc la caractéristique majeure de l'architecture organique, comme d'ailleurs l'emploi courant, naïf du terme, nous le confirme.

L'artiste se réfère forcément à l'univers des formes naturelles, ou plutôt un concept commun et sous-jacent à un phénomène naturel et à une forme artificielle peut être mis en évidence, et permettre d'éclairer l'un et/ou l'autre:

La connaissance du principe de construction légère permet de commencer à observer les objets de la nature sous l'angle technique.<sup>36</sup>

L'observation et l'admiration des formes naturelles (de tout ordre) fait partie de la démarche de l'art, le plus abstrait soit-il (c'est le niveau d'observation qui change).

L'homme a toujours admiré les formes naturelles, et l'architecte s'en est toujours plus ou moins inspiré. Cependant, c'est l'homme et donc l'architecte du XXème siècle, surtout quand il revendique

<sup>34</sup> Paul Valéry *Eupalinos ou l'architecte* Gallimard, 1944, p. 84-86

<sup>35</sup> petit Larousse illustré, 1990

<sup>36</sup> Frei Otto *Architecture et bionique* Delta & Spes, 1985, p. 8

le qualificatif d'*organique* pour son architecture, qui est devenu conscient du fait que les formes de la nature sont le résultat d'un processus de croissance, et que c'est cela sans doute qui fait leur beauté:

Organic simplicity might be seen producing significant character in the harmonious order we call nature: - all around, beauty in growing things.<sup>37</sup>

[Trad:

La simplicité organique pourrait être vue comme produisant un caractère significatif dans l'ordre harmonieux que nous appelons la nature: - tout autour, la beauté dans les choses qui poussent.]

L'emprunt aux formes de la nature, outre que cette expression est vague car les formes de la nature sont fort diverses, peut se faire selon une tendance à l'*abstraction*, ou selon une tendance à la *littéralité*. C'est ce qui distingue le plus clairement les architectes qui tous se réfèrent à la nature:

(...) l'écart qui sépare l'idéologue de la "machine à habiter" d'un architecte organique comme Hugo Häring est un peu moins catégorique que cela ne semble avoir été perçu par ce dernier, ne serait-ce que parce que la notion de "machine" impliquait, aux yeux de Le Corbusier, à la fois le dépassement de la "nature" et son imitation.<sup>38</sup>

Même des architectes qui semblent bien emprunter littéralement aux formes de la nature s'en défendent souvent d'un point de vue philosophique (ou du point de vue du processus de conception), ainsi Häring:

It would be wrong to assume too, on the basis of his more experimental work, that Häring favoured curves or irregular shapes. His idea of organ-like building never meant borrowing biological forms: it simply involved finding forms and ways of ordering appropriate to the task in hand.<sup>39</sup>

[Trad:

Il serait faux de supposer aussi, sur la base de son travail plus expérimental, que Häring privilégiait les courbes et les formes irrégulières. Son idée de bâtiment "organique" n'a jamais signifié emprunter aux formes biologiques: elle impliquait simplement de trouver des formes et des manières d'ordonner appropriées à la tâche à accomplir.]

Il y a des emprunts littéraux, donc, et d'autres qui cherchent à retrouver des "principes génériques". La ressemblance détectée par Frank Lloyd Wright quand il dit:

The pagodas of China and Japan definitively resemble the pines with which they were associated.<sup>40</sup>

[trad: Les pagodes de Chine et du Japon ressemblent nettement aux pins avec lesquels elles étaient associées.]

n'est pas du tout la même que celle qui saute aux yeux quand on voit des structures arborescentes

<sup>37</sup> Frank Lloyd Wright *The future of architecture* Horizon Press, 1953, p. 189

<sup>38</sup> Stanislaus von Moos "Machine et nature: notes à propos de l'Unité d'habitation de Marseille" in *Le Corbusier et la nature (rencontres des 14-15 juin 1991)* Fondation Le Corbusier, p. 47

<sup>39</sup> in Peter Blundell Jones *Hans Scharoun* Phaidon Press, 1995, p. 98

<sup>40</sup> Frank Lloyd Wright *The future of architecture* Horizon Press, 1953, p. 38

d'Otto Frei, par exemple.

Accessoirement, mais pour qu'il n'y ait pas d'ambiguïté à ce sujet, je tiens à dire que je ne suis pas personnellement très attirée par les architectures les plus évidemment, et au sens le plus banal du terme, "organiques". J'aime les angles droits, et je crois que les formes fabriquées par l'homme doivent se distinguer clairement des formes naturelles. Mais je crois possible d'allier la simplicité, la pureté des formes, avec un recours aux "principes génériques" qui gouvernent les formes naturelles.

Suppose something you always took for granted as made up of various things, "composed" as artists say, suddenly appeared to you as organic growth. Suppose you caught a glimpse of that "something" as a living entity and saw it as no creature of fallible expediency at all but really a creation living with integrity of its own in the realm of the mind. (...)

Well, something like this is what happened to Louis Sullivan when he saw the first skyscraper (...).<sup>41</sup>

[Trad:

Supposez que quelque chose que vous aviez toujours considéré comme fabriqué avec différentes choses, comme "composé" comme disent les artistes, vous apparaisse soudain comme une croissance organique. Supposez que vous aperceviez cette "chose" comme une entité vivante et que vous la voyiez non pas du tout comme la créature d'une ingéniosité faillible mais réellement comme une création vivante avec une intégrité à elle dans le royaume de l'esprit. (...)

Eh bien, c'est quelque chose comme ça qui est arrivé à Louis Sullivan quand il a vu le premier gratte-ciel (...).]

Un gratte-ciel n'est pas un objet mimétique d'une forme naturelle, mais il peut susciter la même émotion qu'une forme naturelle parfaite.

Dans les différentes manières de se référer au monde des formes naturelles et aux processus de croissance, Frederick Kiesler choisit la plus primaire (bien que non première dans l'histoire de l'architecture), la plus littérale. Cette approche est aussi la plus contestable, d'abord parce que l'architecture, comme art, doit introduire une *distance* par rapport à ce à quoi elle est référencée, sous peine d'engendrer un sentiment de malaise ou de ridicule:

'We must not forget that a building should be organic', he [Behne] wrote, 'but it is not an organism - a door is no mouth, and does not suck.' To Scharoun's remark 'why does everything have to be straight' Behne replied that it does not have to be, only that we must never depart from it without good reason.<sup>42</sup>

[Trad:

'Nous ne devons pas oublier qu'un bâtiment devrait être organique', écrit-il [Behne], 'mais que ce n'est pas un organisme - une porte n'est pas une bouche, elle ne suce pas.' A la remarque de Scharoun 'pourquoi tout doit-il être droit' Behne répondait que 'ce n'est pas inéluctable, mais nous ne devons jamais nous en écarter sans bonne raison.]

<sup>41</sup> Frank Lloyd Wright *The future of architecture* Horizon Press, 1953, p. 187

<sup>42</sup> in Peter Blundell Jones *Hans Scharoun* Phaidon Press, 1995, p. 40

mais aussi tout simplement à cause d'une erreur de lecture des formes naturelles, et en particulier de la non prise en compte de la question de l'échelle:

"Non, non" dit le professeur Thrugg, "à l'évidence, cet objet n'est pas un œuf. Et ce n'est pas un caillou au milieu de fougères -il fait quand même près de 9 mètres de haut et 23 de long. (...)"<sup>43</sup>

qui fait d'ailleurs que, tout bêtement structurellement, cela ne marche pas... Même si le thème de la recherche de la *continuité* peut le rapprocher, sinon dans les moyens au moins dans les fins, d'autres architectes plus respectables, on peut se demander si cette appréhension de l'organisme vivant comme *continuum* n'est pas, d'une part une construction intellectuelle (le XVIIIème siècle voyait le corps plutôt comme une machine) a posteriori, ou, d'autre part, une vision superficielle: seul l'épiderme offre cette continuité; à l'intérieur, il y a assemblage hétéroclite d'os, de ligaments, de muscles, d'organes vitaux, de vaisseaux sanguins, etc...

La dichotomie essentielle entre organisme vivant et construction humaine semble dans un premier temps admise par un "organique primaire" comme Kiesler:

*Biotechnics*, terme employé par Sir Patrick Geddes, ne peut s'utiliser que lorsque l'on parle du mode de construction de la *nature*, non de celui de l'*homme*. On ne peut intervertir ces deux méthodes car la nature et l'homme relèvent de deux principes différents: la *nature construit par division cellulaire dans un but de continuité*; l'homme ne peut construire que par la *réunion de parties en une structure unique, sans continuité*. Néanmoins, les assemblages réalisés par l'homme sont contrôlés en dernier ressort par la nature et non par l'homme. Dès le moment où des éléments sont assemblés, s'engage un processus de rupture par le jeu des forces naturelles. L'architecture doit donc tendre à réduire le nombre d'assemblages, pour atteindre une plus haute résistance, une rigidité plus élevée, une maintenance plus aisée, des coûts plus bas. Ce sont ces considérations qui m'ont conduit à développer la *Construction continue*.

(...)

Le nouveau designer apprendra à comprendre les méthodes de construction qu'utilise la nature pour atteindre ses objectifs (biotechnique), mais il ne les imitera pas. Il tirera les conclusions nécessaires du désastre qui frappa à Londres le Crystal Palace (Cette construction fut érigée en 1851 par Joseph Paxton, s'inspirant de la structure de la feuille de nénuphar d'Afrique aux nervures longitudinales et transversales. Il s'agissait là d'une tentative essentiellement romantique de construction d'une structure par l'application littérale des principes de conception de la nature. L'effondrement du Crystal Palace (1936) était inévitable. L'ignifugation du bâtiment -aujourd'hui comme jadis- est beaucoup plus importante que la recherche de "nouvelles formes").<sup>44</sup>

Cependant, Kiesler en arrive à ce genre d'affirmation qui contredit son postulat premier:

<sup>43</sup> Frederick Kiesler (?) "L'Endless House" (Extrait de *Architectural Forum*, novembre 1950, traduit de l'anglais par Jacques Bossier) in *Frederick Kiesler Artiste-architecte* Editions du Centre Pompidou, p. 191

<sup>44</sup> Frederick Kiesler "L'architecture comme biotechnique" (Extrait de *Architectural Record*, 1939) in *Frederick Kiesler Artiste-architecte* Editions du Centre Pompidou, p. 86

La maison est un organisme vivant et non pas seulement un agencement de matériaux morts: elle vit dans son ensemble et dans ses détails. La maison est un épiderme du corps humain.

(...) je supprimai le séparatisme dans la construction de la maison, c'est-à-dire la distinction entre le plancher, les murs et le plafond, et créai avec le plancher, les murs et le plafond un continuum unique.

Cela se fit ainsi: inspiré par le désir d'exprimer le dynamisme intérieur de l'habitation, je conçus une maison dans laquelle je m'attachai particulièrement à chercher les trajectoires de ce dynamisme vital. Je l'appelai la "Maison sans Fin". Automatiquement il surgit de cette esquisse première une construction continue tant dans son ensemble que dans ses détails. Elle se cristallisa sous forme de Sphéroïde: semblable à une michette de pain aplatie. En section équatoriale elle figurait un cercle; en section verticale (méridienne), une ellipse.<sup>45</sup>

<sup>45</sup> Frederick Kiesler "Manifeste du corréalisme" (Publié dans *L'Architecture d'Aujourd'hui*, 1949) in *Frederick Kiesler Artiste-architecte* Editions du Centre Pompidou, p. 178

## De l'organique et de ce qui ne l'est pas

L'un des objectifs de la partie de ce travail qui cherche à interroger la notion d'organique appliquée à l'architecture, est d'examiner la validité des définitions de ce qui serait organique et de ce qui ne le serait pas. On a tendance à opposer par exemple les formes plutôt arrondies aux formes basées sur le carré, voire l'utilisation d'une grille non orthogonale à celle d'une grille orthogonale. Plus généralement, on oppose le non-géométrique au géométrique (sous-entendu euclidien, et cela a été l'apport de Mandelbrot que de montrer qu'il y avait une autre géométrie pour décrire le soi-disant non-géométrique), l'irrégulier au régulier, etc. Il semble dans cette façon peu élaborée de voir les choses que l'homme révèle sa trace sur la Terre par l'imposition d'une géométrie à des matériaux avec lesquels la nature crée des formes sans géométrie (et c'est ainsi que le détective métis inventé par l'auteur australien Arthur Upfield prouve le passage d'un homme dans une partie du bush par des traces rectilignes, donc suspectes, sur le sable... Voir aussi le *land art*...). Et pourtant, ce qui nous fascine souvent dans les formes de la nature, c'est bien un ordre, certes différent de celui de la plupart des objets fabriqués par l'homme, et difficile à décrire mathématiquement, du moins jusqu'à récemment, mais un ordre tout de même.

On a déjà rencontré un certain nombre d'oppositions dans les chapitres précédents, mais il faut revenir sur certaines d'entre elles, et en élucider de nouvelles. Certaines de ces oppositions tranchent entre ce qui serait organique et ce qui ne le serait pas, mais d'autres placent le couperet à l'intérieur même de l'idée d'organique, entre différentes façons de considérer cette idée.

On a très souvent, sous-jacente à l'idée naïve d'organique, l'opposition entre le géométrique et le non-géométrique. Mais qu'est-ce que le géométrique et le non-géométrique?

PHÈDRE Mais toutes les figures ne sont-elles pas géométriques?

SOCRATE Pas plus qu'un bruit n'est un son musical.

PHÈDRE Mais comment distingues-tu les unes des autres, et les figures géométriques de celles qui ne le sont pas?

SOCRATE Considérons d'abord celles-ci... Suppose, cher Phèdre, que nous soyons vivants encore, pourvus de corps, et de corps entourés. Prends un style, te dirais-je, ou prends une pierre aiguë, et trace sur quelque muraille n'importe quel trait sans y penser. Trace d'un seul mouvement. Le fais-tu?

PHÈDRE Je le fais, quoique immatériel, me servant de mes souvenirs.

SOCRATE Qu'as-tu fait?

PHÈDRE Il me semble que j'ai tracé une ligne de fumée. Elle va, se brise, revient, et se noue ou se boucle; et se brouille avec elle-même, et me donne l'image d'un caprice sans but, sans commencement, ni fin, ni sans autre signification que la liberté de mon geste dans le rayon de mon bras...

SOCRATE C'est cela. Ta main ne savait pas elle-même, étant à tel endroit, où elle irait ensuite. Elle était confusément poussée par la tendance de sortir seulement du lieu qu'elle occupait. Elle était retenue, d'autre part, et comme ralentie par son éloignement croissant de

son corps... Et enfin la pierre elle-même, rayant la pierre avec une facilité inégale dans les différentes directions, ajoutait ce hasard aux tiens propres... Est-ce là une figure géométrique, ô Phèdre?

PHÈDRE Certainement non. Mais je ne sais pourquoi.<sup>46</sup>

On peut se demander s'il est juste de qualifier de "libre" une figure issue du mouvement non consciemment contrôlé de la main, alors qu'elle est bien évidemment contrainte par le système musculaire du bras et de la main et par la dureté des matériaux employés (ce que Valéry note bien), voire par la trace de l'apprentissage que tout humain subit depuis sa naissance pour maîtriser les instruments de l'écriture et du dessin. La courbe décrite par Phèdre ("[...] une ligne de fumée [qui] va, se brise, revient, et se noue et se boucle;") n'est pas quelconque: il s'agit d'une courbe continue (c'était d'ailleurs dans la commande de Socrate: "Trace d'un seul mouvement"), et même dérivable en la plupart de ses points; il est possible qu'il y ait une rupture de la dérivabilité en un ou deux points ("[elle] se brise"), mais il serait étonnant qu'il y en ait beaucoup. Très probablement, il s'agit d'une courbe de type *spline*. Son mode de production la rapproche en fait plus des figures géométriques, répondant à un ordre de type comportemental (par exemple "rester à la même distance d'un point fixe", pour un cercle), que des figures obtenues par imitation d'un objet donné.

On peut opposer à la figure géométrique rigoureuse, exacte, l'idée de forme "vague", approximative, inexacte, voire "anexacte":

For example, geometry need posit only one 'sphere' as a surface composed of an infinite number of points equidistant from a single radius. In effect, the sphere that existed for Plato has been handed down to us identically across cultures and through history. 'Vague' objects that are merely round may be more or less spherical yet no two are ever absolutely identical. 'Roundness' itself can be defined with probability but never ideally described with exactitude. Likewise, an ideal sphere can never be realised in matter. Certain things are believed to be spherical even though their specific matter guarantees that they can never achieve pure form. Vague forms that do not repress the particular characteristics of matter are typically considered to be inexact. Geometric exactitude, in other words, tends to transform particularities, no matter how precise they may be, into inexactitudes through mathematical reduction. It renders particularities and difference as mere variations beneath which subsists a more fixed and universal language of proportions.<sup>47</sup>

[Trad:

Par exemple, la géométrie a besoin de poser seulement une 'sphère' comme une surface composée d'un nombre infini de points équidistants selon un unique rayon. De fait, la sphère qui existait pour Platon nous a été transmise à l'identique à travers les cultures et l'histoire. Les 'vagues' objets qui sont simplement ronds peuvent être plus ou moins sphériques mais deux d'entre eux ne sont jamais absolument identiques. La 'rondeur' elle-même peut être définie grâce aux probabilités mais jamais décrite idéalement avec

<sup>46</sup> Paul Valéry *Eupalinos ou l'architecte* Gallimard, 1944, p. 59-60

<sup>47</sup> Greg Lynn "Multiplicitous and in-organic bodies" in *Architectural Design Profile N°106 Organic architecture*, 1993, p. 32

exactitude. De même une sphère idéale ne peut jamais être réalisée matériellement. Certaines choses sont considérées comme sphériques même si leur matière spécifique garantit qu'elles ne pourront jamais atteindre la forme pure. Les formes vagues qui ne répriment pas les caractéristiques particulières de la matière sont typiquement considérées comme inexactes. L'exactitude géométrique, en d'autres termes, tend à transformer les particularités, quelque précises qu'elles soient, en inexactitudes à travers une réduction mathématique. Elle voit les particularités et les différences comme de simples variations entre lesquelles subsiste une langage de proportions plus fixé et universel.]

Dans les formes de la nature, même quand elles observent des lois géométriques (et elles en observent presque toujours), il y a variété, il y a irrégularité, il y a toujours un léger écart par rapport à l'exactitude du modèle. Une forêt de pins comporte des arbres qui sont tous sans aucune exception conformes au modèle du pin, mais en même temps cette forêt ne comporte pas deux pins absolument identiques. De même, si la verticalité des troncs est un phénomène inéluctable, elle n'est pas absolument exacte: l'axe des troncs fait un angle d'en moyenne  $90^\circ$  avec le plan horizontal, mais peut-être tel tronc fait-il un angle de  $88^\circ$ , un autre un angle de  $93^\circ$ ... L'angle droit ici peut être vu comme un idéal mathématique vers lequel tend, sans y parvenir, une nature grossière.

Quand l'homme construit, il veut lui aussi approcher au plus près de cet idéal. Si la ville médiévale nous paraît si belle, si pittoresque, si proche de la beauté des formes de la nature, c'est que l'indigence des moyens de construction (au regard de ceux dont nous disposons), l'absence d'un regard planificateur global, et aussi l'effet du temps qui a fait se pencher tel ou tel mur de pans de bois, ont contribué à ce que l'idéal mathématiquement exact de la verticalité ne soit pas atteint. Dans la ville moderne, par contre, rien n'empêche cette performance. Il serait d'ailleurs sans doute extrêmement artificiel de faire semblant, en introduisant volontairement de petites irrégularités, ne pas y parvenir.

Les architectes qui se sont essayé à remettre en cause le dogme de la verticalité (Claude Parent, Frank Gehry, Zaha Hadid...) l'ont fait en introduisant un grand écart par rapport à cette verticalité. D'autres qui ont voulu remettre en cause la ligne droite (Alvar Aalto, ...) l'ont fait en introduisant des courbes accentuées. Quand l'architecture refuse le système orthogonal, c'est en général pour suivre tout aussi exactement un système basé sur un autre angle que l'angle droit, mais d'une manière tout aussi absolue. Ce qui nous attire tant dans certaines esquisses tremblées d'architectes, c'est justement le petit écart par rapport à un modèle que l'on sent sous-jacent tout de même. Mais cette qualité est généralement perdue dans la réalisation, sauf quand tel ou tel matériau empêche d'atteindre l'idéal d'exactitude.

La beauté des formes de la nature réside dans le jeu, dans la tension entre deux pôles: d'une part l'obéissance à un modèle, à un ordre (les formes de la nature sont rarement complètement sans ordre, le "bruit" n'est jamais harmonieux), et d'autre part l'introduction de petits écarts, de petites irrégularités, par rapport à cet ordre (même un cristal n'est jamais parfait (du moins à l'échelle de la

vision humaine) seuls les diamants taillés par l'homme le sont).

C'est cette préoccupation que l'on trouve chez Eduardo Chillida:

...AGAINST THE RIGHT ANGLE? No, I do not propose an uprising. What happens to me when I am confronted with a right angle, something I have thought a lot about, comes from a long time ago: it is true that at one point the right angle seemed to me to be the most beautiful angle of them all, but there is something intolerant about it. It does not permit dialogue with anything other than its equals! That becomes obvious in a great deal of the history of architecture. In the presence of the immense hierarchical power of the orthodox right angle, it seems to me that there are other angles around it - from 87° up to 93° - which are almost as powerful but at the same time are more tolerant, they permit dialogue... The thing is that the right angle actually rebels against all angles that are not itself... Greece has taught us that in the qualitative, perception differs from geometric exactness. They discovered the right angle through the gnomon, which is the angle that man makes with his shadow. Man perceives an angle and then rationalises it, and gives it a name: right angle. But an upright living being does not lead exactly to the right angle... This subject has always disturbed me. Le Corbusier's vision of man against the horizon is an extremely confident vision, I know that of course it is wonderful, it is true, but it would also be equally wonderful if man were to hold himself up on his right or his left foot... It is a problem of verticality; apart from the orthodox mathematical verticality, there is another verticality that would enrich that angle. There are many nuances, which is what I am getting at... I believe that the right angle 'has done harm', although of course there are always arguments to defend it; for example, the argument of stability... There are many forms of approaching things... In my work I have never consciously sought out (I have never measured) a right angle, although there probably has to be one. In *Gora-Bera*, there is a fight in this field - in the one about the right angle. All of the planes of those two empty cubes inside are virtually parallel; there is not one single right angle, but the two sides converse, they compensate for each other and produce a unity. Creating this work, I had the impression that I was touching on a subject that was beyond me... And those parallelisms that are in my work, which are not parallels, but which are very nearly so... One cannot get too far away from the right angle, not even in this matter. That is another outstanding thing about the right angle: it prevents you from moving too far away, because as soon as you move away, everything is weakened...<sup>48</sup>

[trad:

CONTRE L'ANGLE DROIT... Non, je ne propose pas un soulèvement. Ce qui m'arrive quand je suis confronté à un angle droit, ce qui est quelque chose à quoi j'ai beaucoup pensé, vient d'il y a longtemps: il est vrai qu'à un moment l'angle droit me semblait le plus beau de tous les angles, mais il y a quelque chose d'intolérant en lui. Il ne permet pas le dialogue avec autre chose que ses égaux! Cela devient évident dans une grande partie de l'histoire de l'architecture. En présence du pouvoir hiérarchique immense de l'angle droit orthodoxe, il

<sup>48</sup> Eduardo Chillida "Brief conversation with Eduardo Chillida" in *El Croquis* N°81/82 p. 18-19

me semble qu'il y a d'autres angles autour de lui -de 87° à 93°- qui sont presque aussi puissants mais qui en même temps sont plus tolérants, qui permettent le dialogue... Ce qu'il y a c'est que l'angle droit se rebelle vraiment contre tous les angles qui ne sont pas lui-même... La Grèce nous a appris que pour ce qui est du qualitatif la perception diffère de l'exactitude géométrique. Ils découvrirent l'angle droit à travers le gnomon, qui est l'angle que l'homme fait avec son ombre. L'homme perçoit un angle et ensuite il le rationalise, et lui donne un nom: angle droit. Mais un être vivant debout ne mène pas exactement à l'angle droit... Ce sujet m'a toujours inquiété. La vision de Le Corbusier de l'homme contre l'horizon est une vision très confiante; je sais que bien sûr c'est une vision merveilleuse, c'est vrai, mais elle serait tout aussi nerveuse si l'homme se tenait sur son pied droit ou sur son pied gauche... C'est un problème de verticalité; à côté de la verticalité mathématique orthodoxe, il y a une autre verticalité qui enrichirait cet angle. Il y a beaucoup de nuances, et c'est ce à quoi je travaille... Je crois que l'angle droit 'a fait du mal', quoiqu'il y ait toujours bien sûr des arguments pour le défendre; par exemple, l'argument de la stabilité... Il y a de nombreuses façons de s'approcher des choses... Dans mon travail je n'ai jamais consciemment recherché (je n'ai jamais mesuré) d'angle droit, bien que très probablement il doive y en avoir. Dans *Gora-Bera*, il y a eu une bataille sur ce terrain -sur le terrain de l'angle droit. Tous les plans de ces deux cubes vides à l'intérieur sont virtuellement parallèles; il n'y a pas un seul angle droit, mais les deux côtés convergent, ils se compensent l'un l'autre et créent une unité. En créant cette œuvre, j'ai eu l'impression que je touchais à un sujet qui me dépassait... On ne peut pas s'éloigner trop de l'angle droit, même dans ce domaine. C'est une autre singularité de l'angle droit: il vous empêche de vous éloigner de trop, parce que dès que vous vous en éloignez, tout est affaibli...]

Un autre thème qui a déjà déjà abordé, et qui est lié à la notion d'organique, est celui de la continuité. Selon l'échelle à laquelle on l'examine, la nature semble procéder selon un principe de continuité totale, à l'échelle de la vision humaine normale, dans la liaison entre les différentes parties d'un être vivant (on est obligé d'employer la manière forte, de trancher dans le vif, pour couper un arbre, pour séparer les branches du tronc, ou pour amputer un animal d'un de ses membres, au point qu'on peut même considérer comme une simple vue de l'esprit cette décomposition de l'être vivant en "parties": où commence très précisément la branche, le bras?) ainsi qu'entre les matériaux qu'elle utilise, ou selon le principe de l'assemblage le plus modulaire, à l'échelle des cellules. Pour ce qui est des constructions humaines, on rencontre une même polarité, une même tension entre assemblage et continuité. On a vu le point de vue de Kiesler qui l'a amené à construire des formes les plus continues possibles. Mais on trouve aussi le point de vue inverse, que l'on peut également opposer à Bloc, par exemple:

Construire, comme l'indique le préfixe, est une activité d'assemblage. Par définition une construction est le contraire du monolithe. Le monolithisme cache en soi sa propre négation, car les efforts internes dus à la dilatation-rétraction thermique ont tendance à démolir, du moins à limiter le monolithisme. Au-delà d'une dimension spécifique tout

matériau se casse. La construction est par nature un ensemble, donc nécessairement articulé d'une multitude d'éléments liés en un système d'un seul tenant. Sous l'effet des efforts, les diverses combinaisons peuvent être déformables ou indéformables. L'architecture s'intéresse généralement à ces dernières, les stables.<sup>49</sup>

Pour finir sur ces oppositions, arrêtons-nous un instant sur un architecte qui a su résoudre dans son architecture cette dialectique entre l'organique et le non-organique:

L'œuvre de Le Corbusier est, d'après moi, caractérisée par le rapport entre formes orthogonales et formes courbes ou libres; ce rapport, qui est présent dans tous les domaines de la production corbuséenne, de la peinture et de la sculpture à l'architecture et à l'urbanisme, est en même temps un moyen de création plastique ainsi que la manifestation d'une pensée philosophique précise: il s'agit d'une conception platonicienne qui oppose:

rationnel	et	irrationnel
organisation	et	chaos
homme	et	nature
raison	et	sentiment

Ces termes, opposés dans une vision dualistique de la réalité, sont matérialisés dans le travail de création plastique en formes orthogonales et formes libres.<sup>50</sup>

L'Unité [d'habitation de Marseille, de Le Corbusier] rappelle aussi une éponge ossifiée qui s'ouvre vers le soleil et la lumière ainsi qu'un récif de corail, et ce n'est pas un hasard si Le Corbusier avait proposé dès les années 30 la pigne de pin en tant que clef pour sa notion de "Ville Radieuse". A première vue, on pourrait peut-être croire que la pigne de pin était introduite dans ce contexte en tant que symbole organique profondément alternatif à la technique, mais en réalité cette pigne de pin représente un modèle. Elle représente entre autres des lois de nature que l'homme serait appelé à découvrir et ensuite à mettre en œuvre à l'aide des moyens qui lui sont propres, et notamment de l'angle droit. Ainsi même une architecture apparemment aussi mécanophile que l'Unité d'habitation se présenterait comme une synthèse entre forme naturelle et angle droit, et serait donc à interpréter en tant que continuation de la nature avec d'autres moyens (pour citer une célèbre phrase de Schinkel sur l'architecture gothique).<sup>51</sup>

(...) tandis que les architectes organiques dissimulent leurs bâtiments dans le paysage, employant des matériaux mimétiques, évoquant la skyline des montagnes aux alentours avec l'inclinaison des toits, ou disposant leurs structures suivant la pente du terrain, Le Corbusier présente son architecture en toute indépendance, telle qu'elle dérive de ses

<sup>49</sup> David Georges Emmerich *Soft architecture* Institut de l'Environnement, 1974, p. 18

<sup>50</sup> Valerio Casali "La nature comme paysage" in *Le Corbusier et la nature (rencontres des 14-15 juin 1991)* Fondation Le Corbusier, p. 133

<sup>51</sup> Stanislaus von Moos "Machine et nature: notes à propos de l'Unité d'habitation de Marseille" in *Le Corbusier et la nature (rencontres des 14-15 juin 1991)* Fondation Le Corbusier, p. 44

nécessités fonctionnelles et structurelles (et poétiques) qui commandent sa construction. Le Bâtiment est un prisme réglé par la géométrie, il impose l'horizontale et l'angle droit, il est autre chose que la nature, en tant qu'œuvre artificielle, il en est le contraire.<sup>52</sup>

<sup>52</sup> Valerio Casali "La nature comme paysage" in *Le Corbusier et la nature (rencontres des 14-15 juin 1991)* Fondation Le Corbusier, p. 136

## *La vie dans les plis*<sup>53</sup>

Le pli relève-t-il de l'organique? En tout cas il serait intéressant de consacrer toute une étude à ce sujet, mais pour s'en donner simplement un avant-goût, voici deux petites histoires de plis:

...ON THE SUBJECT OF FOLDS; I had given a lecture a short while before at the Prado, after which I had gone to Paris, and on my return we found ourselves having lunch with Victor Gomez Pin, a mathematician friend who lectures at the University of the Basque Country and the Sorbonne - very intelligent. Victor asked me: "What did you talk about?". I remember that they were lectures by artists about their recollections of the Prado Museum. One of the many things I mentioned was something that happened to me one day in front of *The Crucifixion* by Van der Weyden. It was a work I had known perfectly well all my life. But one day, looking at it as usual, I don't know what I was thinking about, I started to look and realised that 60% of that painting are folds. I thought: "How can a painter who is painting *The Crucifixion* use up to 60% of the canvas, or even more, to create folds?". That idea stuck with me, and that was what I talked about. Later I kept on thinking about it, because that day what was revealed to me was the possibility of knowing why folds are so important - they must be when they have such great priority in a painting of that magnitude. The theme of *The Crucifixion* was almost an excuse... I even began to view painting through this idea, and I realised that the history of painting is, to a large extent, folds. Almost everything is in folds: Flemish art, Greek art, Roman art, all the history of art. Might it not be like music, a language that conveys something that not everybody understands, but is there?... I went on thinking about all of these things, and talked with Victor Gomez Pin. A few days later, R. Thom, a French mathematician friend of Victor he had met in Paris, came to lecture in San Sebastian. He brought him home, we talked, and it turned out that the theory of catastrophes is based on folds! There are tremendous coincidences!... Afterwards, I found *Le pli* by Deleuze, although previously I had found another book, *The Doors of Perception* by A. Huxley which includes the anecdote about going to the house of some young friends, and after eating they offer him a drug, mescaline or one of those things. "Do you feel anything?", they ask him, and he replies "No, nothing." They insist "Do you feel anything?", and suddenly he says "Well... I'm seeing the folds in my trousers as if I were Van Eyck." That goes to show that Van Eyck, without needing any sort of drug, had an above-normal perception, which is a property of the artists, because perhaps the only difference that an artist may have from other people is that fraction more of perception. Maybe that has helped to convey certain impressions through folds which do not reach many people, but are there - to some extent a language... Dürer's folds, for example, have a specific origin, a specific material origin. That is to say, they are much more "material" than the folds of Grünewald. Dürer's folds probably come from wood, from the German Middle Ages; they come from wood as matter and from the way the Germans worked it in medieval sculpture, in medieval religious

---

<sup>53</sup> Ce titre est un clin d'œil à Henri Michaux *La vie dans les plis*, Gallimard, 1972

sculpture. On the other hand, Grünewald's folds come from the observation of water, streams... Leonardo also makes many observations about water and all of those things... (I have a sculpture I made with a hatchet I bought in Brittany. In that sculpture, I develop precisely this idea of the fold. The act of producing a fold provides the space with an extraordinary content. It has a tremendous spacial richness. The unit is always there. That is what I liked!)...<sup>54</sup>

[Trad:

...AU SUJET DES PLIS; j'avais fait une conférence peu de temps auparavant au Prado, après quoi j'étais allé à Paris, et à mon retour nous nous trouvâmes à déjeuner avec Victor Gomez Pin, un ami mathématicien qui est professeur à l'Université du Pays Basque et à la Sorbonne - très intelligent. Victor me demanda: "De quoi as-tu parlé?". Je me souviens qu'il s'agissait de conférences par des artistes à propos de leurs souvenirs du Musée du Prado. L'une des nombreuses choses que je mentionnai fut quelque chose qui m'arriva un jour devant *La Crucifixion* de Van der Weyden. C'est une œuvre que je connaissais depuis toujours. Mais un jour, la regardant comme d'habitude, je ne sais pas à quoi j'étais en train de penser, je commençai à regarder et je réalisai que 60% de cette peinture était des plis. Je pensai: "Comment un peintre qui est en train de peindre *La Crucifixion* peut-il utiliser 60% de sa toile, ou même plus, pour créer des plis?". Cette idée me resta en tête, et c'est ce dont je parlai. Plus tard je continuai à y penser, parce que ce jour-là ce qui me fut révélé était la possibilité de savoir pourquoi les plis sont si importants - ils doivent bien l'être quand ils ont une telle priorité dans une peinture de cette grandeur. Le thème de *La crucifixion* devenait presque un prétexte... Je commençai même à voir la peinture à travers cette idée, et je réalisai que l'histoire de la peinture est, dans une large mesure, une histoire de plis. Presque tout est en plis: l'art flamand, l'art grec, l'art roman, toute l'histoire de l'art. Est-ce que cela ne pourrait pas être comme la musique, un langage qui transmet quelque chose que tout le monde ne comprend pas, mais qui est là?... Je continuai à penser à tout cela, et j'en parlai avec Victor Gomez Pin. Quelques jours plus tard, René Thom, un mathématicien français ami de Victor qu'il avait rencontré à Paris, vint faire une conférence à San Sebastian. Il l'amena à la maison, nous bavardâmes, et il en sortit que la théorie des catastrophes [dont René Thom est l'auteur] est basée sur les plis! Il y a des coïncidences étonnantes!... Après ça, je trouvai *Le pli* de Deleuze, mais avant ça j'avais trouvé un autre livre, *The Doors of Perception* d'Aldous Huxley qui contient l'anecdote où il va chez de jeunes amis, et après manger ils lui offrent une drogue, de la mescaline ou l'une de ces choses. "Est-ce que tu sens quelque chose?", ils lui demandent, et il répond "Non, rien". Ils insistent: "Est-ce que tu sens quelque chose?", et soudain il dit: "Bon... Je vois les plis de mon pantalon comme si j'étais Van Eyck". Cela montre que Van Eyck, sans avoir besoin de drogue d'aucune sorte, avait une perception au-dessus de la normale, ce qui est une propriété des artistes, parce que peut-être la seule différence qu'un artiste peut avoir par rapport aux autres gens est cette fraction de perception en plus. Peut-être cela a aidé à transmettre à travers les plis certaines impressions qui n'atteignent pas beaucoup de gens,

<sup>54</sup> Eduardo Chillida "Brief conversation with Eduardo Chillida" in *El Croquis* N°81/82 p. 21-22

mais qui sont là - jusqu'à un certain point elles constituent un langage... Les plis de Dürer, par exemple, ont une origine spécifique, une origine matérielle spécifique. C'est-à-dire, ils sont beaucoup plus "matériels" que les plis de Grünewald. Les plis de Dürer viennent probablement du bois, du Moyen-Age allemand; ils viennent du bois comme matière et de la manière dont les Allemands le travaillaient dans la sculpture médiévale, dans la sculpture religieuse médiévale. D'un autre côté, les plis de Grünewald viennent de l'observation de l'eau, des courants... Léonard de Vinci fait aussi de nombreuses observations de l'eau et de toutes ces choses... (J'ai une sculpture que j'ai faite avec une hachette que j'ai achetée en Bretagne. Dans cette sculpture, je développe précisément cette idée du pli. L'acte de produire un pli donne à l'espace un contenu extraordinaire. C'est d'une richesse spatiale stupéfiante. L'unité est toujours là. C'est ce que j'aimais!)

For a number of years beginning in the early 1980s, Bahram Shirdel, in association with Andrew Zago, pursued an architecture which he terms black-stuff. Ironic as the term may first appear, black-stuff is quite an accurate name for the effects Shirdel sought to achieve. Rejecting the deconstructivist themes of fragments, signs, assemblages and accreted space, Shirdel pursued a new, abstract monolithicity that would broach neither reference nor resemblance. Shirdel was interested in generating disciplined architectural forms that were not easily decomposable into the dynamics of point/line/plane/volume of modern formalism. We will come to refer to these forms in terms of anexact geometries and non-developable surfaces, but Shirdel's black-stuff set the stage for the Deformationist principle of non-referential, monolithic abstraction we have already discussed.

To generate these forms, Shirdel developed a technique in which he would begin with one or more recognisable figure(s) whose underlying organisation possessed the desired internal complexity. Then, in a series of steps, he mapped the architectural geometry of these figures in meticulous detail, carefully abstracting or erasing in each progressive step aspects of the original figure that caused it to be referential or recognisable - a process I termed disciplined relaxation at the time. (...)

The culmination of the black-stuff investigations was the Shirdel/Zago entry premiated in the Alexandria Library competition, a design that evolved from a disciplined relaxation of a painting of folded cloth by Michelangelo. In that figure of the fold, Shirdel found precisely the formal qualities he sought. Although the final form shows no obvious traces of the original painting, relationships among surface, form and space are captured in the architecture.<sup>55</sup>

[Trad:

Pendant un certain nombre d'années à partir du début des années 80, Bahram Shirdel, en association avec Andrew Zago, a exploré une architecture qu'il qualifie de "black-stuff".

<sup>55</sup> Jeffrey Kipnis "Towards a new architecture" in *Architectural Design Profile* N° 102 *Folding in architecture*, 1993, p.45

Quelqu'ironique<sup>56</sup> que le terme puisse apparaître dans un premier temps, "black-stuff" est un mot tout-à-fait adéquat pour les effets que Shirdel cherchait à atteindre. Rejetant les thèmes déconstructivistes que sont fragments, signes, assemblages et excroissances, Shirdel explorait une nouvelle, et abstraite, monolithicité qui n'introduisît ni référence ni ressemblance. Shirdel était intéressé par le fait de générer des formes architecturales disciplinées qui ne fussent pas facilement décomposables dans la dynamique point/ligne/plan/volume du formalisme moderne. Nous en arriverons à nous référer à ces formes en termes de géométries anexactes et de surfaces non-développables, mais le "black-stuff" de Shirdel plantait le décor pour le principe "déformationniste" de cette abstraction monolithique, non-référentielle que nous avons déjà évoquée.

Pour générer ces formes, Shirdel développa une technique par laquelle il commençait avec une ou plusieurs figure(s) reconnaissable(s) dont l'organisation sous-jacente possédait la complexité interne souhaitée. Puis, par une série d'étapes, il extrayait la géométrie architecturale de ces figures en détail, méticuleusement, abstrayant ou effaçant soigneusement à chaque étape des aspects de la figure originale qui pouvaient la rendre référentielle ou reconnaissable - un processus que je nommai "relaxation disciplinée" à l'époque. (...)

Le point culminant de ces recherches de type "black-stuff" fut le projet primé de Shirdel et Zago pour le concours de la Bibliothèque d'Alexandrie, un projet qui évolua à partir d'une "relaxation disciplinée" d'une peinture de plis de tissu par Michelange. Dans cette figure de pli, Shirdel trouva précisément les qualités formelles qu'il recherchait. Bien que la forme finale ne montre aucune trace évidente de la peinture originale, les relations entre surface, forme et espace sont "capturées" dans l'architecture.]

<sup>56</sup> Pour nous Français, le terme ne semble pas tant ironique qu'incompréhensible. Des Américains interrogés sur le sens précis de cette expression n'ont pas pu nous répondre: le terme ne renvoie pas à une signification précise dans un domaine particulier, ni même à une expression du langage familier. Disons que "stuff" a un sens très vague (comme "truc", "machin"), et que "black" lui donne une connotation péjorative...

## Du rapport de la surface au volume

Une caractéristique commune des formes tant naturelles qu'artificielles, c'est qu'elles ont leur surface qui croît comme le carré, et le volume comme le cube, de leurs dimensions linéaires, ce qui n'est justement pas vrai des figures, ou formes, fractales... On peut donc légitimement se demander si les formes fractales sont bien adaptées pour servir de modèles à des formes réelles.

Valéry, après Galilée et bien d'autres, a bien mis en avant l'importance de la prise en compte de l'échelle:

SOCRATE Mais ne peut-on copier le marsouin, ou le thon eux-mêmes, et piller directement la nature?

PHÈDRE Je le croyais naïvement. Tridon m'a détrompé.

SOCRATE Mais un marsouin n'est-il pas une sorte de navire?

PHÈDRE Tout change avec la grosseur. La forme ne suit pas l'accroissement si simplement; et ni la solidité des matériaux, ni les organes de direction, ne le supporteraient. Si une qualité de la chose grandit selon la raison arithmétique, les autres grandissent autrement.<sup>57</sup>

En fait, ceci n'est pas tout à fait vrai. Ainsi, alors que sur terre, la taille est plutôt un handicap à la vitesse (l'éléphant n'est pas, de loin, le plus rapide des animaux terrestres, et les véhicules les plus rapides ne sont pas non plus les plus gros), les navires vont, eux, d'autant plus vite qu'ils sont gros (de même que les poissons et les cétacés), parce que la résistance opposée au déplacement est la *friction* et non la *gravité*, et que la friction est proportionnelle à la surface et non au volume.

D'Arcy Thompson note bien lui aussi cette disparité de la surface et du volume, qui fait que la morphologie d'un éléphant n'est pas celle d'une souris. Mais il s'étend assez longuement sur un phénomène qu'il a observé dans nombre de formes de la nature, et qui est un dispositif que la nature a trouvé pour aller à l'encontre justement de cette disparité:

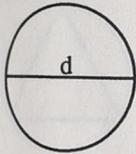
### Surface keeps pace with volume

Another phenomenon, and one which is visible throughout the whole field of morphology, is the tendency (referable doubtless in each case to some definite physical cause) for mere bodily *surface* to keep pace with *volume*, through some alteration of its form. The development of villi on the lining of the intestine (which increase its surface much as we enlarge the effective surface of a bath-towel), the various valvular folds of the intestinal lining, including the remarkable 'spiral valve' of the shark's gut, the lobulation of the kidney in large animals, the vast increase of respiratory surface in the air-sacs and alveoli of the lung, the development of gills in the larger crustacea and worms though the general surface of the body suffices for respiration in the smaller species - all these and many more are cases in which a more or less constant ratio tends to be maintained between mass and surface, which ratio would have been more and more departed from with increasing size, had it not been for such alteration of surface-form. A leafy wood, a grassy sward, a piece of sponge, a reef of coral, are all instances of a like phenomenon. In fact, a deal of evolution is

<sup>57</sup> Paul Valéry *Eupalinos ou l'architecte* Gallimard, 1944, p. 112

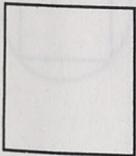
Calcul du rapport du périmètre à la surface

( $\tau = p/\sqrt{s}$ )



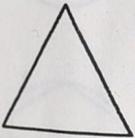
• cercle de diamètre d:

$$p = \pi d \quad s = \pi d^2/4 \quad \Rightarrow p = 2\sqrt{\pi} \sqrt{s} \quad \Rightarrow \tau = 3,5449118...$$



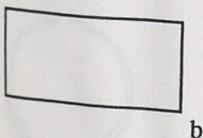
• carré de côté c:

$$p = 4c \quad s = c^2 \quad \Rightarrow p = 4\sqrt{s} \quad \Rightarrow \tau = 4$$



• triangle équilatéral de côté c:

$$p = 3c \quad s = \sqrt{3}c^2/4 \quad \Rightarrow p = (6/\sqrt{(\sqrt{3})})\sqrt{s} \quad \Rightarrow \tau = 4,5590141...$$



• rectangle de côtés a et b avec  $a/b = r$ :

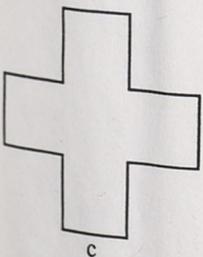
$$p = 2(a+b) = 2(r+1)b \quad s = ab = rb^2 \quad \Rightarrow p = 2\sqrt{\pi} \sqrt{s}$$

$$r = 1 \quad \Rightarrow \tau = 4 \text{ (cas du carré)}$$

$$r = 2 \quad \Rightarrow \tau = 4,2426405...$$

$$r = 4 \quad \Rightarrow \tau = 5$$

$$r = 8 \quad \Rightarrow \tau = 6,3639607...$$



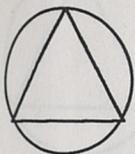
• croix de côté c:

$$p = 12c \quad s = 5c^2 \quad \Rightarrow p = (12/\sqrt{5})\sqrt{s} \quad \Rightarrow \tau = 5,3665633...$$

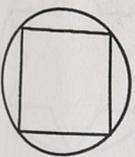
Calcul du rapport du périmètre à la surface ( $\tau = p/\sqrt{s}$ )

• polygone régulier à n côtés inscrit dans un cercle de rayon r:

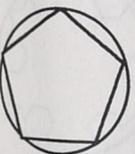
$$p = 2nr \sin \pi/n \quad s = n r^2 \cos \pi/n \sin \pi/n \Rightarrow p = 2\sqrt{(n \operatorname{tg} \pi/n)} \sqrt{s} \Rightarrow \tau = 2\sqrt{(n \operatorname{tg} \pi/n)}$$



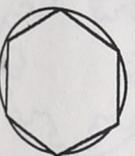
n=3 triangle équilatéral  $\Rightarrow \tau = 4,559014\dots$



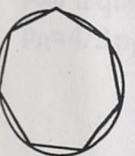
n=4 carré  $\Rightarrow \tau = 4$



n=5 pentagone  $\Rightarrow \tau = 3,811935\dots$



n=6 hexagone  $\Rightarrow \tau = 3,722419\dots$



n=7 heptagone  $\Rightarrow \tau = 3,672068\dots$

n=8 octogone  $\Rightarrow \tau = 3,640718\dots$

n=9  $\Rightarrow \tau = 3,619796\dots$

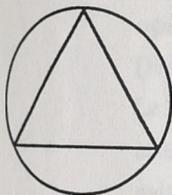
n=10  $\Rightarrow \tau = 3,605105\dots$

n=10000  $\Rightarrow \tau = 3,544907\dots$

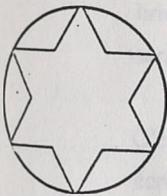
n  $\rightarrow \infty$   $\lim \tau = 2\sqrt{\pi} \Rightarrow \tau = 3,5449118\dots$

### Calcul du rapport du périmètre à la surface ( $\tau = p/\sqrt{s}$ )

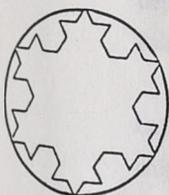
• étoile de von Koch



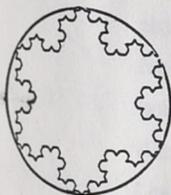
n=0 triangle équilatéral  
 $p=3c$   $s=\sqrt{3}c^2/4$



n=1  
 $p=4/3(3c)=4c$   $s=(\sqrt{3}c^2/4)+3\sqrt{3}((c/3)^2/4)$   
 $=(\sqrt{3}c^2/4)(1+3/3^2)$



n=2  
 $p=4/3(4/3(3c))=16c/3$   $s=(\sqrt{3}c^2/4)+3\sqrt{3}((c/3)^2/4)+12\sqrt{3}((c/9)^2/4)$   
 $=(\sqrt{3}c^2/4)(1+3/3^2+12/9^2)$



n=3  
 $p=4/3(4/3(4/3(3c)))=48c/9$   $s=(\sqrt{3}c^2/4)(1+3/3^2+12/9^2+48/27^2)$

pour n quelconque

$$p_n = 4/3 p_{n-1} = (4/3)^n 3c$$

$$s_n = s_{n-1} + (\sqrt{3}c^2/4)((3 \cdot 4^{n-1}/3^{2n}))$$

$$= (\sqrt{3}c^2/4)(1 + (3 \cdot 4^0/3^2) + (3 \cdot 4^1/3^4) + \dots + (3 \cdot 4^{n-1}/3^{2n}))$$

$$= (\sqrt{3}c^2/4) \sum_n$$

$$\tau_n = 6(4/3)^n / (\sqrt{3} \cdot \sum_n)$$

$$\tau_0 = 4,5590141\dots$$

$$\tau_1 = 5,264296\dots$$

$$\tau_2 = 6,6588665\dots$$

$$n \rightarrow \infty \quad p_n \rightarrow \infty$$

$s_n$  reste borné

$$\tau_n \rightarrow \infty$$

## Expérimentations

Fractal geometry will make you see everything differently. There is a danger in reading further. You risk the loss of your childhood vision of clouds, forests, galaxies, feathers, flowers, rocks, mountains, torrents of water, carpets, bricks, and much else besides. Never again will your interpretation of these things be quite the same.<sup>60</sup>

[Trad:

La géométrie fractale vous fera voir toute chose différemment. Il y a un danger à continuer cette lecture. Vous risquez de perdre votre vision d'enfance des nuages, des forêts, des galaxies, des plumes, des fleurs, des rochers, des montagnes, des torrents, des tapis, des briques, et bien d'autres choses encore. Plus jamais votre interprétation de ces choses ne sera la même qu'avant.]

C'est dans le contexte d'une de ses descriptions du pays jurassien que John Ruskin avait écrit: "C'est alors que j'ai compris que les forêts, que je n'avais cru n'être qu'un désert, dépendaient dans leur beauté des mêmes lois qui conduisent les nuages, brisent la lumière, balancent la vague. (...)".<sup>61</sup>

Le Moyen Age n'est pas plein comme on dit - mais fibré: les retables broussailleux qui font crépiter l'air, toutes les piles et appuis qui ponctuent les profondeurs et tirent la vue vers les bas-côtés, les diagonales des rosaces, les traits de scie que font les rues dans la ville que croisent d'autres traits, les toits striés par les hautes cheminées plates, les encadrements des fenêtres, les colonnes et colonnettes, les meneaux, les façades des cathédrales et les pans de bois. La pierre effilée en crochets, pinacles et flèches, propulsent jusqu'à zéro leur dimension.

Les maisons sont portées à leur comble, les églises au pinacle, les masses à leurs fibres d'arcs, les parois à des itérations de points, les piles à des gerbes, les membres à des parties de parties. Les volumes sont des mille-feuilles - certains des écheveaux - les surfaces se génèrent par une infinité de lignes, celles-ci par une infinité de points comme si volumes, surfaces, lignes prenaient des dimensions fractales.<sup>62</sup>

Les expérimentations ont été entamées en exploitant la théorie de Michael Barnsley<sup>63</sup>, pour qui les fractals sont les attracteurs de *systèmes de fonctions contractantes itérées*, systèmes qu'il appelle IFS. Il convient de comprendre dans un premier temps qu'un fractal est un ensemble de points, sous-ensemble du plan ou de l'espace tridimensionnel (pour la simplicité des explications, on se bornera au plan dans ce qui va suivre). Ensuite, on dira qu'une fonction, définie sur le plan ou sur l'espace, est

<sup>60</sup> Michael Barnsley *Fractals everywhere* Academic Press, 1988, p. 1

<sup>61</sup> Stanislaus von Moos "Machine et nature: notes à propos de l'Unité d'habitation de Marseille" in *Le Corbusier et la nature (rencontres des 14-15 juin 1991)* Fondation Le Corbusier, p. 45

<sup>62</sup> Henri Gaudin *Seuil et d'ailleurs* Les Editions du Demi-Cercle, 1992, p. 58

<sup>63</sup> Michael Barnsley *Fractals everywhere* Academic Press, 1988

*contractante* si tout couple de points est transformé en un couple de points dont la distance est inférieure à la distance du couple de points originels. En termes mathématiques, on écrira que, pour tout  $(x,y)$ :  $d(f(x),f(y)) \leq s \cdot d(x,y)$  avec  $0 \leq s < 1$ . Cela implique qu'il soit défini une métrique sur le plan ou sur l'espace. De fait, c'est la métrique usuelle qui est utilisée. Le terme 's' est le *taux de contractivité* de la fonction. En principe toute fonction convient, du moment qu'elle respecte cette condition de *contractivité*. Dans la pratique, on utilise essentiellement les *fonctions affines*, et même plus particulièrement les *similitudes*. Rappelons qu'une fonction affine est une translation composée avec une *transformation linéaire*, et qu'une transformation linéaire, dont on peut écrire la matrice d'une manière générale ainsi:

$$\begin{pmatrix} a & b \\ c & d \end{pmatrix}$$

combine en fait deux rotations d'angles  $\theta_1$  et  $\theta_2$  et deux homothéties de taux  $r_1$  et  $r_2$ , puisque la matrice d'une transformation linéaire peut toujours s'écrire ainsi:

$$\begin{pmatrix} r_1 \cos \theta_1 & -r_2 \sin \theta_2 \\ r_1 \sin \theta_1 & r_2 \cos \theta_2 \end{pmatrix}$$

Il faut penser une fonction affine comme une déformation assez légère des proportions d'une figure, un étirement ou un aplatissement, par exemple, combinée avec tout déplacement. Les proportions de la figure ne sont pas forcément respectées, mais la figure est reconnaissable, sauf si l'un des taux d'homothétie est très petit ou très grand. Une *similitude* est une fonction affine qui respecte les proportions d'une figure (qui peut être agrandie ou réduite, mais qui reste *semblable* à elle-même). C'est ce que l'on peut obtenir par exemple quand on se sert d'une photocopieuse, avec éventuellement réduction ou agrandissement. La matrice d'une similitude s'écrit:

$$\begin{pmatrix} r \cos \theta & -r \sin \theta \\ r \sin \theta & r \cos \theta \end{pmatrix}$$

ou (puisque'il peut y avoir une symétrie):

$$\begin{pmatrix} r \cos \theta & r \sin \theta \\ r \sin \theta & -r \cos \theta \end{pmatrix}$$

suivie d'une translation.

Pour qu'une fonction affine, ou une similitude soit *contractante*, il suffit que les taux d'homothétie impliqués soient inférieurs à 1. Maintenant, que signifie le terme "itéré"? Il veut dire que l'on va appliquer à une certaine portion du plan une fonction contractante, puis appliquer de nouveau cette fonction au résultat, etc, un nombre infini de fois. On prend par exemple un carré, on lui applique une transformation qui le réduit, par exemple une similitude de rapport 0,5: il est transformé en un carré

dont les côtés sont deux fois plus petits (et la surface 4 fois plus petite). On recommence sur ce petit carré et on obtient un carré encore plus petit. Il est évident que le résultat de l'itération un nombre infini de fois de cette transformation aboutira à un point: on dira que l'*attracteur* de cette itération est un simple point. Il en sera de même, il est facile de le deviner, quelle que soit la portion de plan dont on part, et la fonction (forcément contractante) que l'on itérera.

Par contre, et c'est là que les choses commencent à être intéressantes, si l'on considère, non plus une *seule* fonction contractante itérée, mais un *système* de fonctions contractantes itérées, c'est-à-dire dans la pratique un nombre assez petit (de 3 à 7, dans les exemples qui suivent) de telles fonctions, eh bien, on découvre que l'*attracteur* n'est plus un simple point, mais est une *figure* parfois étrange, parfois familière, en tout cas un ensemble de points. Cette figure est indépendante de la portion de plan dont on est parti, elle ne dépend que du système de fonctions choisi, elle est son *attracteur*. Michael Barnsley montre que tout fractal (ainsi d'ailleurs qu'un certain nombre de figures qui ne sont pas fractales, voire toute figure) est l'*attracteur* d'un IFS.

De plus, et c'est là encore toute la puissance de cette théorie, toute figure qui est un tel attracteur, tout fractal donc, est décomposable en sous-parties qui sont les images de la figure par les différentes fonctions du système (appliquées une seule fois). C'est ce qu'il appelle le *théorème du collage*. Dans les figures en couleur qui sont jointes<sup>64</sup>, on peut visualiser plus clairement ce phénomène de collage. Chaque ensemble de points d'une certaine couleur constitue une réplique en plus petit (puisqu'il s'agit de similitudes) de la figure complète. L'intérêt de ce théorème du collage réside dans l'analyse qu'il permet de faire de formes existantes, dont on veut faire une approximation sous forme de fractal. On prend par exemple une feuille, et on essaie de la décomposer en parties qui soient des répliques de la feuille entière à un certain nombre de transformations (rétrécissement, étirement, rotation, translation) près. Ici, pour le moment, cette possibilité n'a pas été explorée, mais il est évident qu'une suite de ce travail consistera en une étude systématique de formes architecturales existantes suivant cet angle de vue.

Pour obtenir un fractal considéré comme l'*attracteur* d'un IFS à l'aide d'un programme informatique, on peut procéder de différentes façons. La manière qui respecte le mieux la théorie consiste à partir d'un ensemble de pixels quelconque et à appliquer à cet ensemble de points les fonctions contractantes qui composent l'IFS, puis à appliquer de nouveau ces transformations à l'ensemble de points résultant, etc, un grand nombre de fois (et non un nombre infini de fois, l'infini étant évidemment inconnu des ordinateurs). Dans la pratique, cela implique de lire la mémoire de l'écran à chaque étape, et d'appliquer à chaque pixel noir (par exemple) les *n* transformations de l'IFS. Cela marche (et même très bien, et c'est assez impressionnant à voir), mais c'est long! Heureusement, Michael Barnsley a pu montrer qu'un autre algorithme marchait aussi: il consiste à partir d'un point unique, et à lui appliquer successivement l'une ou l'autre des fonctions de l'IFS, *choisie au hasard* (cette clause est réhibitoire, parce que, si l'on impose un ordre, par exemple 123123123, etc, cela ne marche pas...). C'est ce qu'on appelle l'*algorithme stochastique*<sup>65</sup>, c'est celui qui a été utilisé dans la plupart des images de ce mémoire. Si les taux de réduction des différentes fonctions de l'IFS sont les mêmes, le choix est équiprobable; par contre, si un taux est plus grand, il faut affecter à cette fonction

<sup>64</sup> malheureusement, dans cette édition, le budget n'a pas permis de joindre les images en couleurs...

<sup>65</sup> voir planches hors-texte N°5 et 6

un taux de probabilité plus grand, sous peine de voir cette portion de l'attracteur perdre de la densité par rapport aux autres. On affecte donc un taux de probabilité à chaque fonction, proportionnel à son taux de réduction (accessoirement le jeu sur ces taux de probabilité permet aussi de produire des textures intéressantes). Il faut un minimum de 30000 points pour obtenir une image correcte, mais cela se fait en quelques minutes, même sur un ordinateur assez peu puissant. Ce qui est amusant, et que Michael Barnsley n'a pas exploité dans son ouvrage, c'est que si l'on affecte une couleur à chaque transformation du système, et qu'on donne cette couleur à tout point qui vient de subir cette transformation, on obtient la "carte" du collage qui compose l'attracteur<sup>66</sup>. En fait, un point qui est le résultat de l'application d'une certaine transformation  $w$  à un point situé n'importe où dans l'attracteur, appartient toujours à  $w(\text{attracteur})$ . CQFD!

Les images obtenues à l'aide de l'algorithme stochastique constituent d'excellentes approximations des fractals recherchés, mais elles sont assez "brouillonnes". On peut utiliser un autre algorithme, que l'on appellera *déterministe*<sup>67</sup>. Il consiste lui aussi à partir d'un point unique, et à lui appliquer l'une ou l'autre des transformations qui composent l'IFS, mais cette fois pas choisie au hasard mais au contraire suivant un ordre très systématique, puisqu'il faut explorer l'arbre de toutes les combinaisons possibles. Par exemple, si l'on a trois fonctions dans l'IFS, on devra suivre les ordres suivants:

111	121	131	211	221	231	311	321	331
112	122	132	212	222	232	312	322	332
113	123	133	213	223	233	313	323	333

pour obtenir  $1+3+3*3=13$  points. Comme bien sûr on a besoin de plus de points, on poursuivra les arbres plus loin. Cet algorithme est intéressant, d'une part parce qu'avec moins de points on peut obtenir une figure plus "propre" et aussi dans les possibilités nouvelles de textures moirées qu'il peut offrir, mais on ne trouvera ici que peu de figures obtenues par ce procédé, parce que je n'ai mis au point le programme correspondant que récemment. Il pose un problème pour des IFS dont les taux de réduction ne sont pas tous égaux, parce qu'alors il faut "couper" l'une ou l'autre branche de l'arbre pour conserver un équilibre entre les différentes parties de l'attracteur, et ce n'est pas facile à mettre en œuvre.

Il faut noter que, même si l'un des algorithmes est qualifié de stochastique et l'autre de déterministe, il n'y a aucun hasard introduit dans la définition du fractal comme attracteur d'un IFS. Un fractal est l'attracteur unique d'un IFS, toute mise en œuvre d'un IFS particulier aboutit toujours au même fractal. Il y a là une assez grande différence avec certains éléments de la théorie de Benoît Mandelbrot. Certaines figures proposées par Michael Barnsley sont assez "irrégulières" pour pouvoir faire penser que du hasard a été introduit à telle ou telle étape du procédé, mais il n'en est rien. Le procédé est totalement déterministe, mais assez riche pour pouvoir aboutir à des figures dont la complexité semble relever d'une introduction de hasard dans les données. C'est un aspect particulièrement intéressant de cette théorie, dans ce qu'elle peut nous apprendre à voir autrement certaines formes naturelles.

L'intérêt de la manipulation des IFS réside dans la simplicité des données qu'il suffit d'introduire pour obtenir des figures à la complication inattendue. Une légère modification d'une des fonctions de l'IFS entraîne une transformation radicale de l'attracteur. mais en même temps, on peut maîtriser en

<sup>66</sup> voir note 64

<sup>67</sup> voir planche hors-texte N°39

partie ce phénomène et donner quelques "coups de barre" ou "coups de pouce" pour favoriser telle ou telle tendance. On voit par exemple, qu'à partir de l'exemple archétypal du triangle de Sierpinski, dont l'IFS est très simple puisqu'il est constitué de trois homothéties de rapport 1/2, sans rotation, on peut décliner toutes les variantes obtenues en combinant ces homothéties avec des rotations d'angle  $\pi/2$ ,  $\pi$ ,  $-\pi/2$ . On voit que ces figures<sup>68</sup> sont bien différentes les unes des autres, et que leur configuration est imprévisible, sauf à acquérir une maîtrise exceptionnelle de ce monde encore étranger qu'est le monde des fractals.

Pour mieux comprendre comment sont constituées les figures fractales proposées ici, plusieurs formes d'explication sont données. D'abord, chaque fonction de l'IFS est décrit en termes d'éléments a, b, c, d de la matrice de transformation, et e, f, du vecteur de translation pour ce qui est des fonctions affines, et en termes de taux d'homothétie, d'angle de rotation, et déplacement dx et dy, pour les similitudes. Ensuite, chaque figure, en tout cas pour les IFS de similitudes, est déclinée en couleurs, chaque couleur correspondant à une transformation de l'IFS<sup>69</sup>. Enfin, dans certains cas, un "schéma" de l'IFS est donné. Il consiste à tracer un carré et ses transformés par les fonctions de l'IFS. Ce type de schématisation est assez limité, puisque justement on ne peut pas déterminer à l'avance la forme du fractal et que le carré peut en être assez éloigné. Mais en fait ces schémas correspondent pour la plupart à l'expression des tendances que j'ai voulu assigner à telle ou telle figure avant de la générer. Ces schémas sont cependant produits automatiquement par le programme de génération des figures fractales que j'ai écrit.

La dimension fractale de la plupart des figures a été calculée et est mentionnée sur les images. En fait le mode de calcul<sup>70</sup> de cette dimension est assez fruste, et ne marche pas du tout dès qu'il y a recouvrement des différentes zones de l'attracteur. C'est pourquoi on rencontre des valeurs fantaisistes, parfois même supérieures à 2, ce qui pour des figures planes, même fractales, est tout de même paradoxal! Ce que cette valeur peut néanmoins nous apprendre, c'est comment elle évolue en fonction des variations introduites dans les taux d'homothétie. Cela peut même nous conduire à choisir des taux d'homothétie en vue d'obtenir une valeur de dimension fractale donnée.

<sup>68</sup> voir planches hors-texte N11 à 22

<sup>69</sup> voir note 64

<sup>70</sup> voir planche hors-texte N°6

## Bibliographie

### Ouvrages généraux

- Michael Barnsley *Fractals everywhere* Academic Press, 1988  
Philippe Boudon *Introduction à l'architecturologie* Dunod, 1992  
Peter Collins *Changing ideals in modern architecture 1750-1950* Faber & Faber, 1965  
D'Arcy Thompson *On growth and form* Cambridge University Press, 1961  
Gilles Deleuze *L'image-mouvement* Les Editions de Minuit, 1983  
Gilles Deleuze *Pourparlers*, Les Editions de Minuit, 1990  
David Georges Emmerich *Soft architecture* Institut de l'Environnement, 1974  
Henri Gaudin *Seuil et d'ailleurs* Les Editions du Demi-Cercle, 1992  
Jacques Mandelbrojt *Les cheveux de la réalité; autoportraits de l'art et de la science*, Alliage, 1991  
Frei Otto *Architecture et bionique* Delta & Spes, 1985  
Raymond Queneau *Odile* Gallimard, 1937  
Paul Valéry *Eupalinos ou l'architecte* Gallimard, 1944  
Frank Lloyd Wright *The future of architecture* Horizon Press, 1953

### Ouvrages collectifs et revues

- Architectural Design Profile* N°102 *Folding in architecture*, 1993  
*Architectural Design Profile* N°106 *Organic architecture*, 1993  
*Architectural Design Profile* N°110 *Aspects of minimal architecture*, 1994  
*El Croquis* N°81/82 ("Brief conversation with Eduardo Chillida")  
*Le Corbusier et la nature (rencontres des 14-15 juin 1991)* Fondation Le Corbusier  
*Reading and design of the physical environment* Actes du séminaire Rennes 5-9 avril 1993 EAB-ILAUD  
*La recherche en architecture: un bilan international* Actes du colloque "Rencontres, recherche, architecture" Marseille, Nancy, Nantes, Paris, 12-13-14 juin 1984, Ed. Parenthèses, 1986

### Monographies

- David Georges Emmerich éd. HYX, 1997  
Frederick Kiesler *Artiste-architecte* Editions du Centre Pompidou  
BLOC *Monolithe fracturé* (VIème mostra internationale d'architecture, Venise, 1996) Ed HYX AFAA  
Peter Blundell Jones *Hans Scharoun* Phaidon Press, 1995  
Donald Hoffman *Frank Lloyd Wright, architecture and nature* Dover publications, 1986

### Moteur de l'algorithme stochastique pour un IFS de fonctions affines

```
for (j=0;j<=nw;j++)
{
    det[j]=fabs(a[j]*d[j]-b[j]*c[j]);
    if (det[j]==0)
        det[j]=.01;
    somme=somme+det[j];
}

for (j=0;j<=nw;j++)
{
    pp[j]=det[j]/somme;
    p[j]=0;
    for (jj=0;jj<=nw;jj++)
    {
        p[j]=(p[j]+pp[jj]);
    }
    p[j]=RAND_MAX*p[j];
}

for (i=1;i<=n;i++)
{
    alea=rand();
    if (alea<p[0])
        k=0;
    else if (alea<p[1])
        k=1;
    else if (alea<p[2])
        k=2;
    else if (alea<p[3])
        k=3;
    else if (alea<p[4])
        k=4;
    else if (alea<p[5])
        k=5;
    else
        k=6;
    xx=a[k]*x+b[k]*y+e[k];
    yy=c[k]*x+d[k]*y+f[k];
    x=xx;
    y=yy;
    xp=x0+dx*x;
    yp=y0+dy*y;
    SetRect(&point,xp,yp,xp+1,yp+1);
    PaintRect(&point);
}
```

## Moteur de l'algorithme stochastique pour un IFS de similitudes

```
for (j=0;j<=nw;j++)
{
    a[j]=(taux[j])*cos(angle[j]);
    b[j]=-(taux[j])*sin(angle[j]);
    c[j]=(taux[j])*sin(angle[j]);
    d[j]=(taux[j])*cos(angle[j]);
}
... (id IFS de fonctions affines)
```

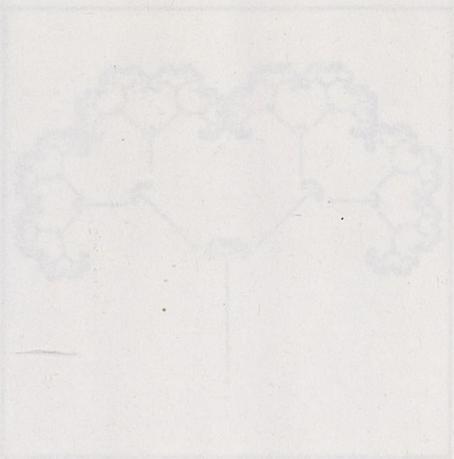
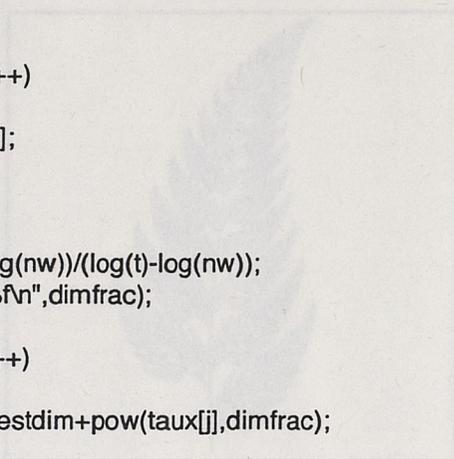
### Algorithme du calcul de la dimension fractale pour un IFS de similitudes

```
for (j=0;j<=nw-1;j++)
{
    t=t+taux[j];
}
printf("t= %f\n",t);

dimfrac=(log(1)-log(nw))/(log(t)-log(nw));
printf("dimfrac= %f\n",dimfrac);

for (j=0;j<=nw-1;j++)
{
    testdim=testdim+pow(taux[j],dimfrac);
}

printf("testdim= %f\n",testdim);
```



IFS stochastique (fonctions affines)

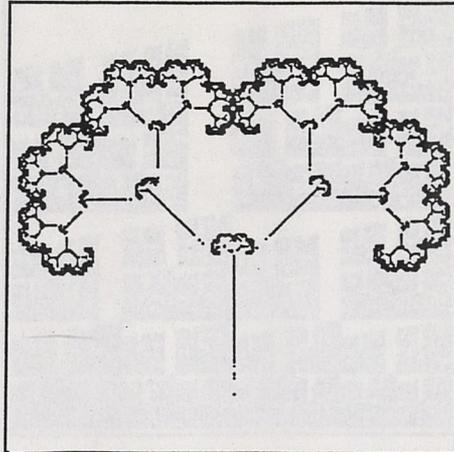
nw=4

	w1	w2	w3	w4
a	0	0,85	0,2	-0,15
b	0	0,04	-0,26	0,28
c	0	-0,04	0,23	0,26
d	0,16	0,85	0,22	0,24
e	0	0	0	0
f	0	1,6	1,6	0,44



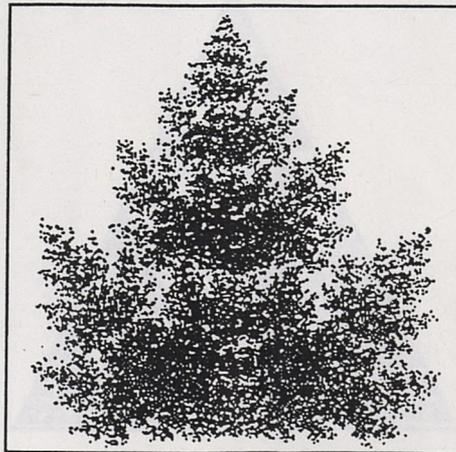
nw=4

	w1	w2	w3	w4
a	0	0,42	0,42	0,1
b	0	-0,42	0,42	0
c	0	0,42	-0,42	0,3
d	0,5	0,42	0,42	0,1
e	0	0	0	0
f	0	0,2	0,2	0,2



nw=4

	w1	w2	w3	w4
a	0,6	0,6	0,4	0,4
b	0	0	0,3	-0,3
c	0	0	-0,3	0,3
d	0,6	0,6	0,4	0,44
e	0,72	0,72	1,08	1,08
f	1,44	0,48	1,44	0,36

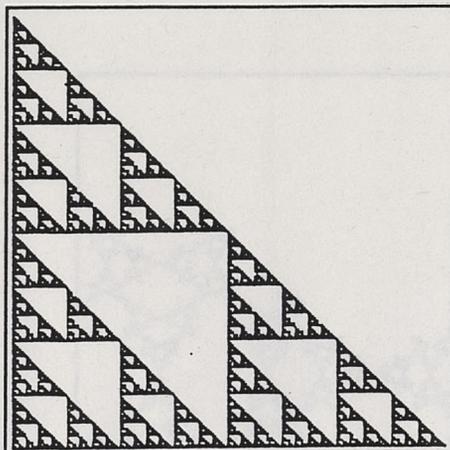


IFS stochastique (similitudes)

nw=3

	w1	w2	w3
taux	0,5	0,5	0,5
angle	0	0	0
dx	0	0,5	0
dy	0	0	0,5

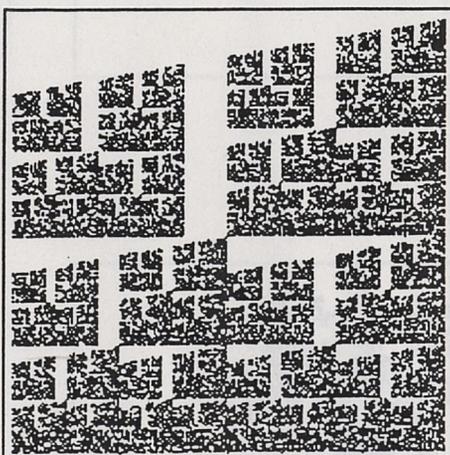
D=1,585



nw=4

	w1	w2	w3	w4
taux	0,5	0,5	0,4	0,5
angle	0	0	0	0
dx	0	1	0	1
dy	0	0	1	1

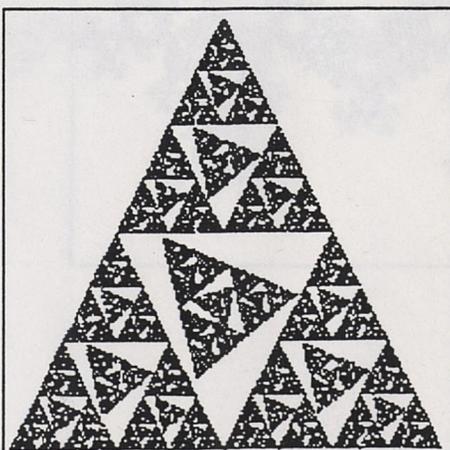
D=1,862



nw=4

	w1	w2	w3	w4
taux	0,5	0,5	0,5	0,3
angle	0	0	0	40°
dx	0	1	0,5	0,875
dy	0	0	1	0,33

D=1,736

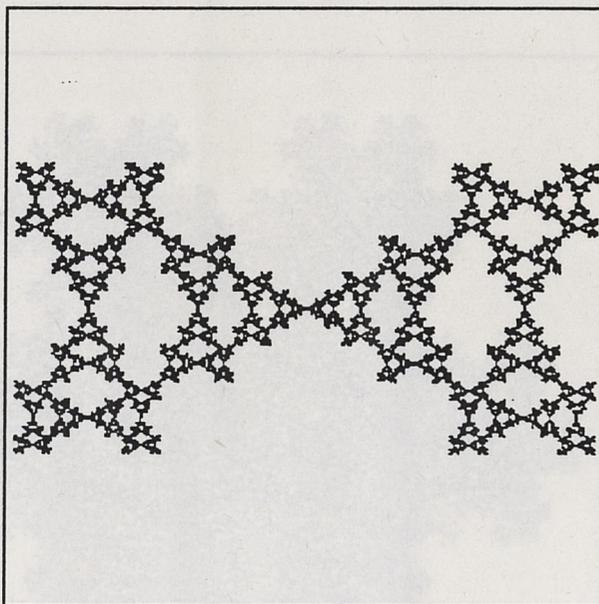


IFS stochastique (similitudes)

nw=3

	w1	w2	w3
taux	0,5	0,5	0,5
angle	0	$\pi/2$	$\pi/2$
dx	0	0,5	-0,5
dy	0	0	0

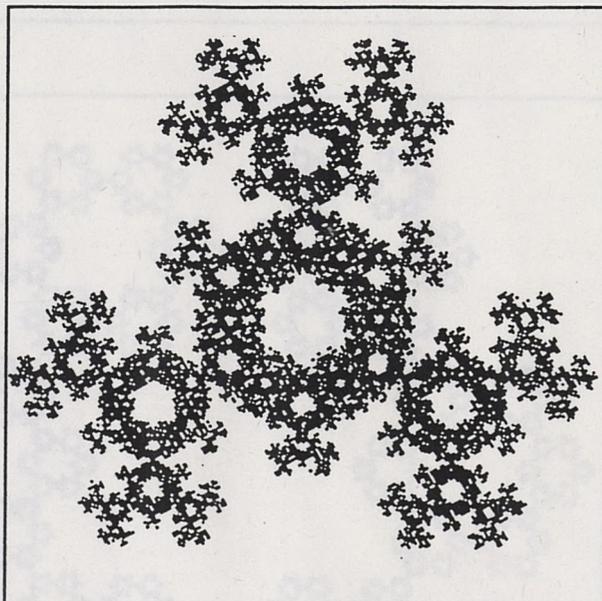
D=1,585



nw=6

	w1	w2	w3	w4	w5	w6
taux	0,5	0,5	0,5	0,25	0,25	0,25
angle	$\pi$	$\pi$	$\pi$	$\pi$	$\pi$	$\pi$
dx	0	0,866	-0,866	0	0,433	-0,433
dy	-1	0,5	0,5	0,5	-0,25	-0,25

D=1,827

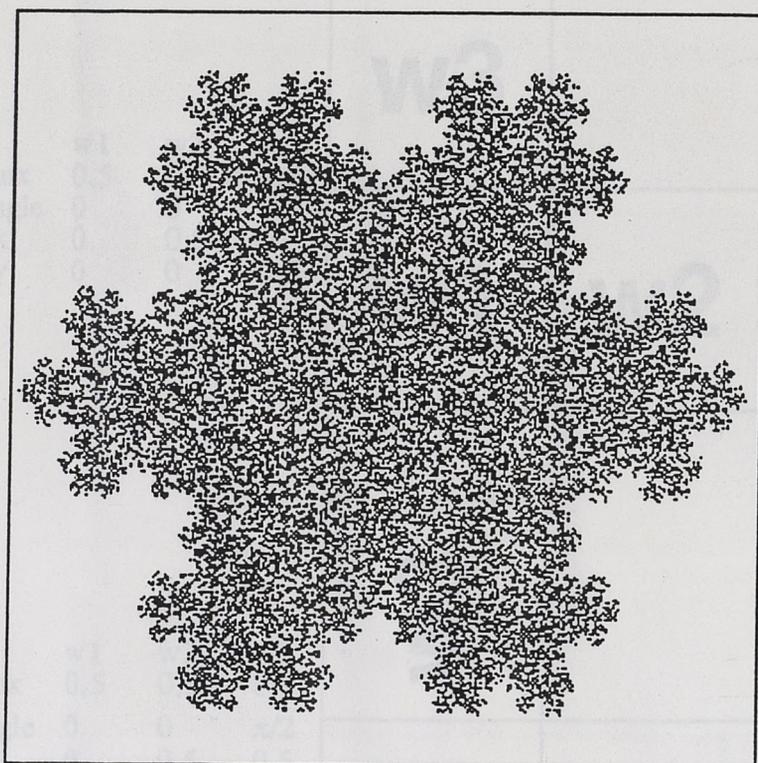


IFS stochastique (similitudes)

nw=7

	taux	angle	dx	dy
w1	0,33	$\pi$	1	0
w2	0,33	$\pi$	0,5	0,866
w3	0,33	$\pi$	-0,5	0,866
w4	0,33	$\pi$	-1	0
w5	0,33	$\pi$	-0,5	-0,866
w6	0,33	$\pi$	0,5	-0,866
w7	0,575	$\pi/2$	0	0

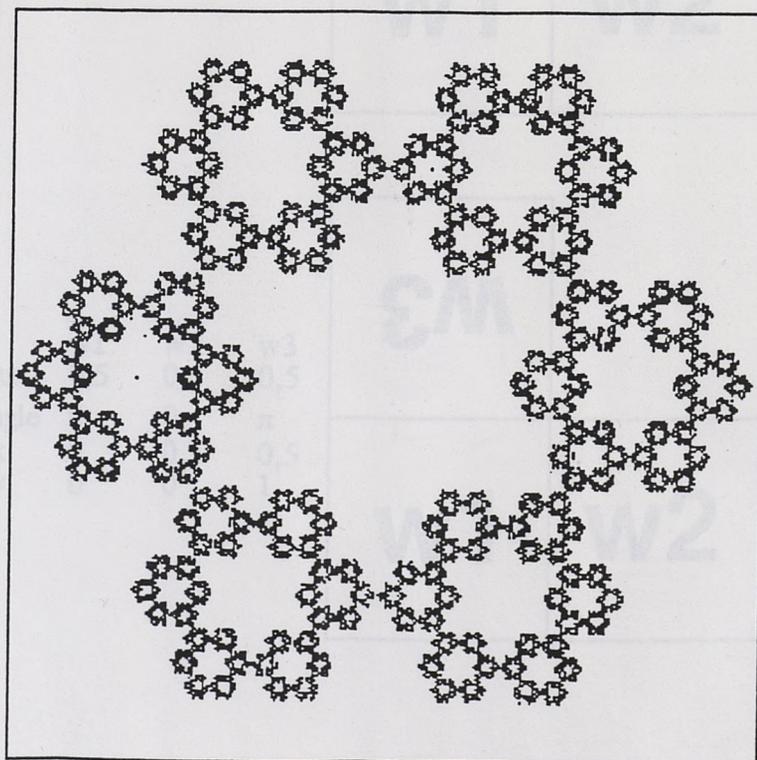
D=1,93

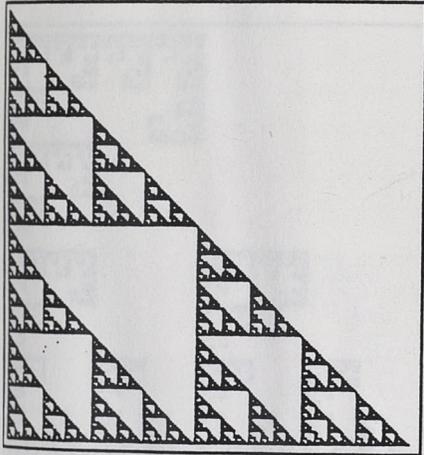


nw=6

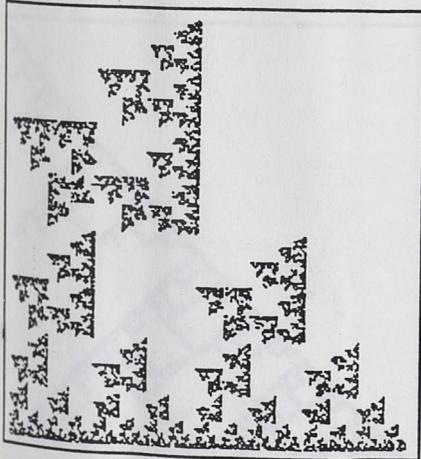
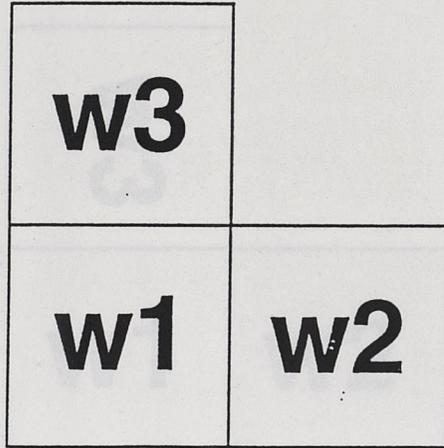
	taux	angle	dx	dy
w1	0,33	0	1	0
w2	0,33	0	0,5	0,866
w3	0,33	0	-0,5	0,866
w4	0,33	0	-1	0
w5	0,33	0	-0,5	-0,866
w6	0,33	0	0,5	-0,866

D=1,616

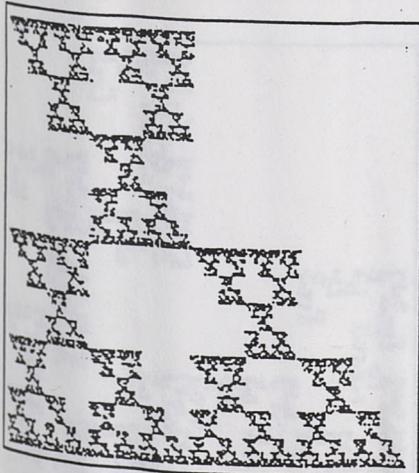
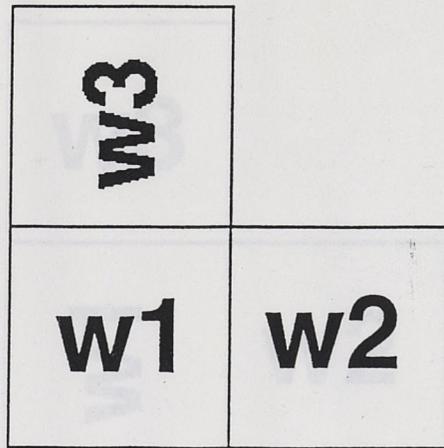




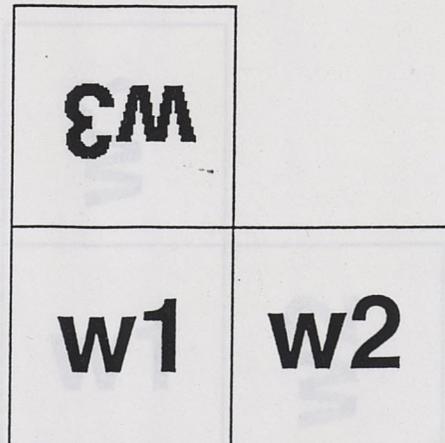
	w1	w2	w3
taux	0,5	0,5	0,5
angle	0	0	0
dx	0	0,5	0
dy	0	0	0,5

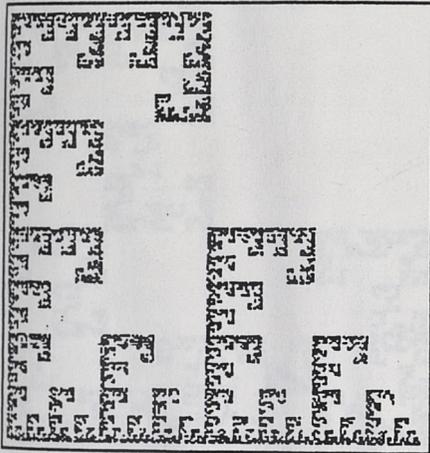


	w1	w2	w3
taux	0,5	0,5	0,5
angle	0	0	$\pi/2$
dx	0	0,5	0,5
dy	0	0	0,5

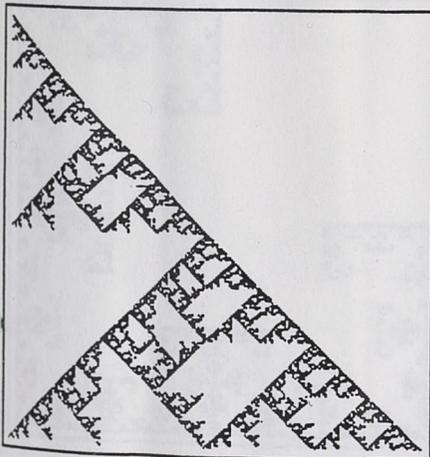
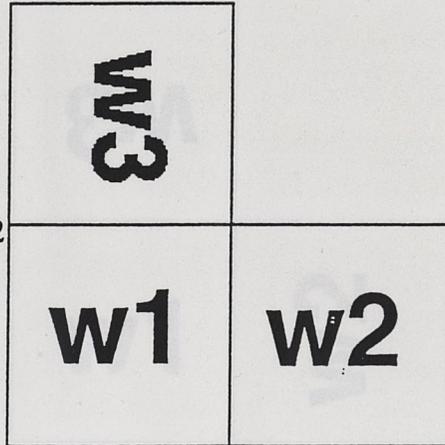


	w1	w2	w3
taux	0,5	0,5	0,5
angle	0	0	$\pi$
dx	0	0,5	0,5
dy	0	0	1

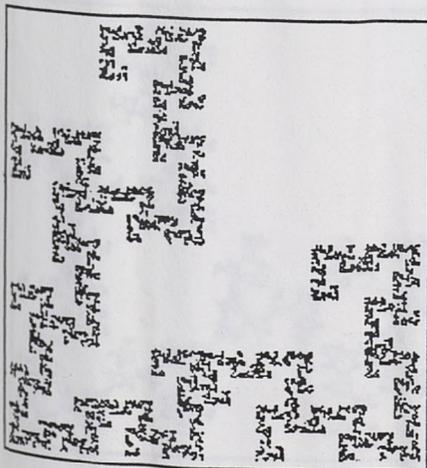
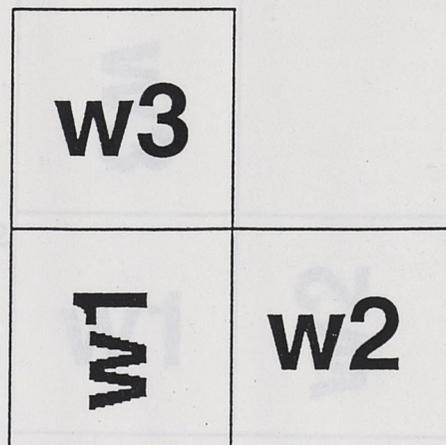




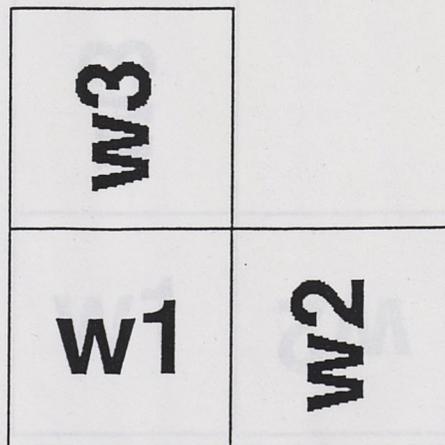
	w1	w2	w3
taux	0,5	0,5	0,5
angle	0	0	$-\pi/2$
dx	0	0,5	0
dy	0	0	1

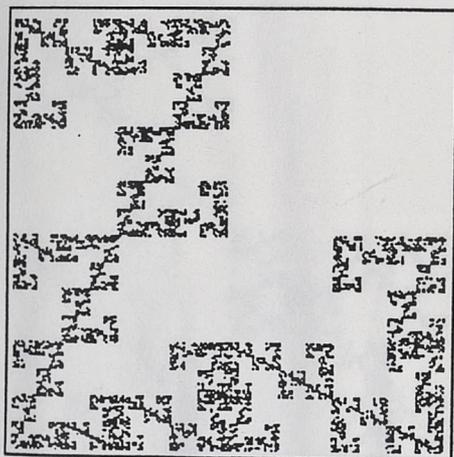


	w1	w2	w3
taux	0,5	0,5	0,5
angle	$\pi/2$	0	0
dx	0,5	0,5	0
dy	0	0	0,5

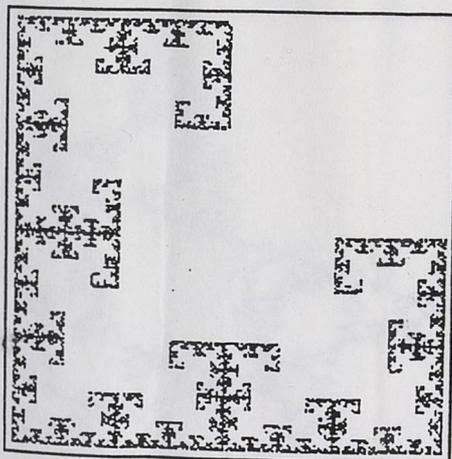
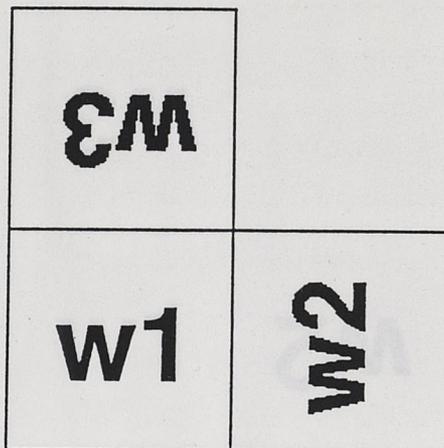


	w1	w2	w3
taux	0,5	0,5	0,5
angle	0	$\pi/2$	$\pi/2$
dx	0	1	0,5
dy	0	0	0,5

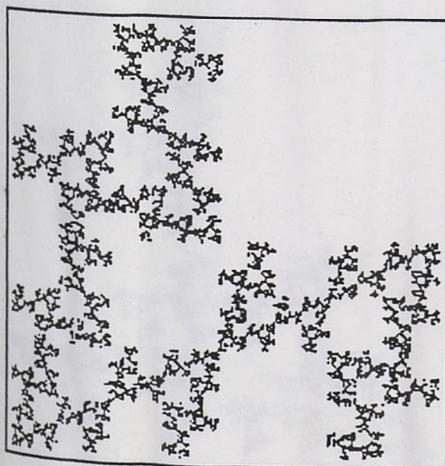
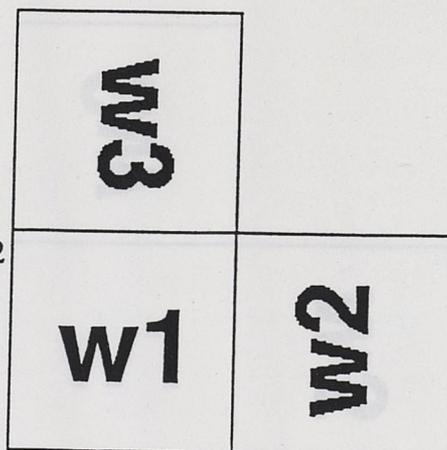




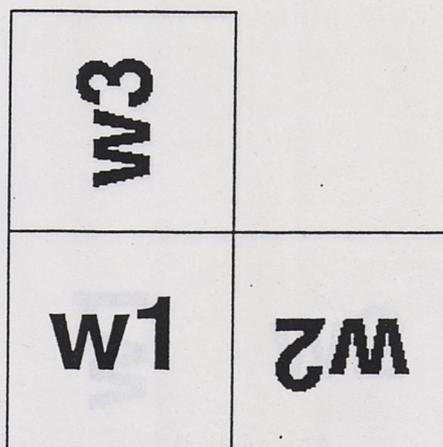
	w1	w2	w3
taux	0,5	0,5	0,5
angle	0	$\pi/2$	$\pi$
dx	0	1	0,5
dy	0	0	1

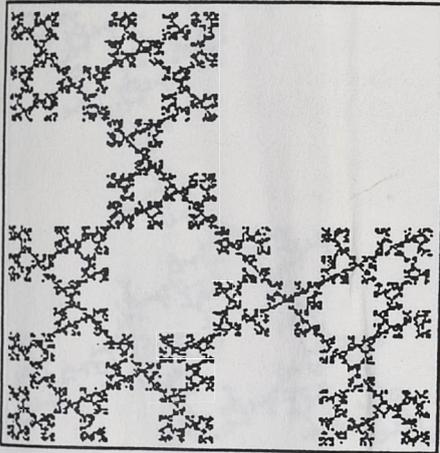


	w1	w2	w3
taux	0,5	0,5	0,5
angle	0	$\pi/2$	$-\pi/2$
dx	0	1	0
dy	0	0	1

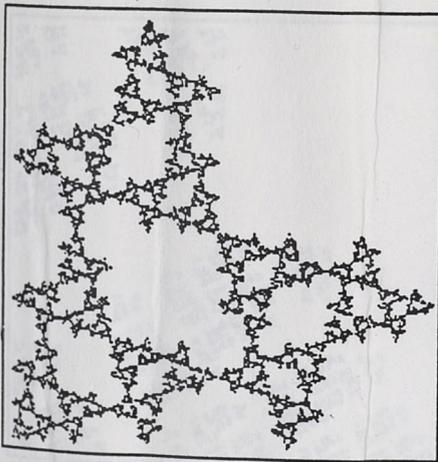
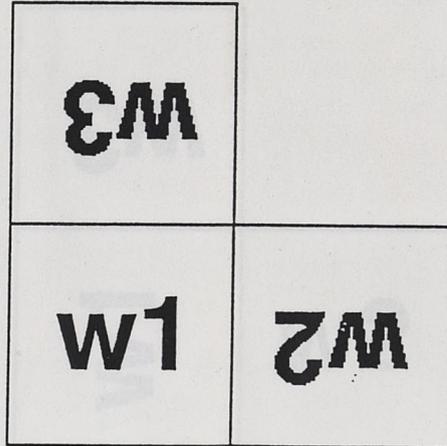


	w1	w2	w3
taux	0,5	0,5	0,5
angle	0	$\pi$	$\pi/2$
dx	0	1	0,5
dy	0	0,5	0,5

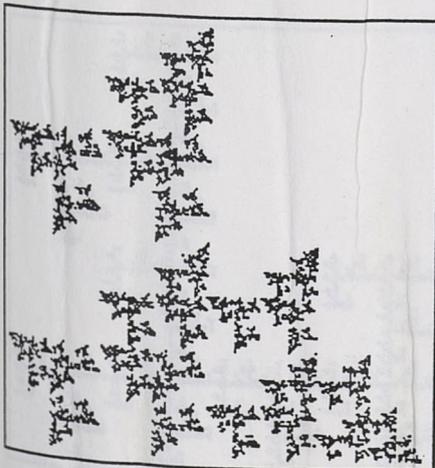
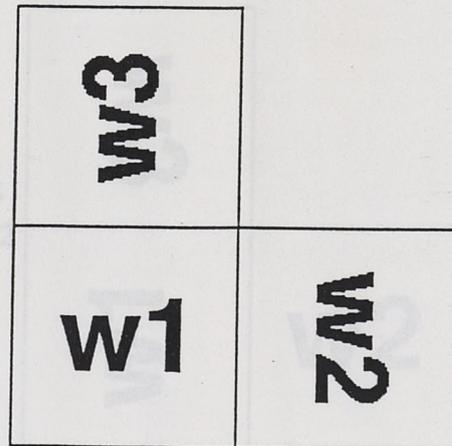




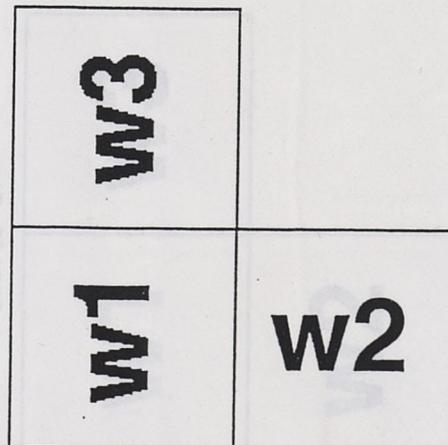
	w1	w2	w3
taux	0,5	0,5	0,5
angle	0	$\pi$	$\pi$
dx	0	1	0,5
dy	0	0,5	1

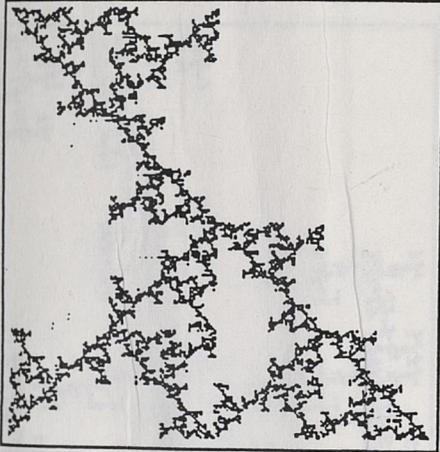


	w1	w2	w3
taux	0,5	0,5	0,5
angle	0	$-\pi/2$	$\pi/2$
dx	0	0,5	0,5
dy	0	0,5	0,5

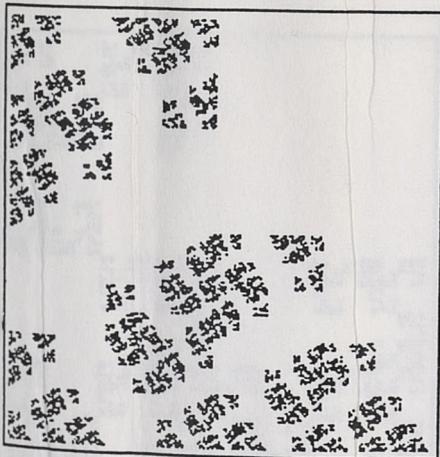
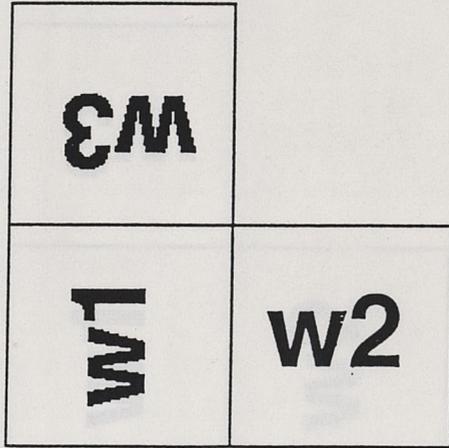


	w1	w2	w3
taux	0,5	0,5	0,5
angle	$\pi/2$	0	$\pi/2$
dx	0,5	0,5	0,5
dy	0	0	0,5

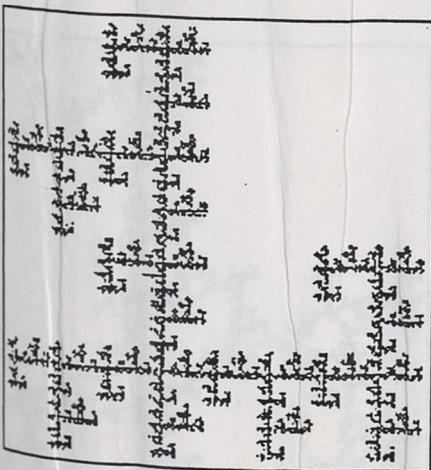
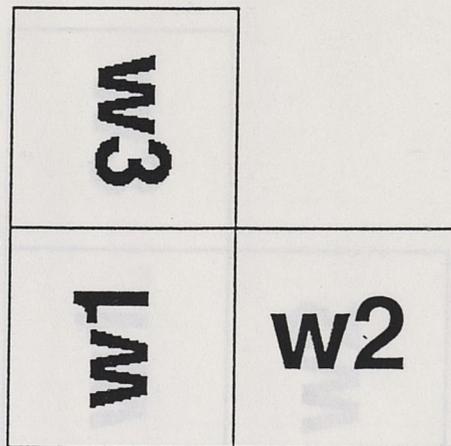




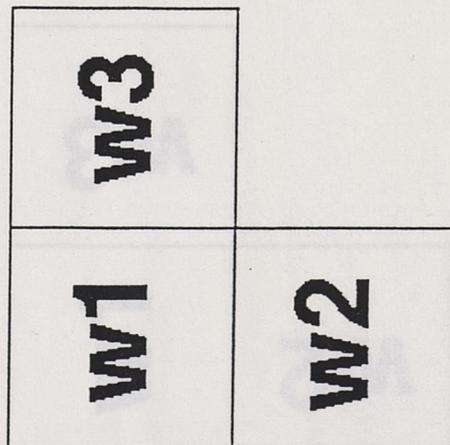
	w1	w2	w3
taux	0,5	0,5	0,5
angle	$\pi/2$	0	$\pi$
dx	0,5	0,5	0,5
dy	0	0	1

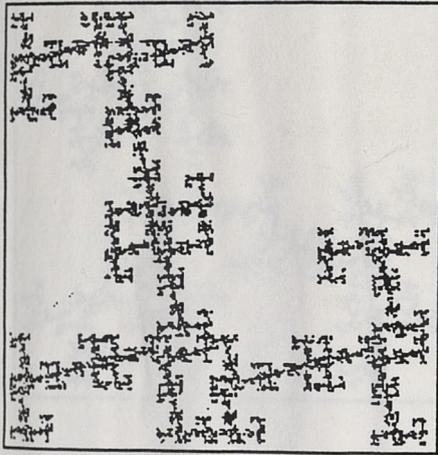


	w1	w2	w3
taux	0,5	0,5	0,5
angle	$\pi/2$	0	$-\pi/2$
dx	0,5	0,5	0
dy	0	0	1

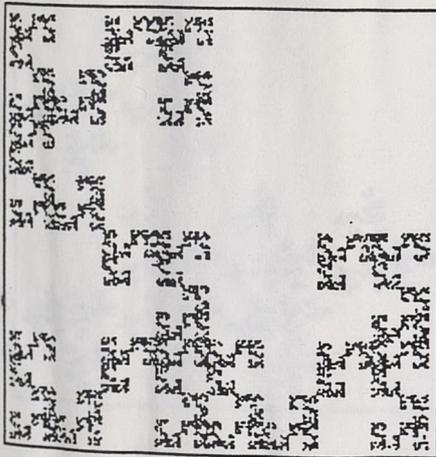
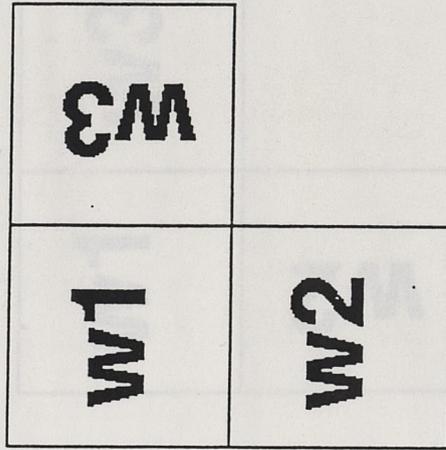


	w1	w2	w3
taux	0,5	0,5	0,5
angle	$\pi/2$	$\pi/2$	$\pi/2$
dx	0,5	1	0,5
dy	0	0	0,5

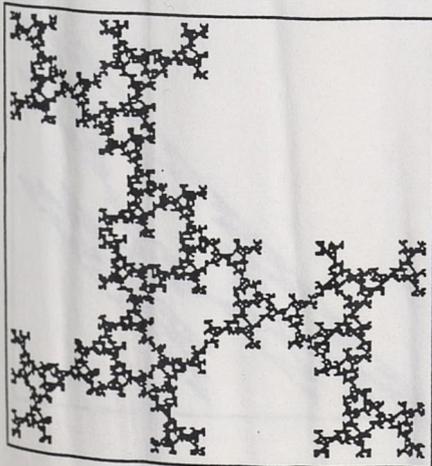
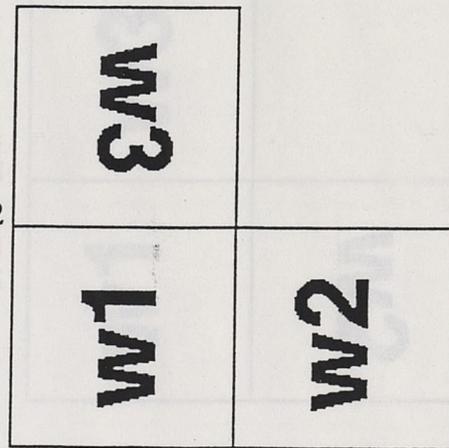




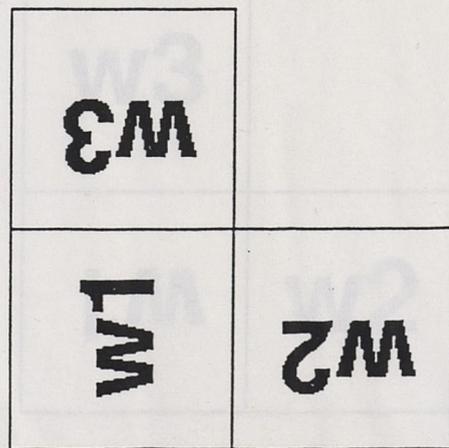
	w1	w2	w3
taux	0,5	0,5	0,5
angle	$\pi/2$	$\pi/2$	$\pi$
dx	0,5	1	0,5
dy	0	0	1

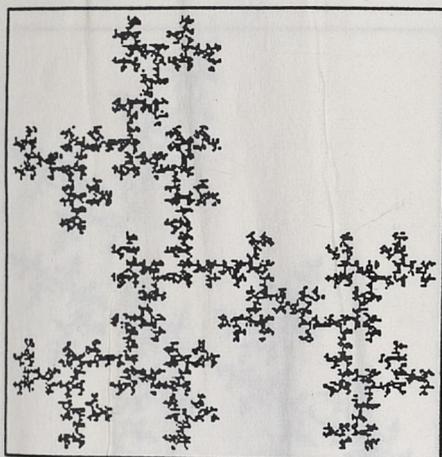


	w1	w2	w3
taux	0,5	0,5	0,5
angle	$\pi/2$	$\pi/2$	$-\pi/2$
dx	0,5	1	0
dy	0	0	1

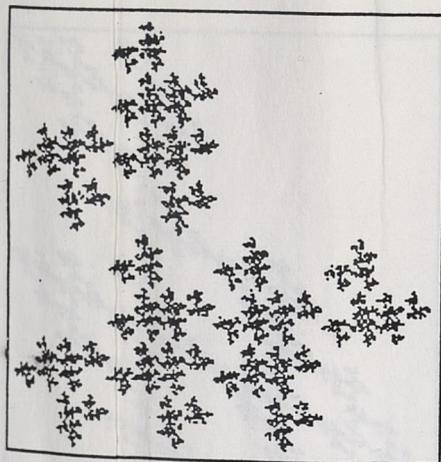
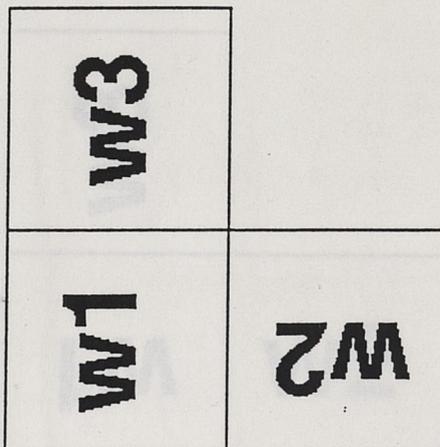


	w1	w2	w3
taux	0,5	0,5	0,5
angle	$\pi/2$	$\pi$	$\pi$
dx	0,5	1	0,5
dy	0	0,5	1

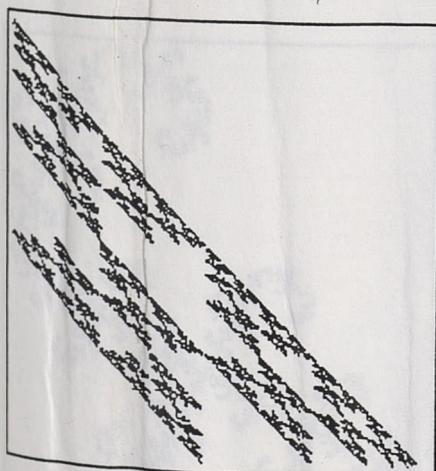
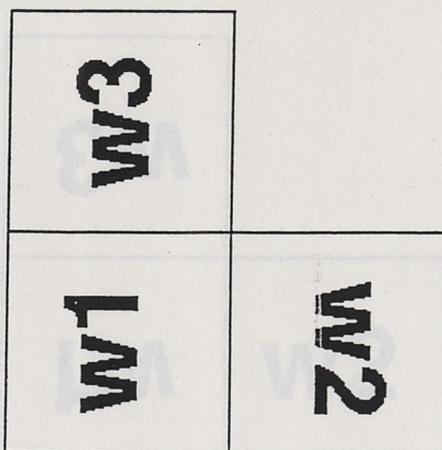




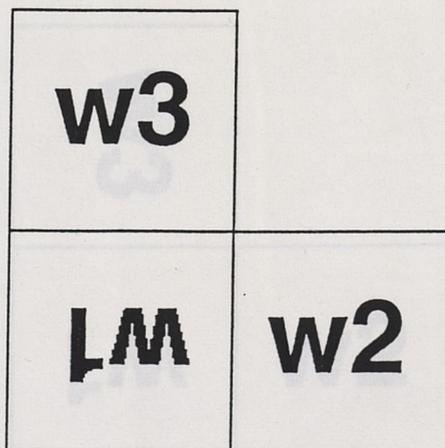
	w1	w2	w3
taux	0,5	0,5	0,5
angle	$\pi/2$	$\pi$	$\pi/2$
dx	0,5	0,5	0,5
dy	0	0,5	0,5

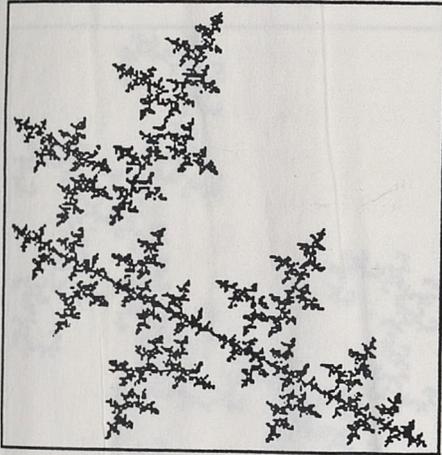


	w1	w2	w3
taux	0,5	0,5	0,5
angle	$\pi/2$	$-\pi/2$	$\pi/2$
dx	0,5	0,5	0,5
dy	0	0,5	0,5

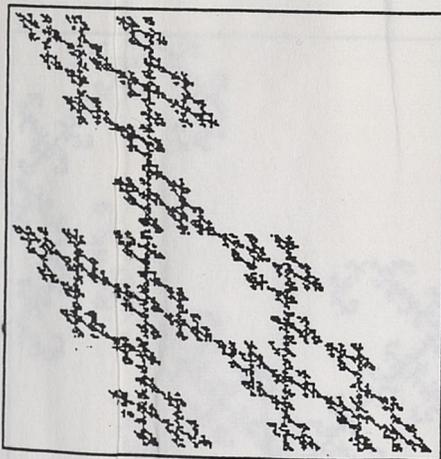
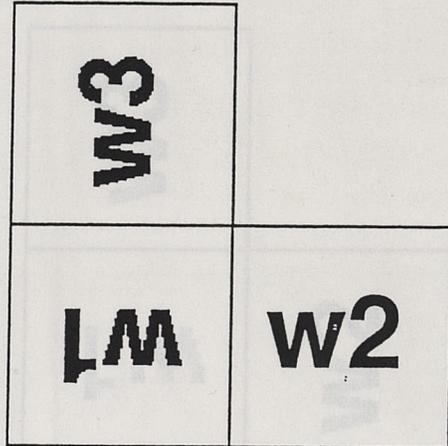


	w1	w2	w3
taux	0,5	0,5	0,5
angle	$\pi$	0	0
dx	0,5	0,5	0
dy	0,5	0	0,5

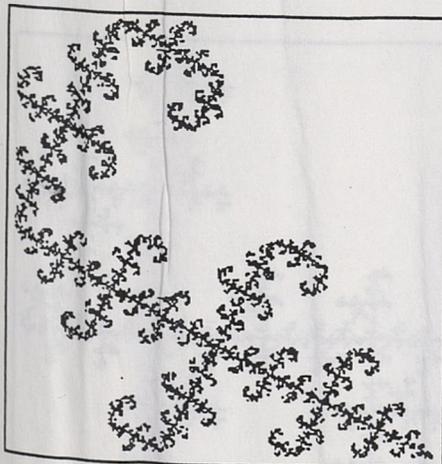
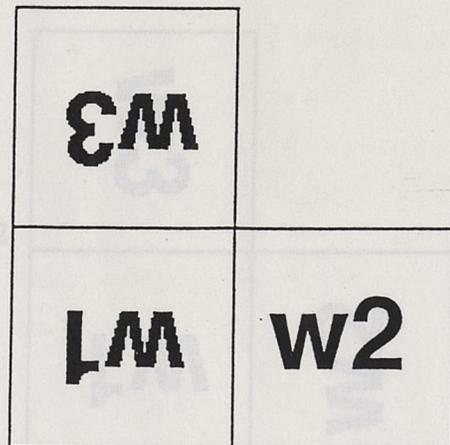




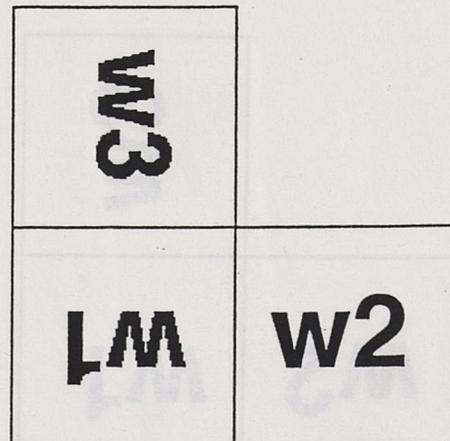
	w1	w2	w3
taux	0,5	0,5	0,5
angle	$\pi$	0	$\pi/2$
dx	0,5	0,5	0,5
dy	0,5	0	0,5

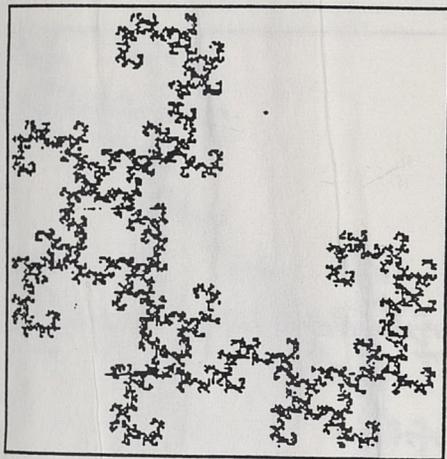


	w1	w2	w3
taux	0,5	0,5	0,5
angle	$\pi$	0	$\pi$
dx	0,5	0,5	0,5
dy	0,5	0	1

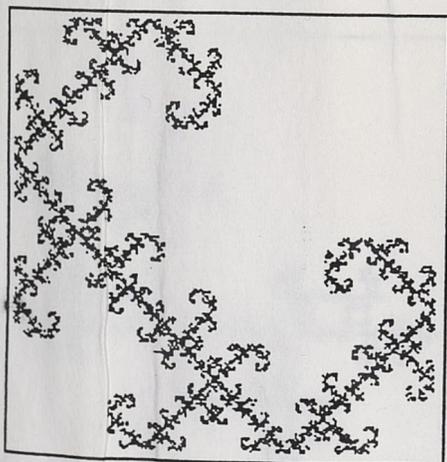
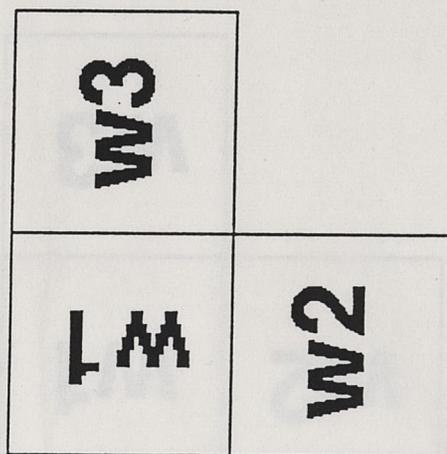


	w1	w2	w3
taux	0,5	0,5	0,5
angle	0	$\pi/2$	$-\pi/2$
dx	0	1	0
dy	0	0	1

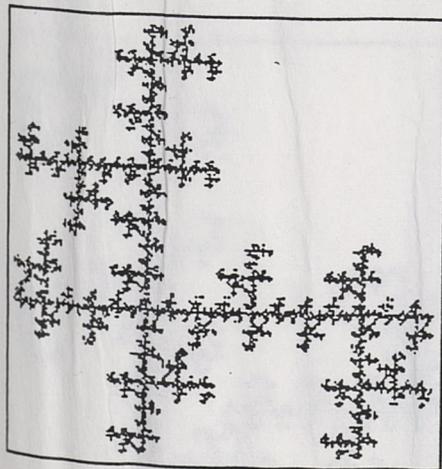
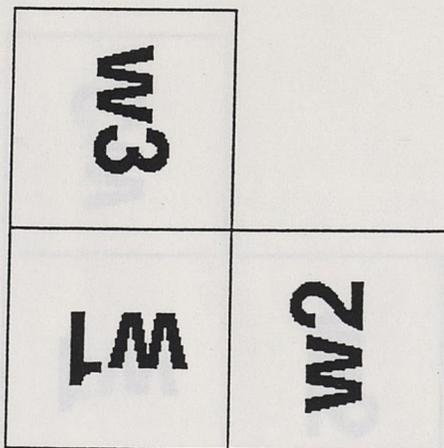




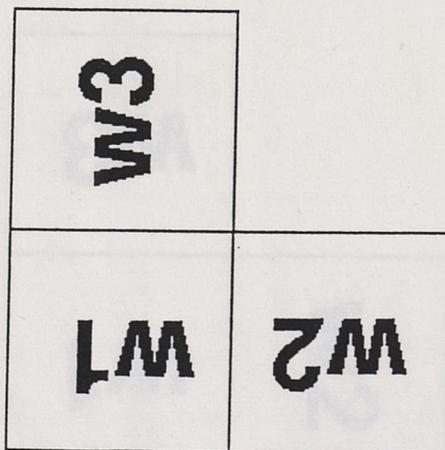
	w1	w2	w3
taux	0,5	0,5	0,5
angle	$\pi$	$\pi/2$	$\pi/2$
dx	0,5	1	0,5
dy	0,5	0	0,5

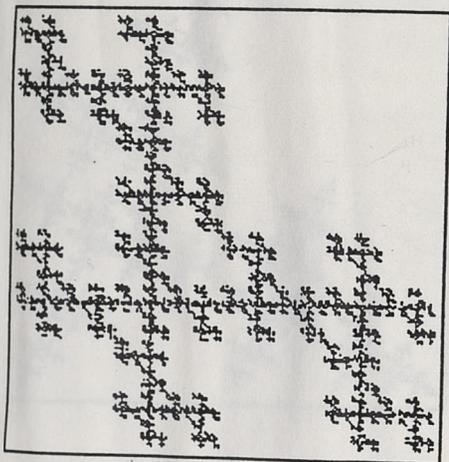


	w1	w2	w3
taux	0,5	0,5	0,5
angle	$\pi$	$\pi/2$	$-\pi/2$
dx	0,5	1	0
dy	0,5	0	1

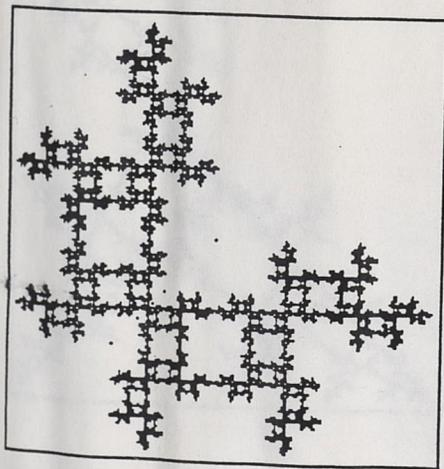
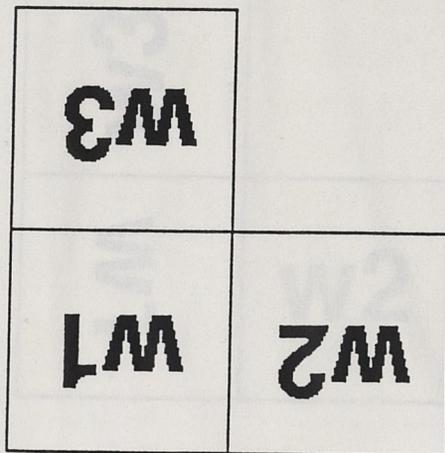


	w1	w2	w3
taux	0,5	0,5	0,5
angle	$\pi$	$\pi$	$\pi/2$
dx	0,5	1	0,5
dy	0,5	0,5	0,5

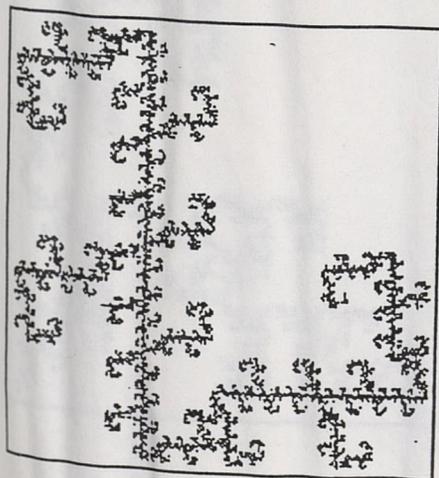
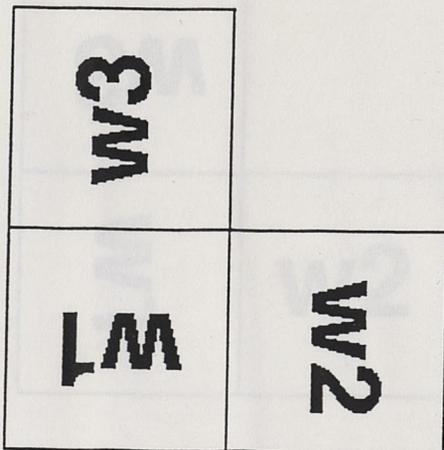




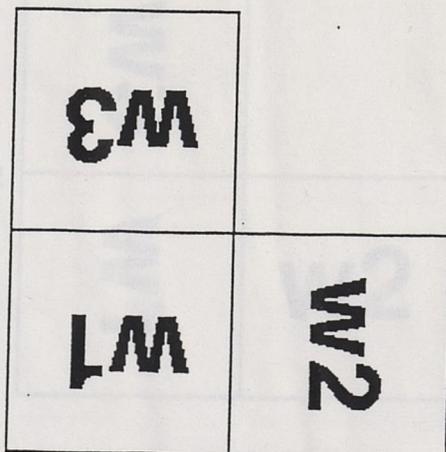
	w1	w2	w3
taux	0,5	0,5	0,5
angle	$\pi$	$\pi$	$\pi$
dx	0,5	1	0,5
dy	0,5	0,5	1

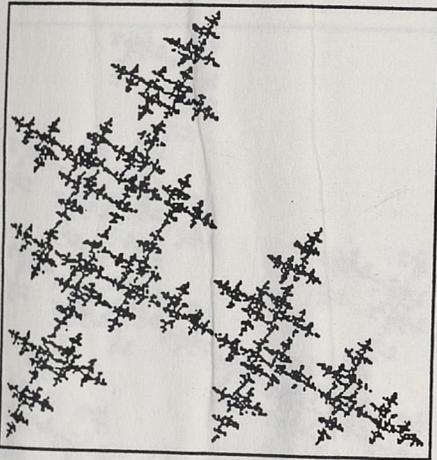


	w1	w2	w3
taux	0,5	0,5	0,5
angle	$\pi$	$-\pi/2$	$\pi/2$
dx	0,5	0,5	0,5
dy	0,5	0,5	0,5

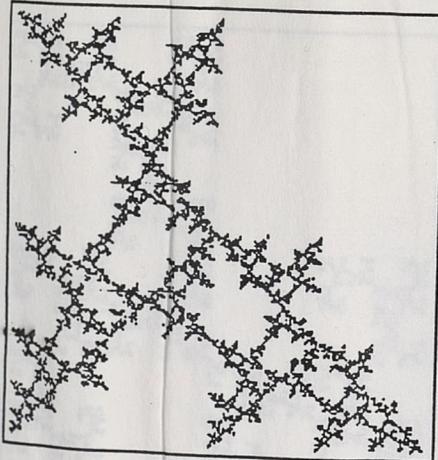
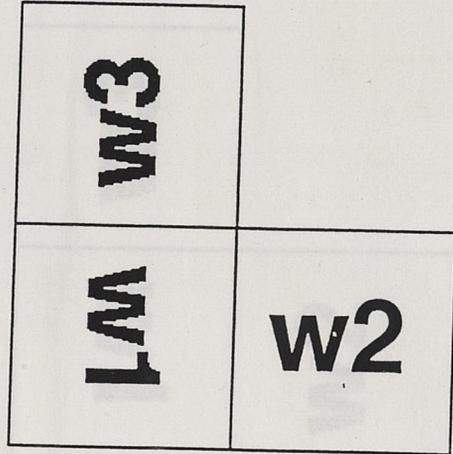


	w1	w2	w3
taux	0,5	0,5	0,5
angle	$\pi$	$-\pi/2$	$\pi$
dx	0,5	0,5	0,5
dy	0,5	0,5	1

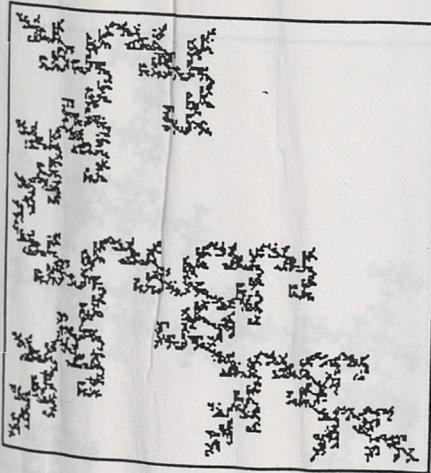
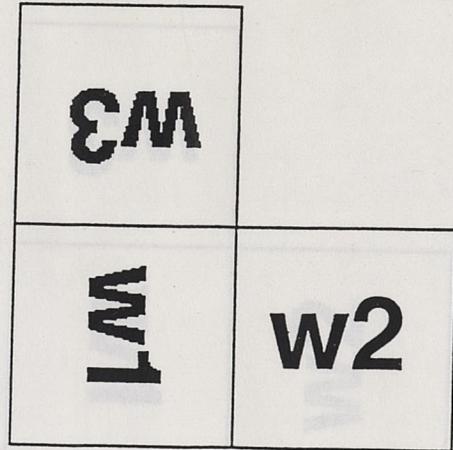




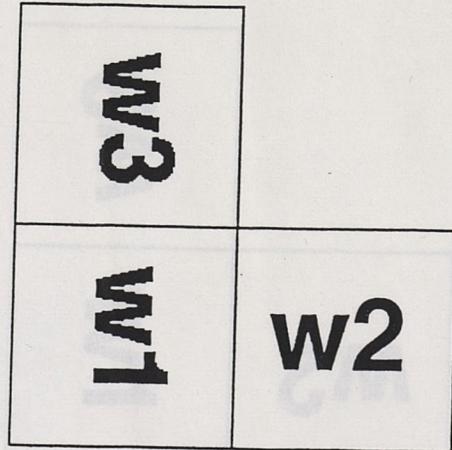
	w1	w2	w3
taux	0,5	0,5	0,5
angle	$-\pi/2$	0	$\pi/2$
dx	0	0,5	0,5
dy	0,5	0	0,5

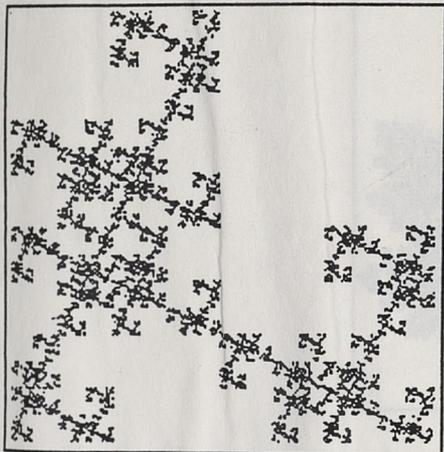


	w1	w2	w3
taux	0,5	0,5	0,5
angle	$-\pi/2$	0	$\pi$
dx	0	0,5	0,5
dy	0,5	0	1

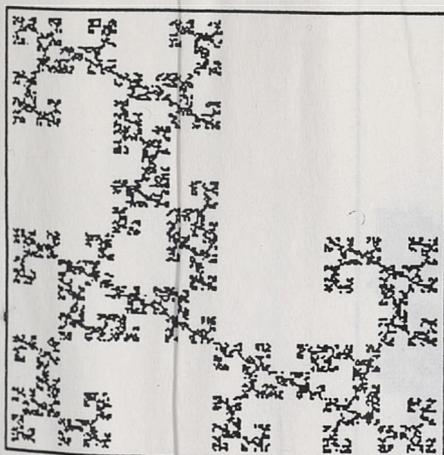
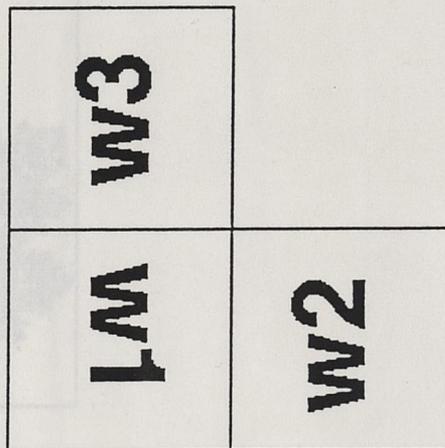


	w1	w2	w3
taux	0,5	0,5	0,5
angle	$-\pi/2$	0	$-\pi/2$
dx	0	0,5	0
dy	0,5	0	1

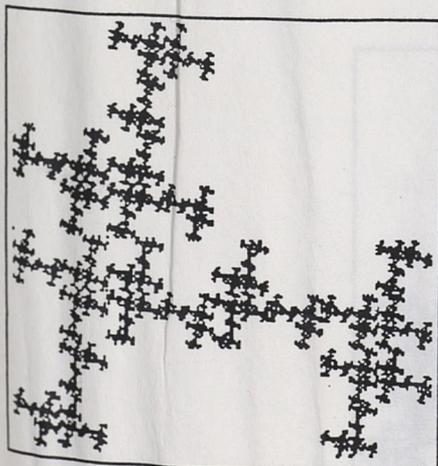
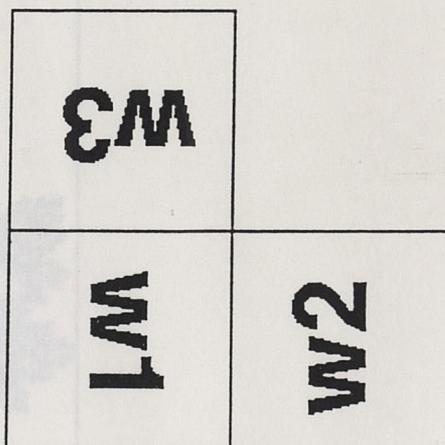




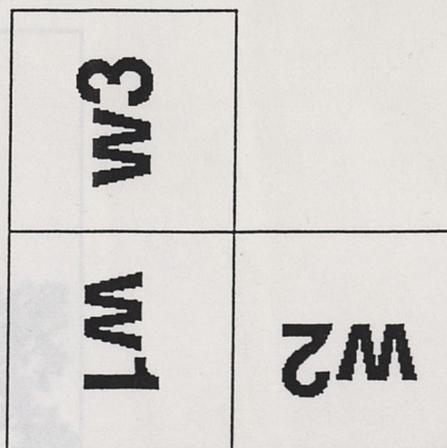
	w1	w2	w3
taux	0,5	0,5	0,5
angle	$-\pi/2$	$\pi/2$	$\pi/2$
dx	0	1	0,5
dy	0,5	0	0,5

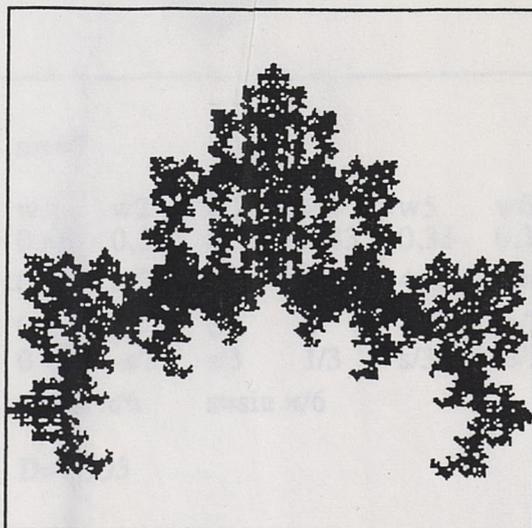
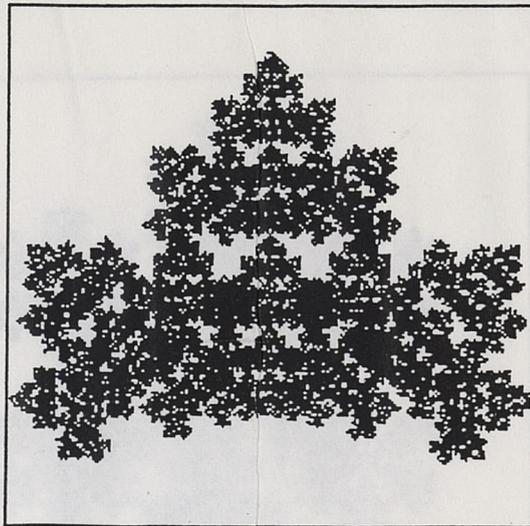
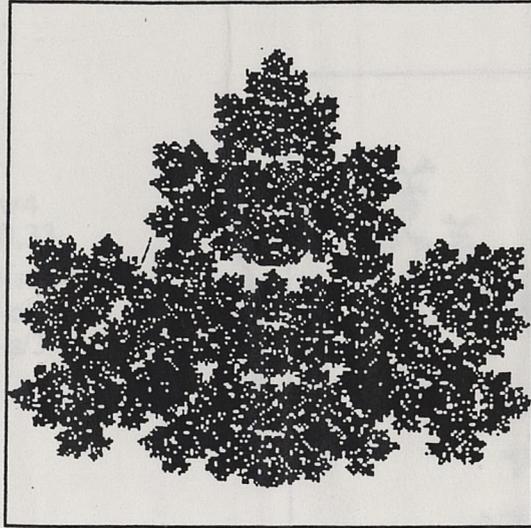


	w1	w2	w3
taux	0,5	0,5	0,5
angle	$-\pi/2$	$\pi/2$	$\pi$
dx	0	1	0,5
dy	0,5	0	1

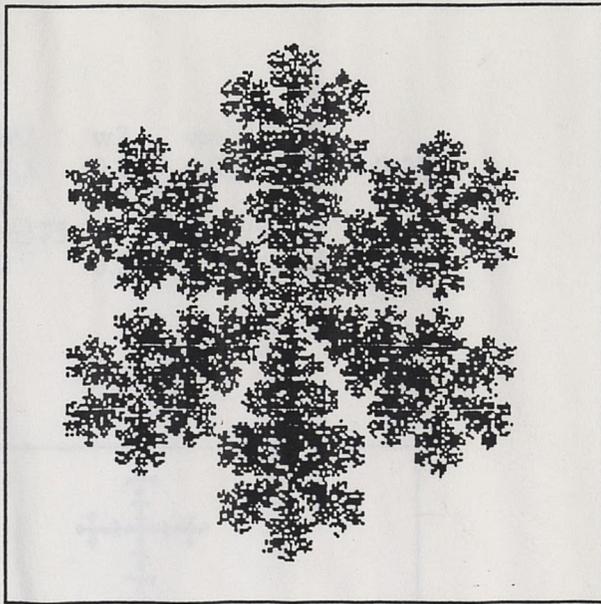
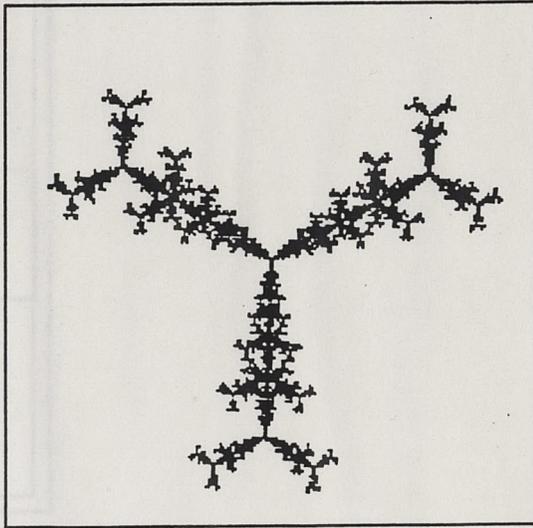


	w1	w2	w3
taux	0,5	0,5	0,5
angle	$-\pi/2$	$\pi$	$\pi/2$
dx	0	1	0,5
dy	0,5	0,5	0,5

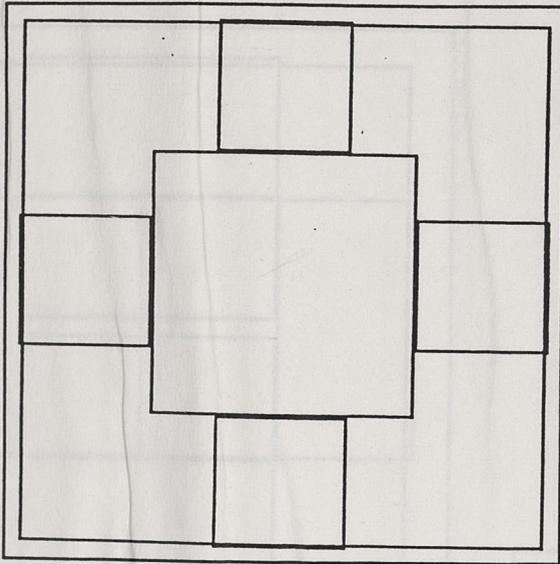




nw=4  
 taux w1 w2 w3 w4  
 0,66 0,33 0,33 0,33  
 angle 0  $\pi/3$   $\pi$   $-\pi/3$   
 dx 0 c/3 0 -c/3  
 dy 0 -s/3 1/3 -s/3  
 c=cos  $\pi/6$  s=sin  $\pi/6$   
 D=1,566



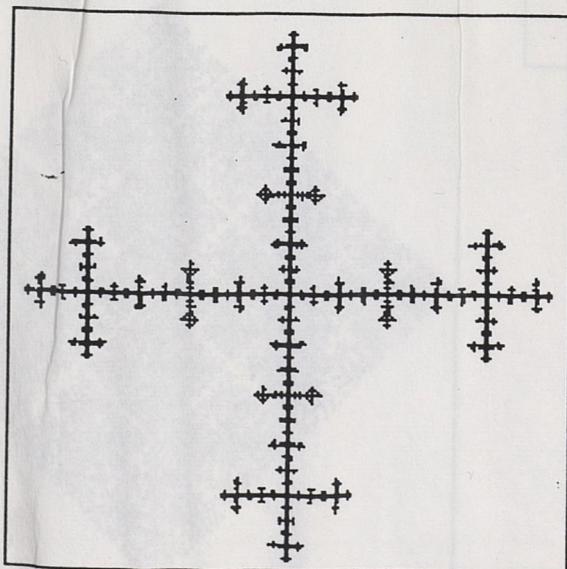
nw=7  
 taux w1 w2 w3 w4 w5 w6 w7  
 0,66 0,33 0,33 0,33 0,33 0,33 0,33  
 angle 0  $\pi/3$   $2\pi/3$   $\pi$   $4\pi/3$   $5\pi/3$  0  
 dx 0 c/3 c/3 0 -c/3 -c/3 0  
 dy 0 -s/3 s/3 1/3 s/3 -s/3 -1/3  
 c=cos  $\pi/6$  s=sin  $\pi/6$   
 D=1,995

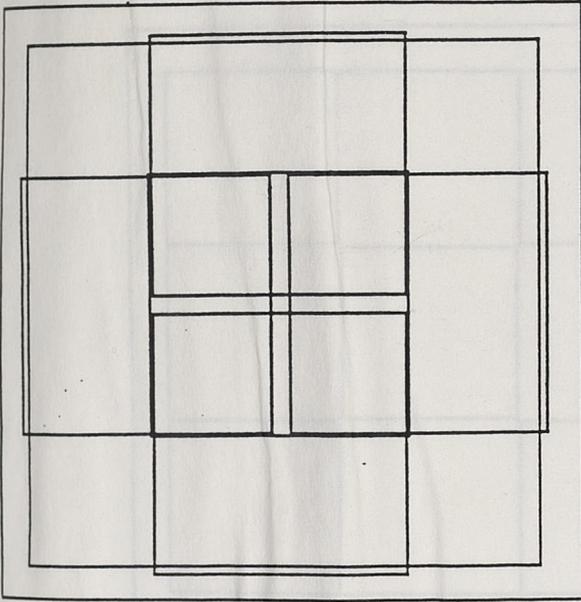


nw=5

w1	w2	w3	w4	w5	
taux	0,5	0,25	0,25	0,25	0,25
angle	0	0	0	0	0
dx 0	0,375	0	-0,375	0	
dy 0	0	0,375	0	-0,375	

D=1,337

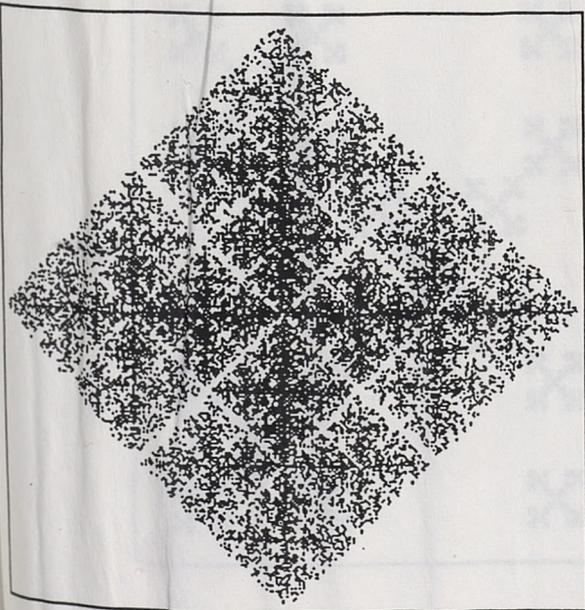
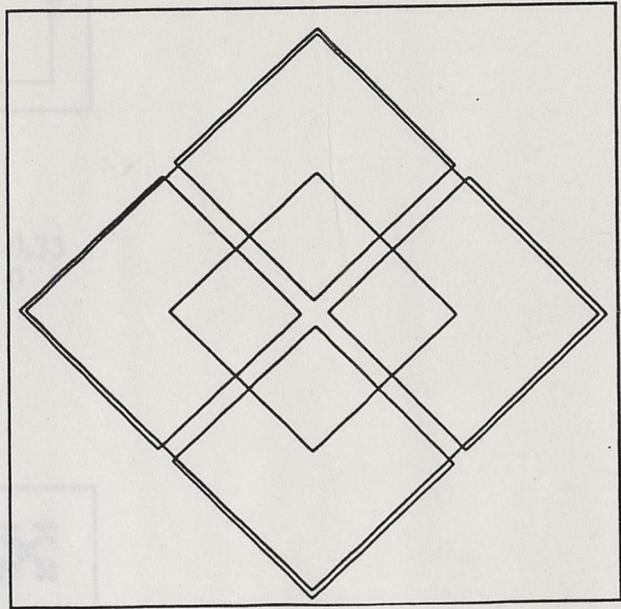


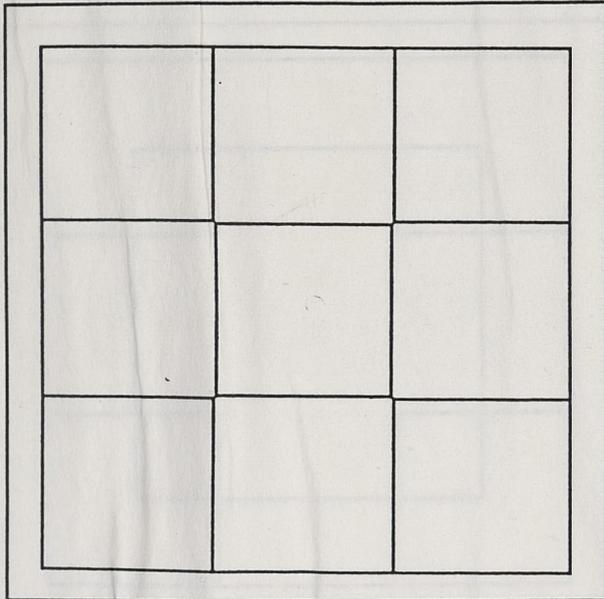


nw=5

	w1	w2	w3	w4	w5
taux	0,5	0,49	0,49	0,49	0,49
angle	0	0	0	0	0
dx	0	0,375	0	-0,375	0
dy	0	0	0,375	0	-0,375

D=2,269

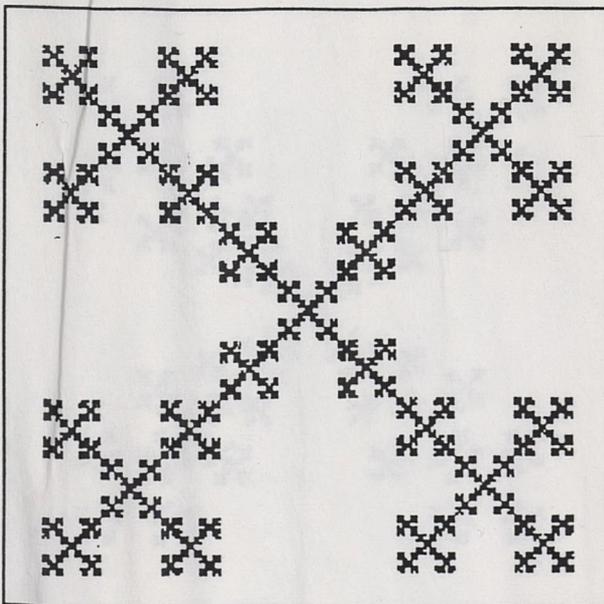


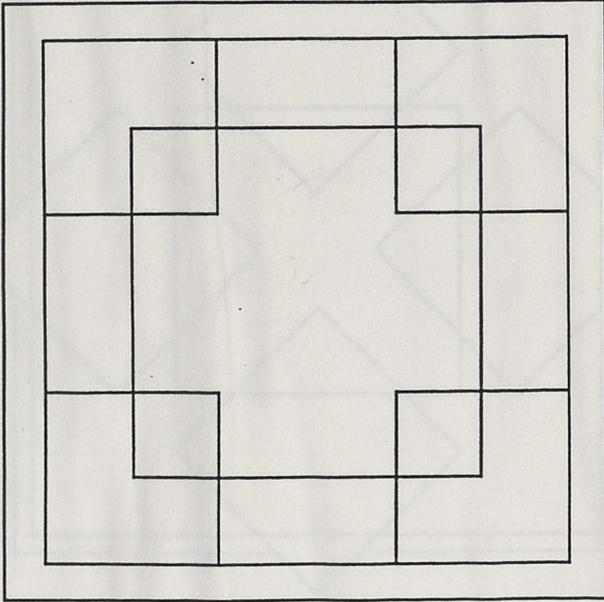


nw=5

	w1	w2	w3	w4	w5
taux	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33
angle	0	0	0	0	0
dx 0	0,33	0,33	-0,33	-0,33	
dy 0	0,33	-0,33	-0,33	0,33	

D=1,452

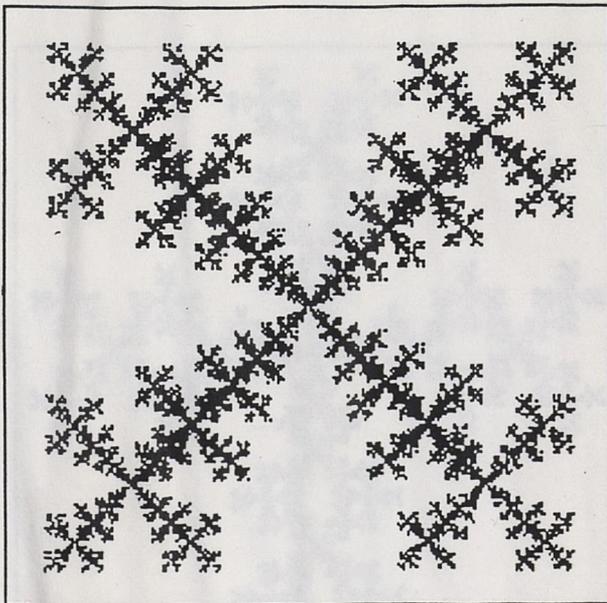


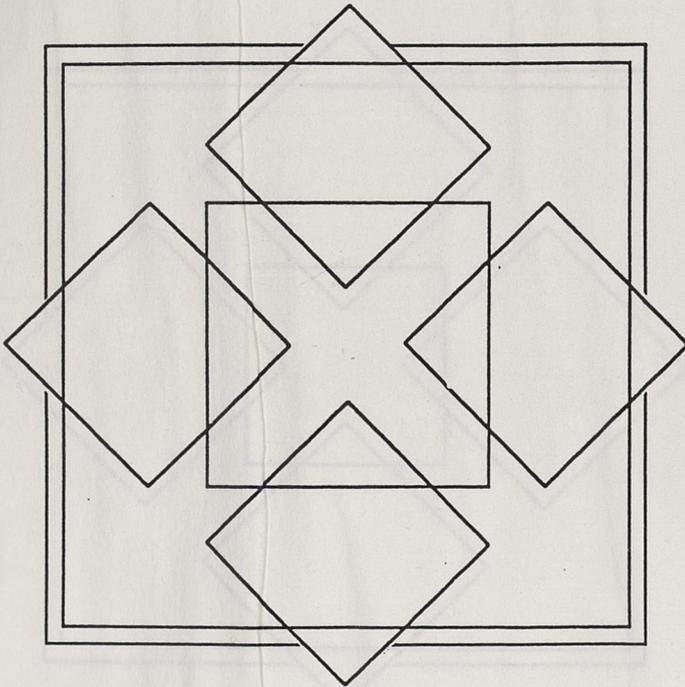


nw=5

	w1	w2	w3	w4	w5
taux	0,66	0,33	0,33	0,33	0,33
angle	0	0	0	0	0
dx 0	0,33	0,33	-0,33	-0,33	
dy 0	0,33	-0,33	-0,33	0,33	

D=1,737

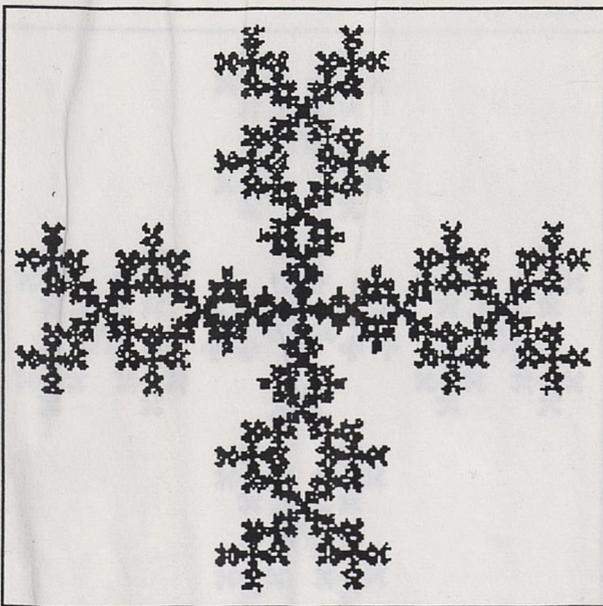


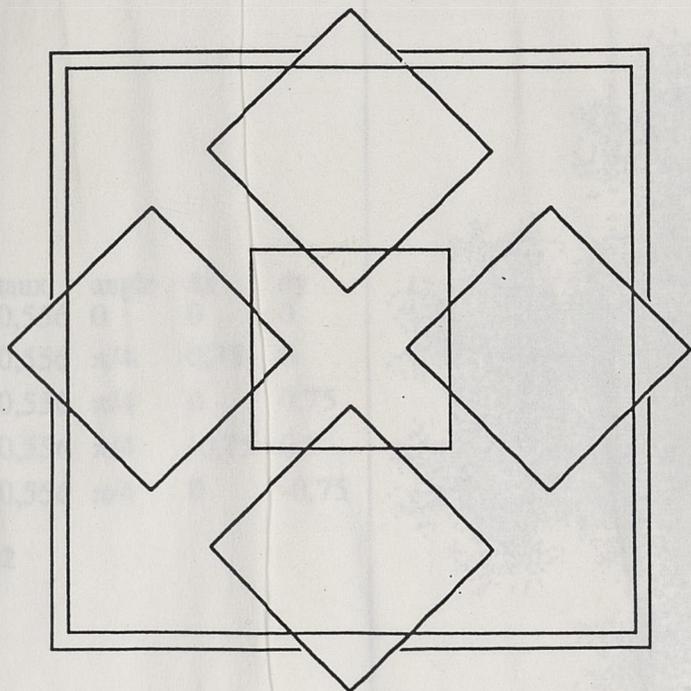


nw=5

	w1	w2	w3	w4	w5
taux	0,5	0,356	0,356	0,356	0,356
angle	0	$\pi/4$	$\pi/4$	$\pi/4$	$\pi/4$
dx	0	0,75	0	-0,75	0
dy	0	0	0,75	0	-0,75

D=1,685

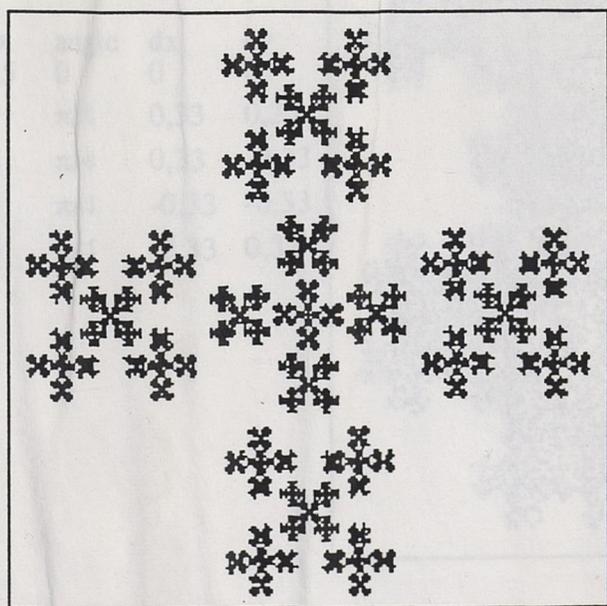




nw=5

	w1	w2	w3	w4	w5
taux	0,356	0,356	0,356	0,356	0,356
angle	0	$\pi/4$	$\pi/4$	$\pi/4$	$\pi/4$
dx	0	0,75	0	-0,75	0
dy	0	0	0,75	0	-0,75

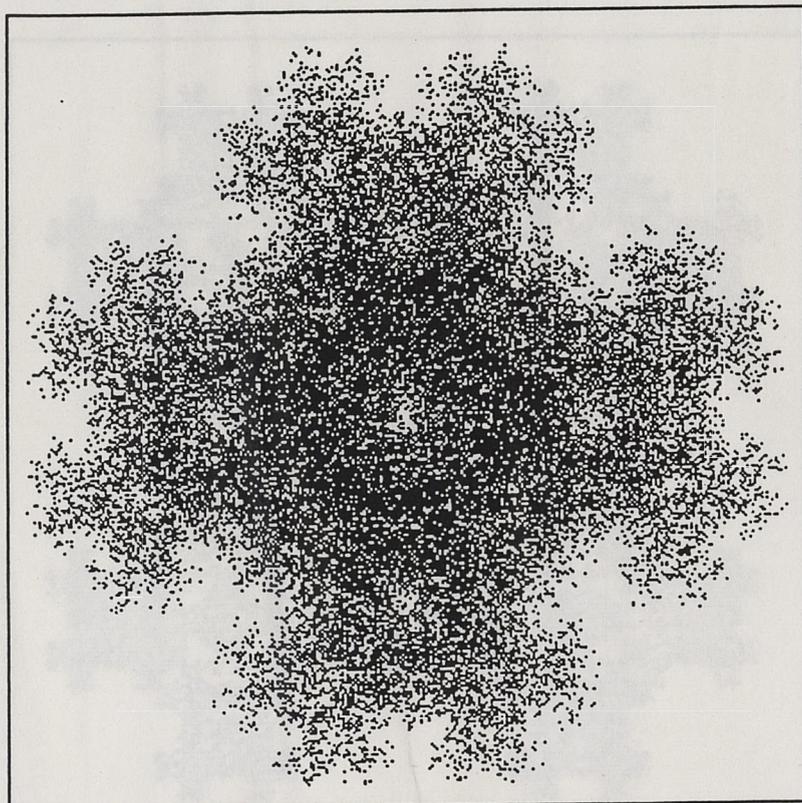
D=1,558



nw=5

	taux	angle	dx	dy
w1	0,556	0	0	0
w2	0,556	$\pi/4$	0,75	0
w3	0,556	$\pi/4$	0	0,75
w4	0,556	$\pi/4$	-0,75	0
w5	0,556	$\pi/4$	0	-0,75

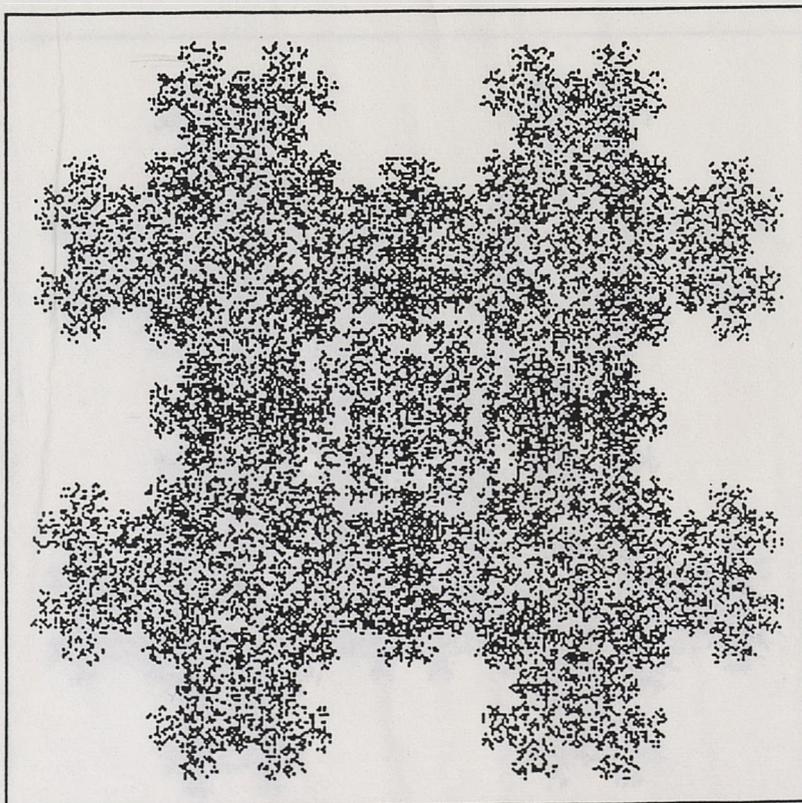
D=1,742



nw=5

	taux	angle	dx	dy
w1	0,25	0	0	0
w2	0,5	$\pi/4$	0,33	0,33
w3	0,5	$\pi/4$	0,33	-0,33
w4	0,5	$\pi/4$	-0,33	-0,33
w5	0,5	$\pi/4$	-0,33	0,33

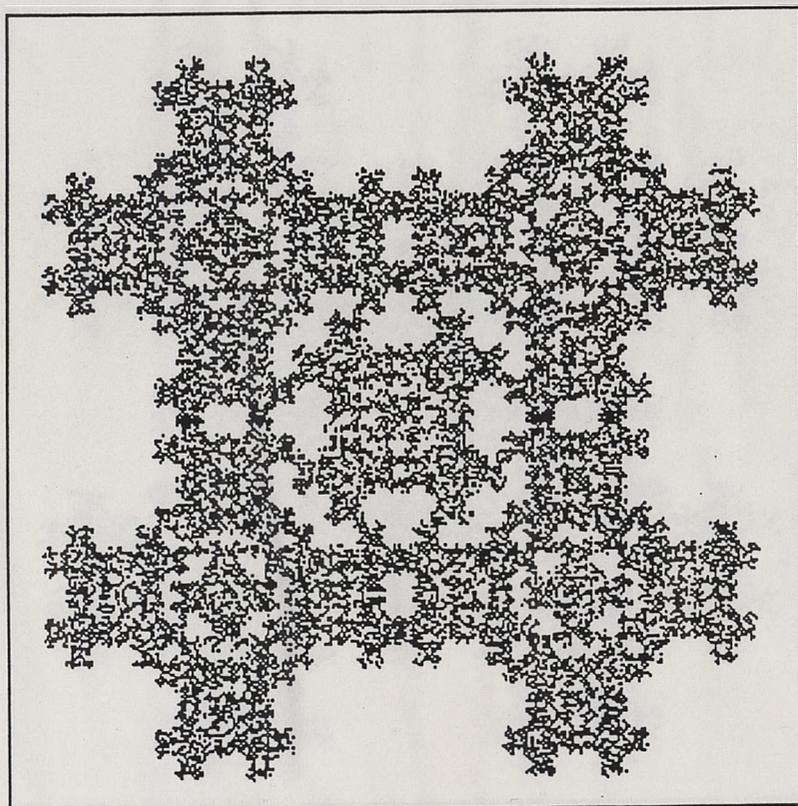
D=2,016



nw=5

	taux	angle	dx	dy
w1	0,3	0	0	0
w2	0,45	$\pi/4$	0,33	0,33
w3	0,45	$\pi/4$	0,33	-0,33
w4	0,45	$\pi/4$	-0,33	-0,33
w5	0,45	$\pi/4$	-0,33	0,33

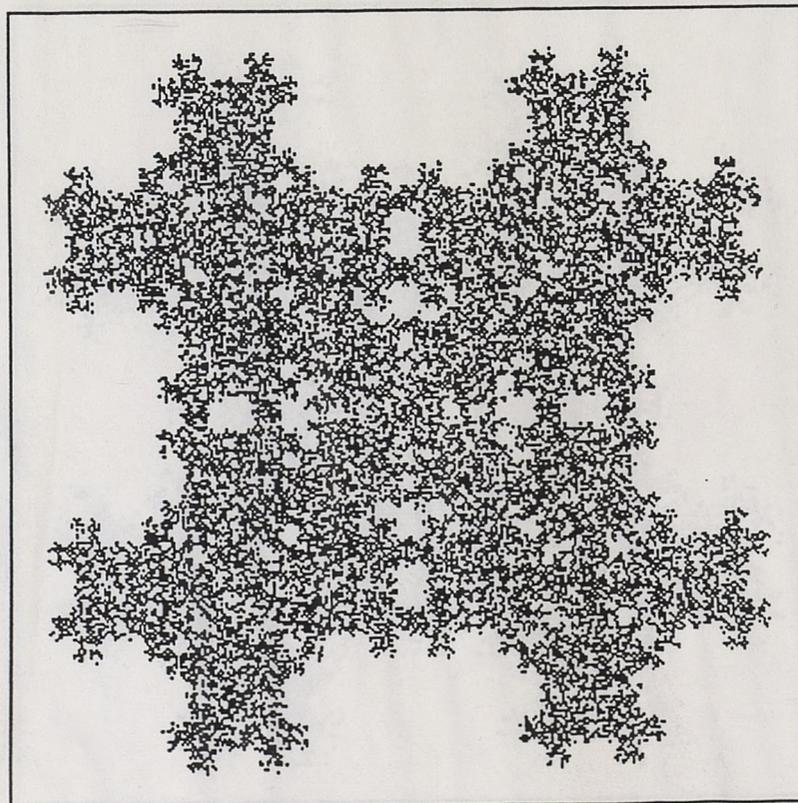
D=1,855



nw=5

	taux	angle	dx	dy
w1	0,4	0	0	0
w2	0,45	$\pi/4$	0,33	0,33
w3	0,45	$\pi/4$	0,33	-0,33
w4	0,45	$\pi/4$	-0,33	-0,33
w5	0,45	$\pi/4$	-0,33	0,33

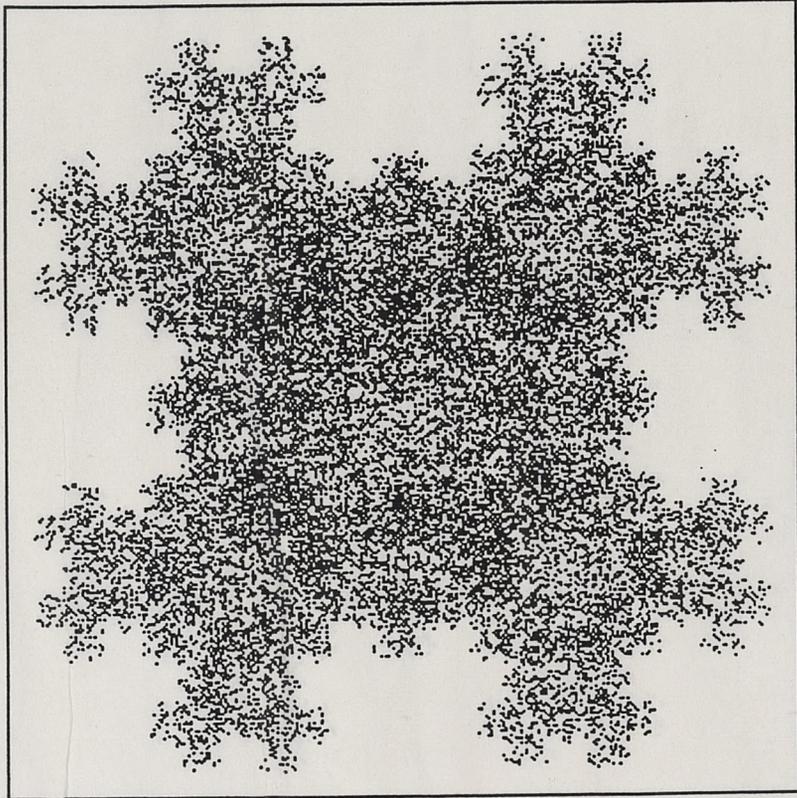
D=1,96



nw=5

	taux	angle	dx	dy
w1	0,5	0	0	0
w2	0,5	$\pi/4$	0,33	0,33
w3	0,5	$\pi/4$	0,33	-0,33
w4	0,5	$\pi/4$	-0,33	-0,33
w5	0,5	$\pi/4$	-0,33	0,33

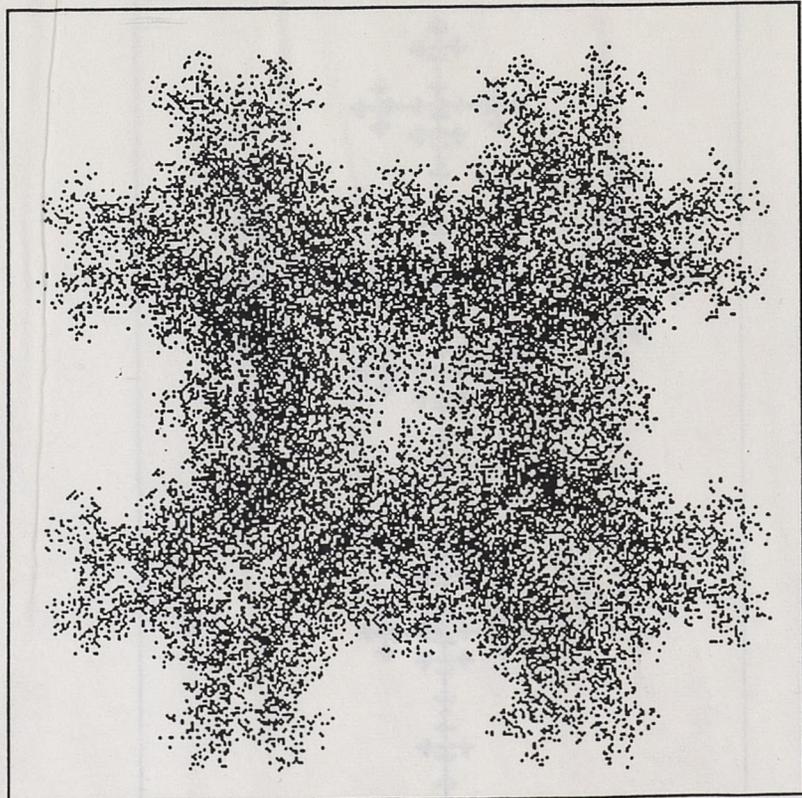
D=2,322



nw=5

	taux	angle	dx	dy
w1	0,75	0	0	0
w2	0,5	$\pi/4$	0,33	0,33
w3	0,5	$\pi/4$	0,33	-0,33
w4	0,5	$\pi/4$	-0,33	-0,33
w5	0,5	$\pi/4$	-0,33	0,33

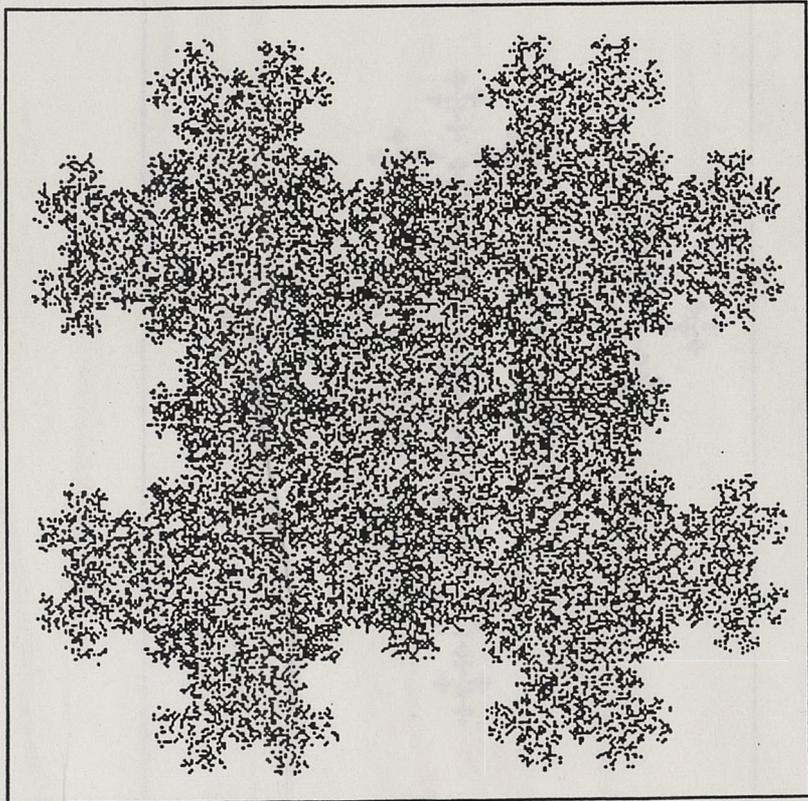
D=2,692



nw=5

	taux	angle	dx	dy
w1	0,33	0	0	0
w2	0,5	$\pi/4$	0,33	0,33
w3	0,5	$\pi/4$	0,33	-0,33
w4	0,5	$\pi/4$	-0,33	-0,33
w5	0,5	$\pi/4$	-0,33	0,33

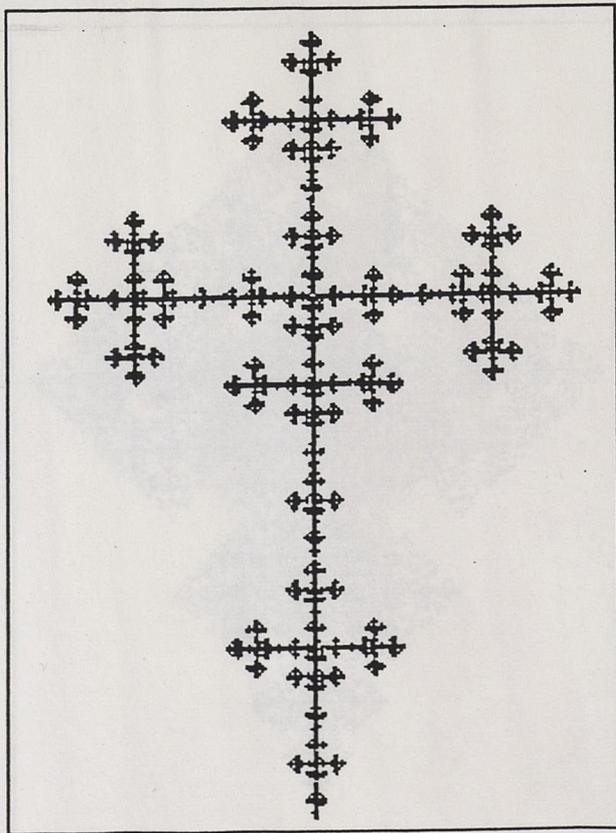
D=2,108



nw=5

	taux	angle	dx	dy
w1	0,33	0	0	-0,33
w2	0,33	$-\pi/2$	-0,33	0
w3	0,33	$\pi/2$	0,33	0
w4	0,33	0	0	0,165
w5	0,33	0	0	0,66

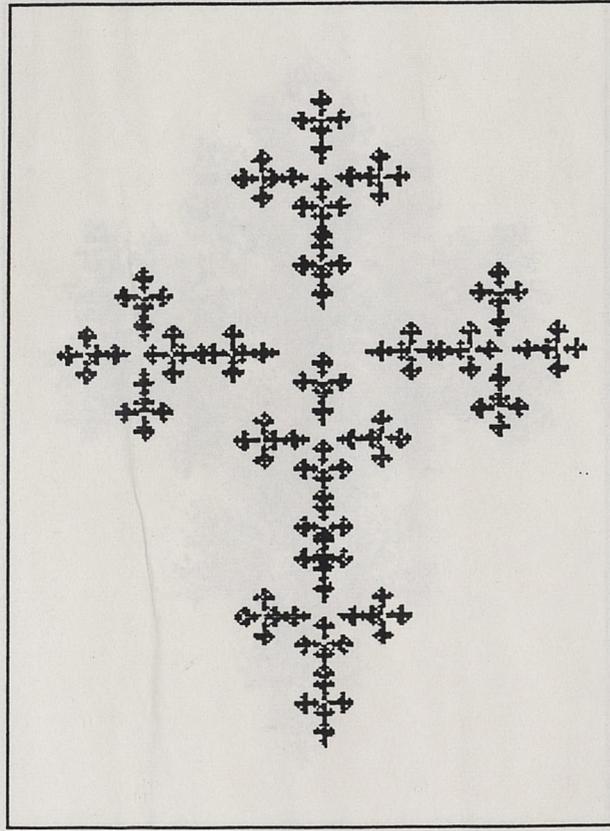
D=1,452



nw=5

	taux	angle	dx	dy
w1	0,33	0	0	-0,33
w2	0,33	$-\pi/2$	-0,33	0
w3	0,33	$\pi/2$	0,33	0
w4	0,33	0	0	0,165
w5	0,33	0	0	0,5

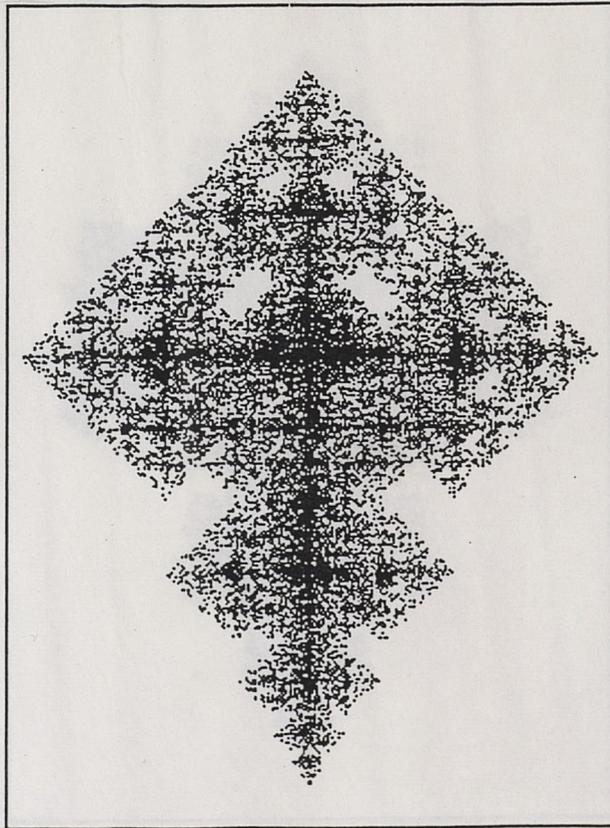
D=1,452



nw=5

	taux	angle	dx	dy
w1	0,5	0	0	-0,33
w2	0,5	$-\pi/2$	-0,33	0
w3	0,5	$\pi/2$	0,33	0
w4	0,5	0	0	0,165
w5	0,5	0	0	0,5

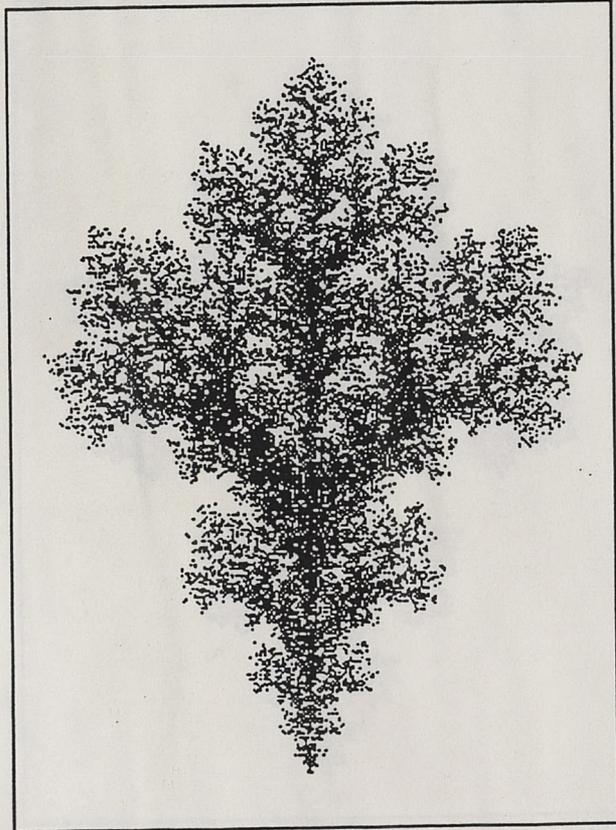
D=2,232



nw=5

	taux	angle	dx	dy
w1	0,5	0	0	-0,33
w2	0,5	-0,58	-0,33	0
w3	0,5	0,58	0,33	0
w4	0,5	0	0	0,165
w5	0,5	0	0	0,5

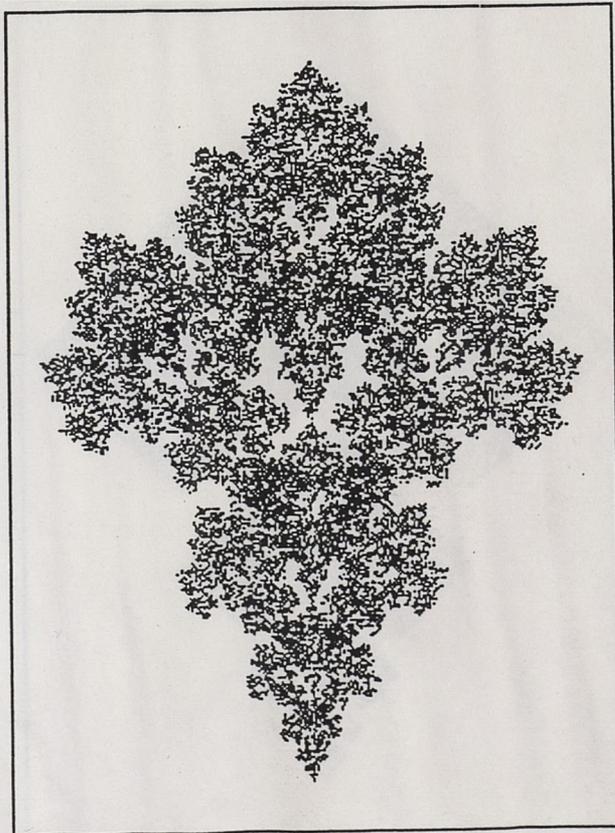
D=2,232



nw=4

	taux	angle	dx	dy
w1	0,5	0	0	-0,33
w2	0,5	-0,58	-0,33	0
w3	0,5	0,58	0,33	0
w4	0,5	0	0	0,5

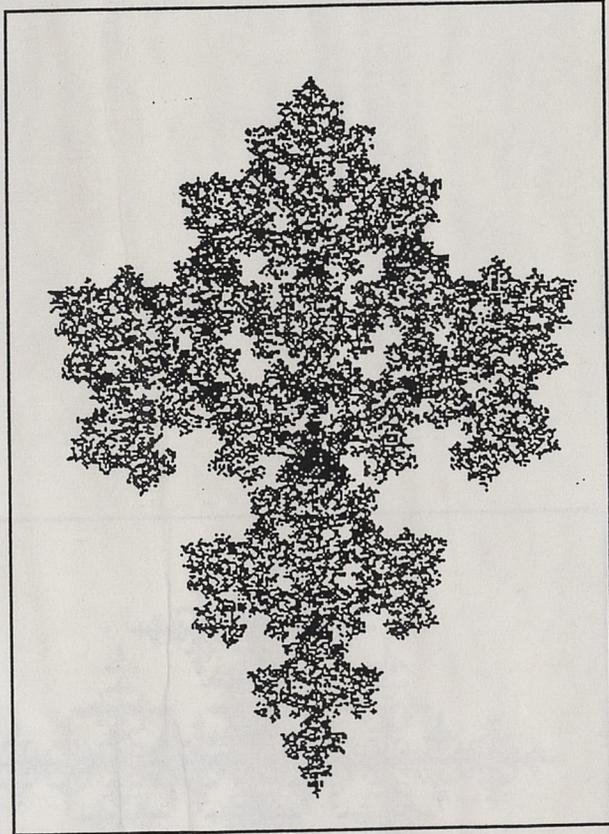
D=2



nw=4

	taux	angle	dx	dy
w1	0,5	0	0	-0,33
w2	0,5	-1	-0,33	0
w3	0,5	1	0,33	0
w4	0,5	0	0	0,5

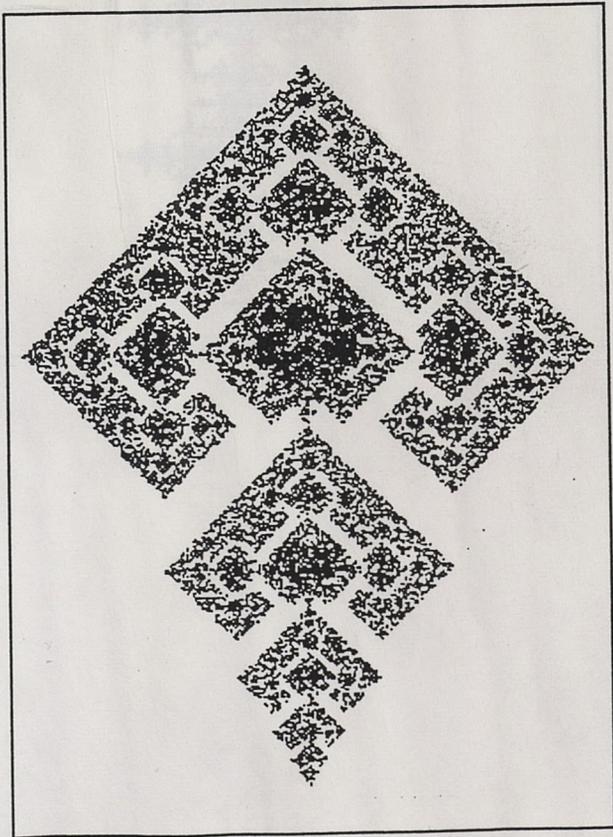
D=2



nw=4

	taux	angle	dx	dy
w1	0,5	0	0	-0,33
w2	0,5	$-\pi/2$	-0,33	0
w3	0,5	$\pi/2$	0,33	0
w4	0,5	0	0	0,5

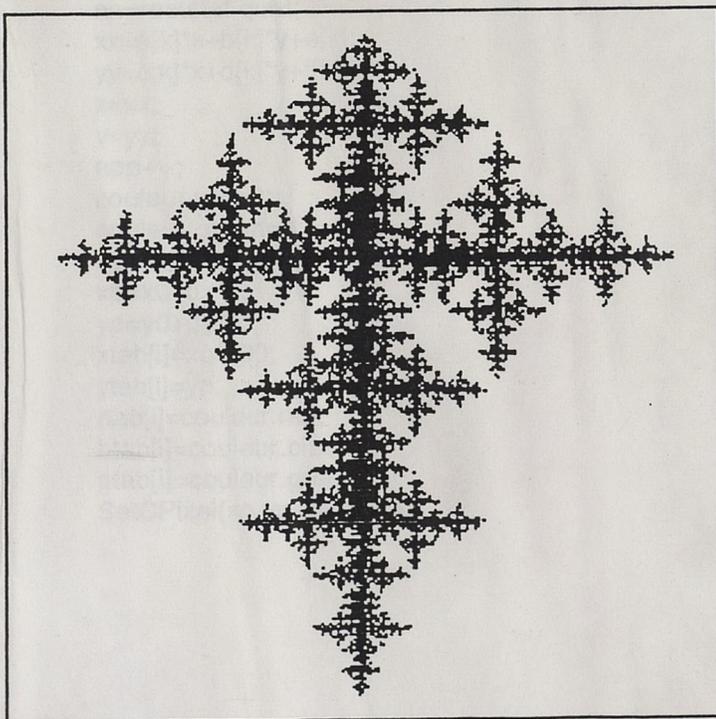
D=2



nw=6

	taux	angle	dx	dy
w1	0,4	0	0	0
w2	0,4	0	0	-0,25
w3	0,4	$\pi/2$	-0,25	0
w4	0,4	$-\pi/2$	0,25	0
w5	0,4	0	0	0,25
w6	0,4	0	0	0,5

D=1,955



## Moteur de l'algorithme déterministe pour un IFS de similitudes

... (cf algorithme stochastique)

```
for (i=1;i<=n;i++)
{
    x=0;
    y=0;
    nn=i;

    for (j=1;j<=nprof;j++)
    {
        resultat=ldiv(nn,nw);
        k=resultat.rem;
        nn=resultat.quot;
        xx=a[k]*x+b[k]*y+e[k];
        yy=c[k]*x+d[k]*y+f[k];
        x=xx;
        y=yy;
        npp++;
        couleur.red=0;
        couleur.green=0;
        couleur.blue=0;
        xp=x0+dx*x;
        yp=y0+dy*y;
        xtab[i]=xp-100;
        ytab[i]=yp;
        rtab[i]=couleur.red;
        btab[i]=couleur.blue;
        gtab[i]=couleur.green;
        SetCPixel(xp,yp,&couleur);
    }
}
```

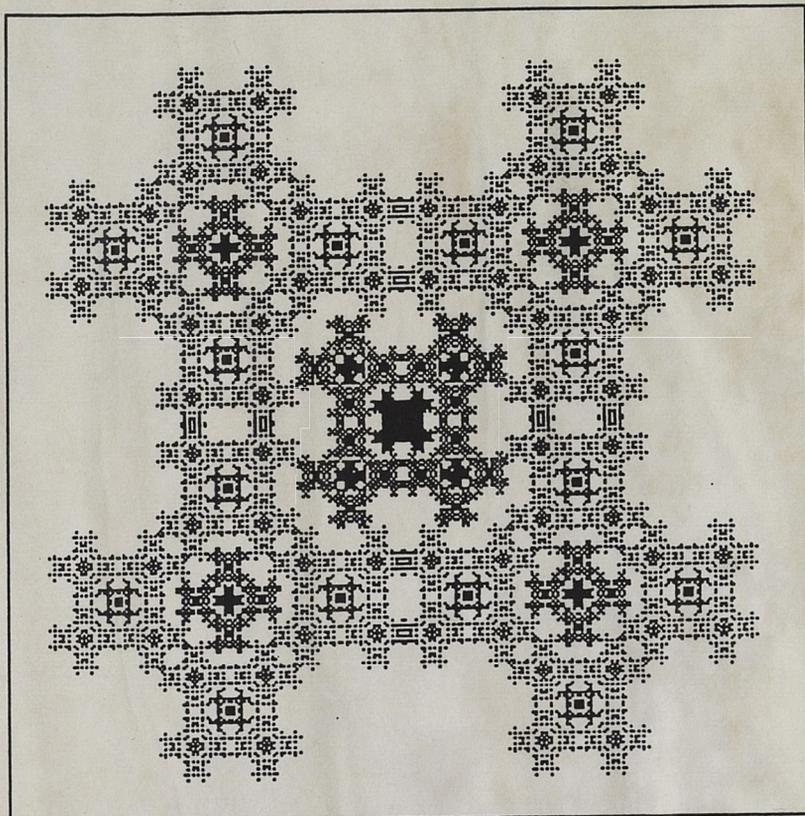
nw=5

	taux	angle	dx	dy
w1	0,3	0	0	0
w2	0,45	$\pi/4$	0,33	0,33
w3	0,45	$\pi/4$	0,33	-0,33
w4	0,45	$\pi/4$	-0,33	-0,33
w5	0,45	$\pi/4$	-0,33	0,33

D=1,855

nprof=6

(équivalent stochastique  
planche hors-texte N°32)



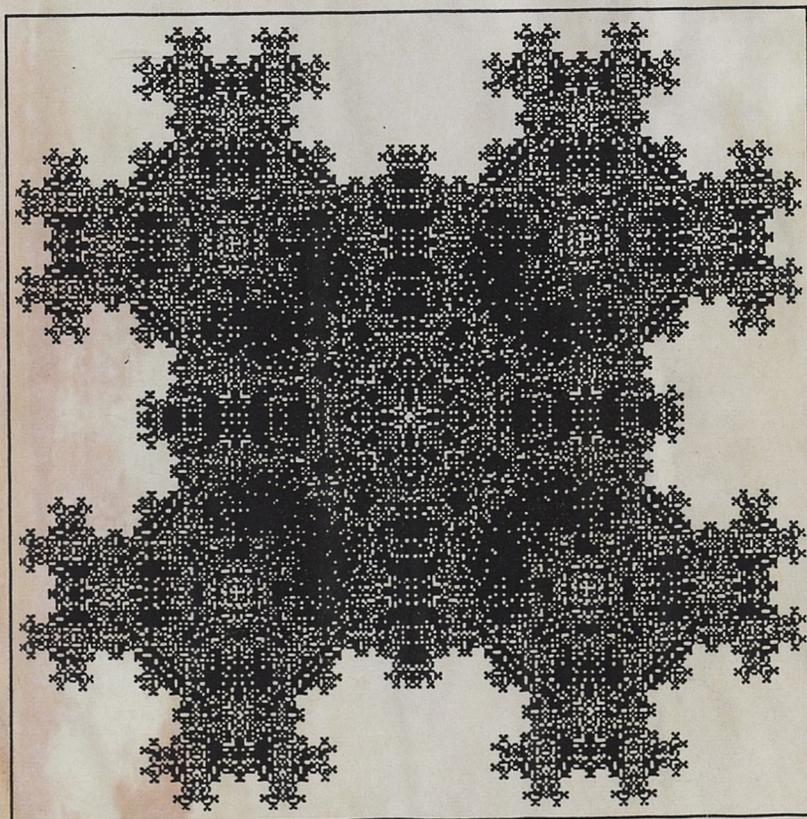
nw=5

	taux	angle	dx	dy
w1	0,5	0	0	0
w2	0,5	$\pi/4$	0,33	0,33
w3	0,5	$\pi/4$	0,33	-0,33
w4	0,5	$\pi/4$	-0,33	-0,33
w5	0,5	$\pi/4$	-0,33	0,33

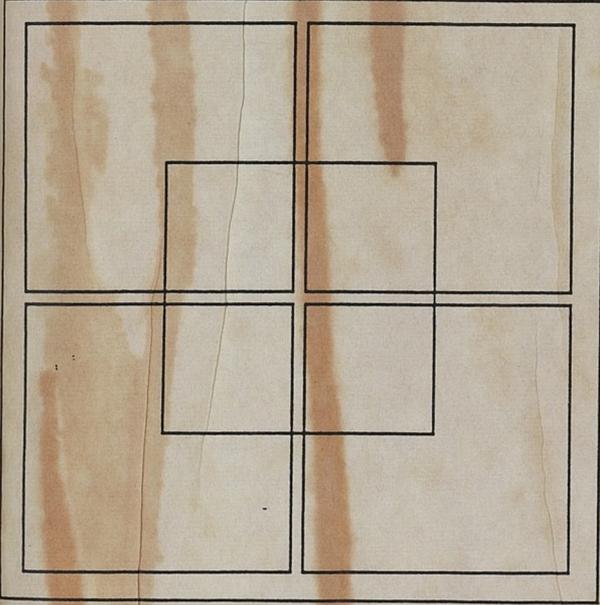
D=2,322

nprof=7

(équivalent stochastique  
planche hors-texte N°33)



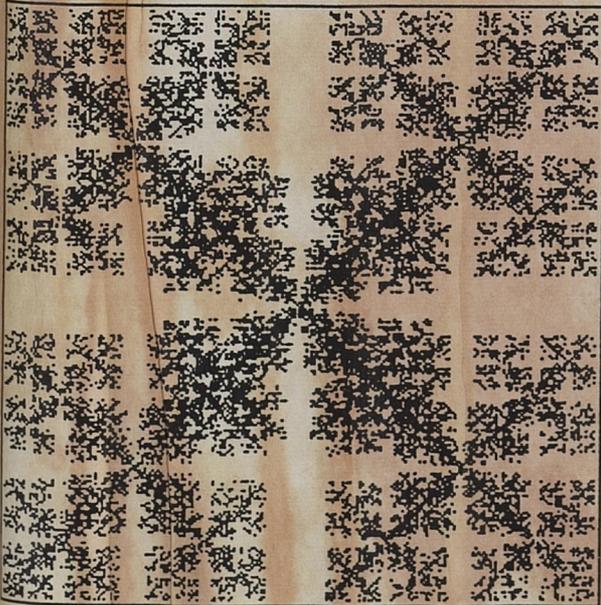
schéma



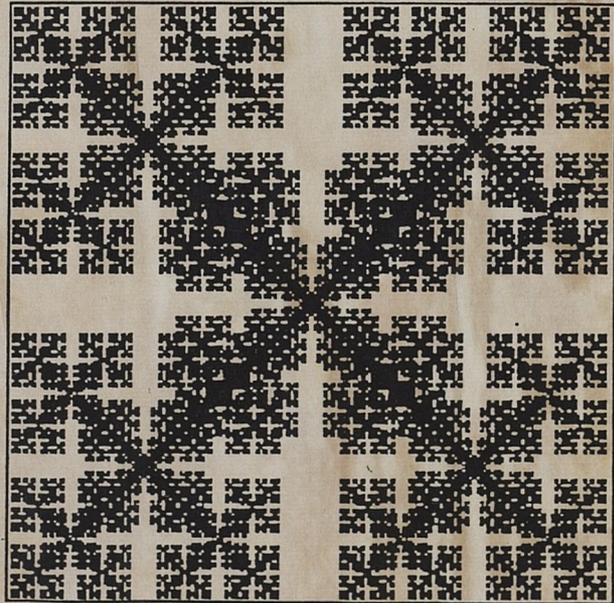
nw=5

	w1	w2	w3	w4	w5
taux	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45
angle	0	0	0	0	0
dx	0	0,33	0,33	-0,33	-0,33
dy	0	0,33	-0,33	-0,33	0,33

D=2,015



algorithme stochastique



algorithme déterministe

