

## UN JARDIN EXTRAORDINAIRE

Jean Françon

**D**es modèles mathématiques permettent de représenter la structure, la géométrie et l'aspect d'un arbre et d'en simuler la croissance.

**E**t l'arbre tout entier est une pure fonction mathématique » écrivait Le Corbusier en observant ce mélange particulier de régularités et d'irrégularités de l'architecture des arbres. Dans les années 70, alors que Hallé, Oldeman et Tomlinson classaient les arbres en vingt-trois types architecturaux sur des bases qualitatives, Philippe De Reffye proposait un modèle mathématique macroscopique de croissance des plantes. Obtenu après observations et mesures de divers paramètres de croissance de caféiers, ce modèle s'est avéré indiqué pour tous les types

Jean Françon, professeur à l'université de Strasbourg I, Département d'informatique, université de Strasbourg I, 7, rue René Descartes, 67084 Strasbourg cedex.

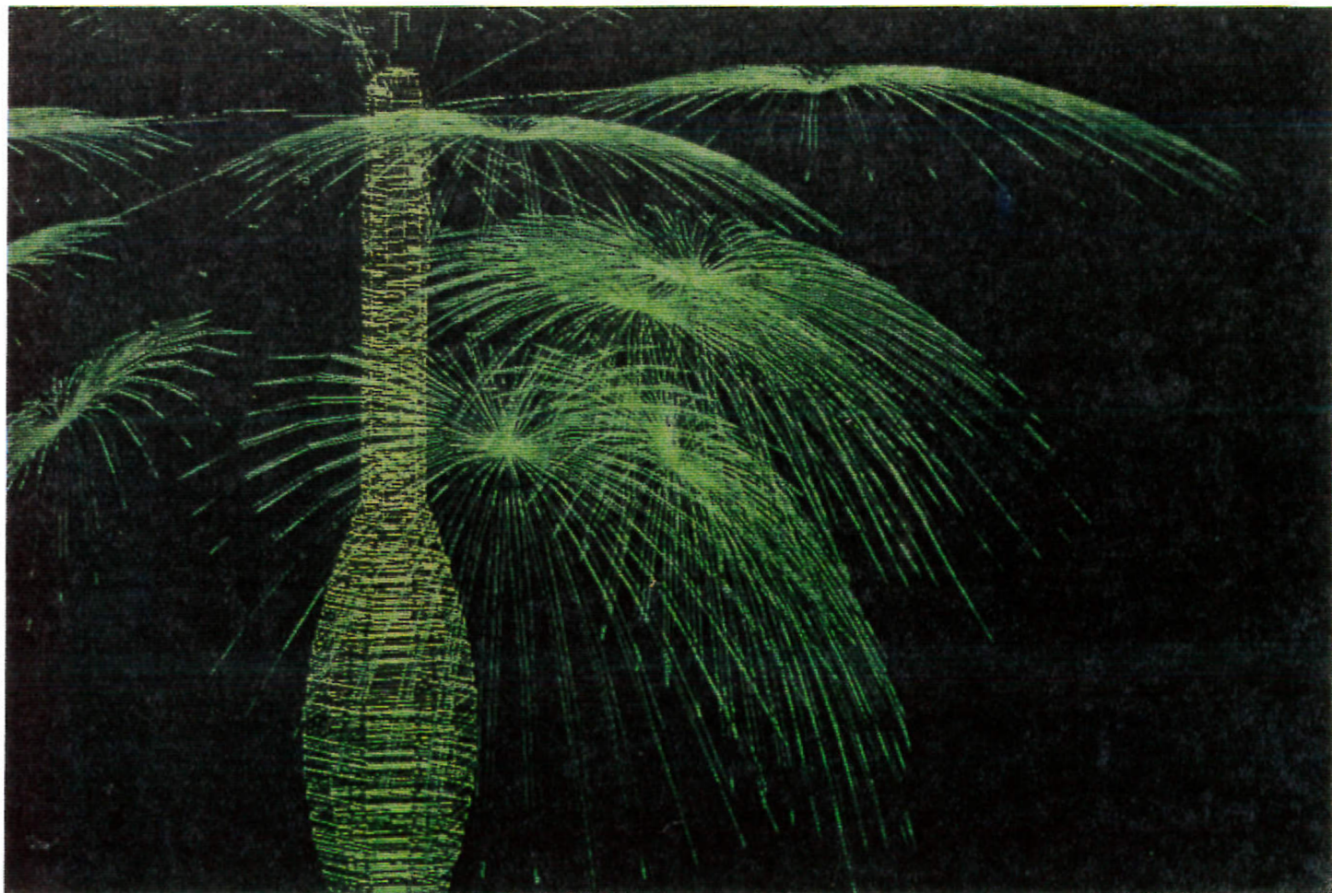
architecturaux d'arbres et bien d'autres plantes. Le Corbusier était bel et bien prophète.

Le modèle mathématique considère un entrenœud, muni de bourgeons et de feuilles, comme l'unité de base de la croissance. Il observe ce qu'il advient d'un bourgeon (plus exactement d'un méristème) : soit il produit un nouvel entrenœud, soit il produit une fleur ou une inflorescence, soit il meurt et ne produit rien. Un bourgeon apical produit un entrenœud sur le même axe que le précédent ; un bourgeon axillaire produit un entrenœud qui forme le début d'un nouvel axe. Ces différentes possibilités peuvent être affectées de probabilités qui dépendent de paramètres, comme l'âge de la plante, la position du bourgeon sur son entrenœud, la position de cet entrenœud sur son axe, la position de cet axe sur la plante... Le modèle considère les variables temporelles, essentiellement la durée de croissance d'un entrenœud et la durée de dormance d'un bourgeon, comme des variables aléatoires dépendant des mêmes paramètres. Les variables géométriques, comme la longueur et le diamètre des entrenœuds ainsi que les angles entre les axes et la divergence déterminant la phyllotaxie sont encore des variables aléatoires dépendant, *grosso modo*, des mêmes paramètres. Les lois de probabilité sont obtenues par des mesures sur le terrain.

A partir du modèle mathématique, la simulation de la croissance sur ordinateur s'impose, pour valider et développer le modèle, par l'importance des paramètres et des calculs. La visualisation des résultats sur un écran graphique de qualité

s'impose aussi pour que l'œil de l'expert, botaniste, agronome ou sylviculteur, puisse juger rapidement de la validité de la modélisation. Cette visualisation est considérablement améliorée par la prise en compte de phénomènes comme la flexion des axes sous l'action de la gravité ou la chute des branches mortes, et, bien entendu, par l'utilisation de méthodes informatiques et graphiques élaborées. Une dizaine de paramètres donne, pour certaines plantes, des résultats visuels acceptables ; avec une cinquantaine de paramètres et des mesures précises sur le terrain (ce qui a été fait pour certaines variétés de caféiers et de cotonniers) les résultats sont très satisfaisants. « Il est possible de calculer et de représenter une plante aussi loin qu'on en a le courage » dit Philippe de Reffye.

De la conjonction de travaux de botanique, de modélisation et de simulation de croissance, est né l'atelier de modélisation de l'architecture des plantes (AMAP), regroupant le laboratoire de modélisation du Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement (CIRAD), l'Institut de botanique de l'université des sciences et techniques du Languedoc (USTL) à Montpellier, l'équipe de synthèse d'image de l'École normale supérieure et celle de l'université Louis Pasteur à Strasbourg. Ses recherches sont fondamentales tant en botanique qu'en modélisation mathématique et informatique. Ce type de modélisation et la simulation sur ordinateur constituent un outil tout à fait nouveau, donc à explorer, tant en botanique qu'en agronomie et sylviculture. Les applications dans



ces disciplines sont très nombreuses et certaines se font en collaboration avec l'INRA : prévision de la gêne entre plantes, des effets de la taille, de la biomasse, des quantités de bourgeons, feuilles,...., calcul de flux lumineux... D'autres applications sont plus inattendues : le calcul d'images de synthèse fixes ou animées pour l'audio-visuel, l'illustration, les besoins pédagogiques, ainsi que pour l'aménagement de l'espace par des architectes, urbanistes et paysagistes.

En effet, une difficulté majeure en imagerie de synthèse est de modéliser, au sens informatique, assez fidèlement les phénomènes naturels pour pouvoir en calculer des images réalistes suffisamment précises et belles de surcroît, images dont le cinéma et la télévision notamment sont friands. Le logiciel de simulation de croissance des plantes mis au point par l'AMAP, prolongé par un logiciel de visualisation, est aujourd'hui le seul à permettre la production d'images de synthèse de plantes de qualité. Il est d'ailleurs en cours d'industrialisation et de commercialisation par la Société d'études des systèmes d'automatisation.

Jusqu'ici les modèles informatiques des feuilles, fleurs et fruits étaient, pour l'essentiel, dessinés, c'est-à-dire saisis à la main. L'AMAP s'est posé la question de les calculer. On ne connaît pas de modèle mathématique de croissance de ces éléments végétatifs, analogue à celui des plantes. Un modèle informatique de croissance et d'évolution de surfaces ouvertes a cependant été imaginé et est en cours d'expérimentation pour la modélisation de feuilles. Il est basé sur un modèle de croissance d'un arbre au sens topologique, entre les arêtes duquel se forment des morceaux de surfaces, comme le limbe se forme entre les nervures d'une feuille. Le modèle comporte de plus, diverses opérations de fusion et de disjonction de morceaux de surface permettant de simuler des évolutions de formes, des déformations et plus généralement des métamorphoses de surfaces telles qu'on peut en observer tous les jours et pas seulement dans le monde végétal. Les premiers résultats sont encourageants.



