

Fractals, nature morte, Amap, la biologie à notre porte

Présentation du laboratoire de modélisation du Cirad

Le laboratoire de modélisation du GERDAT/CIRAD est constitué d'une équipe pluridisciplinaire de chercheurs. Sa création a pour origine la nécessité de



Simulation de l'implantation⁽¹⁾ d'arbustes dans un projet d'urbanisme.

mieux connaître les paramètres biologiques qui entrent en jeu dans les essais agronomiques entrepris au CIRAD sur les plantes tropicales.

Le rendement en plantation d'une culture, par exemple, dépend de la croissance de la plante et de son architecture; modéliser et simuler ce rendement nécessite la coopération de botanistes, agronomes, mathématiciens et informaticiens. Un juste équilibre entre ces disciplines scientifiques assure, pour les recherches entreprises, une orientation



Visualisation de l'implantation⁽¹⁾ dix années plus tard pour mieux apprécier les zones d'ombre et d'ensoleillement.

volontairement appliquée.

La base expérimentale des problèmes étudiés au laboratoire est importante, et les modélisations qui ont été réalisées s'appuient et sont validées par de nombreuses prises de données sur le terrain. Quatre grands axes de recherche ont été développés :

- La modélisation de la croissance et de l'architecture des plantes et ses applications.
- La biologie florale.
- Le contrôle des équilibres biologiques.
- La représentation graphique des données et résultats.

Modélisation de la croissance et de l'architecture des plantes

L'analyse de la croissance et de l'architecture des plantes repose sur des concepts qualitatifs et quantitatifs.

Les concepts qualitatifs de l'architecture des plantes ont été créés par l'Institut de Botanique de Montpellier avec les notions de modèle architectural, de réitération et d'unité architecturale.

Ceux-ci sont complétés par les notions utilisées par les arboriculteurs, telles que l'âge physiologique des bourgeons, les parties pré-formées et néo-formées des axes végétatifs, l'anatomie des rameaux polycycliques ou anticipés.

Les concepts quantitatifs de l'architecture végétale s'appuient sur les bases qualitatives précédentes. Ils ont été établis par Ph. de Reffye sur le caféier en 1979. Une plante est un organisme vivant qui se développe à partir de ses méristèmes. Ils sont caractérisés par trois états : la croissance, la dormance et la mortalité. Ils sont quantifiés par des probabilités qui intègrent l'équilibre de la plante et son environnement local.

Pendant la croissance, le méristème est caractérisé par une production d'éléments végétatifs (entrecœuds, feuilles) en fonction du temps dont le caractère aléatoire est traité par la théorie des

processus stochastiques. Un logiciel de calcul des paramètres des principales lois de probabilité rencontrées sur les arbres a été développé au laboratoire.

Les connaissances qualitatives et quantitatives accumulées sur les végétaux ont permis au laboratoire d'écrire un logiciel de simulation de la croissance et de l'architecture des plantes : logiciel AMAP. Les images issues de ce logiciel constituent une synthèse des données numériques et des connaissances relevées sur le terrain.

Modélisation de la biologie florale

Le rendement en fruits d'une plante dépend en plus des données architecturales, du taux de transformation des fleurs en fruits et des ovules en graines. Ces critères définissent la fertilité de la plante en champ. La modélisation de la maturation d'un fruit, de la pollinisation jusqu'à la récolte, met en évidence des étapes qui sont franchies avec des probabilités caractéristiques d'une plante donnée. La méthode permet de calculer avec précision la fertilité des fleurs, le



Positionnement des plantes dans une serre pour la recherche d'un ensoleillement maximum.

taux de pollinisation des ovules et la compétition entre les graines dans un fruit lors de la maturation.

Contrôle des équilibres biologiques

Le rendement des plantes dépend finalement de leur bon état sanitaire, et donc de leurs relations avec des pathogènes ou des ennemis naturels.

Un outil de simulation dynamique des interactions entre les antagonistes



Représentation réaliste d'un paysage vallonné de montagne suisse. Nous apercevons au premier plan des fleurs sauvages alpestres, et, se détachant du fond de la colline environnante, un marronnier commun (famille des hippocastanacées, genre *æsculus*) de 25m de haut et vieux de 40 ans.

(plante, insecte, parasite) restitue les courbes de dynamique des populations observées dans la nature grâce aux méthodes de calcul convolutives, ce qui permet entre autres de simuler les effets des interventions humaines.

Représentation graphique des données et résultats

Afin de visualiser les phénomènes mesurés ou simulés et leur répartition spatiale, le laboratoire a développé divers logiciels d'estimation de valeurs des variables spatiales, de représentation 3D des phénomènes suivis et, sont réunis dans un logiciel de rendu et d'animation qui permet de représenter des scènes complexes de plusieurs millions d'éléments intégrant les plantes simulées, les reliefs et les données issues de logiciels de CAO comme Spirit en architecture. Cette chaîne graphique intègre les techniques de rendu d'illumination, d'ombrage, de brume et de texture.

L'animation peut gérer plus d'un million de polygones.

Les applications de ce logiciel sont importantes bien sûr en agronomie (évaluation de production de la biomasse, simulation de taille et études des transferts radiatifs) mais aussi en architecture, paysagisme et urbanisme

(décoration intérieure, simulation de l'ensoleillement sur site en fonction de la croissance des végétaux, design floral, visualisation de parcs et zones urbains), en images de synthèse et publicités (films, placement de produit dans un milieu naturel, etc.).

En fait les applications ne sont limitées que par notre imagination comme vous le constatez d'après les photos.

La base de données possède à ce jour 60 végétaux courants allant de la petite plante à l'arbre, en passant par les buissons et les arbustes. ■

R.C.

Croissance botanique ou mathématique ?

1987 : 1^{re} conférence au Siggraph

1988 : 1^{er} prix du concours Cray

1989 : livraison de polygones à la société japonaise Links pour l'introduction d'un film d'image de synthèse où l'on voit la croissance d'un orme du Japon de 0 à 90 ans en fonction des saisons. (2 mois de calculs, 1 mois pour le rendu 24h/24)

1990 : contrat avec la société allemande Softtech d'interfaçage sur micro avec le logiciel d'architecture Spirit

1990 juin : Grand prix de l'image scientifique de Paris-Cité.

On ne peut pas décrire en dix lignes ce logiciel fantastique.

Sachez seulement que toutes les plantes peuvent être classées en vingt-trois modèles botaniques architecturaux et que le modèle repose sur des notions telles que :

- la plagiotropie (classement des organes en fonction de la pesanteur),
- l'acrotonie (caractéristique de certains végétaux de voir leurs branches les plus longues insérées le plus loin de la base du tronc),
- la croissance mathématique des arbres,
- la notion botanique d'allongement,
- le caractère aléatoire de la croissance.

Sur le plan strict graphique, l'arbre est construit selon des techniques CAO (squelette en fil de fer, assemblage d'objets graphiques venant d'une base de données), puis on visualise en 3D sous n'importe quel point de vue les polygones utilisés pour réaliser les surfaces avec un éclairage pour améliorer l'ombrage et le réalisme.

AMAP (Atelier de Modélisation de l'Architecture des Plantes) est écrit en langage C et est développé au CIRAD sur matériel Data General avec sortie graphique Silicon Graphics.

Bientôt disponible sous plates-formes Unix et PC avec coprocesseur graphique.

(service documentation n°69)