

**Titre: Architecture des plantes et auto-similarité****Directeurs de thèse :** P. Ferraro, S. Dulucq**Courriels :** [ferraro@labri.fr](mailto:ferraro@labri.fr), [dulucq@labri.fr](mailto:dulucq@labri.fr)**Equipe :** Modèles et Algorithmes pour la bioinformatique et la visualisation**Nature du sujet:**

Cette activité se place dans l'axe "structures biologiques arborescentes" de MABioVis et se déroule en lien avec l'équipe Virtual Plants.

L'étude de ces modèles participe au développement des approches multi-échelles qui émergent tant du côté du calcul scientifique (approches algébriques multi-échelles de résolutions d'équation sur des maillages de grandes tailles; des systèmes multi-agents, des sciences sociales et de manière générale des simulations et modélisation des systèmes complexes.

**Description synthétique du sujet (maximum 10 lignes):**

En botanique, les premières études de structures emboîtées, semblables à des structures fractales, sont dues à Arber (1950). Néanmoins, identifier l'organisation auto-similaire chez les plantes est un problème difficile. Celle-ci se développe au cours d'une plus longue période et est donc soumise à l'influence de l'environnement. Les systèmes ramifiés des arbres résultent cependant de processus répétitifs, dans lesquels différents méristèmes suivent des séquences d'états similaires et produisent des structures similaires. Ces structures sont caractérisées par les biologistes en termes de programme morphogénétique ou d'âge physiologique.

L'autosimilarité, en tant que symétrie, n'est pas facilement quantifiable, elle est généralement considérée comme présente ou absente. Cependant, les plantes réelles peuvent être auto-similaires uniquement à un certain degré. Dans le cadre de cette thèse, nous proposons de définir l'autosimilarité des structures ramifiées, et de décrire les procédures pour la quantifier sur des plantes mesurées ou simulées.

**Description détaillée du sujet:**

L'architecture d'une plante est une notion fondamentale utilisée en botanique depuis une trentaine d'années pour parler de l'organisation des structures végétales. Cette notion fait référence à deux types principaux d'information sur la plante considérée dans l'espace et le temps : la géométrie (forme) de ses composants d'une part, et leur topologie (type et adjacence de ces mêmes composants) d'autre part. De nombreux travaux en botanique se sont intéressés à la caractérisation de ces deux types d'information pour différentes espèces, variétés de plantes et conditions de développement. Pourtant, il n'existe pas à ce jour de méthode générale permettant de quantifier deux aspects fondamentaux et étroitement liés de l'étude de l'architecture des plantes :

- \* La caractérisation de l'irrégularité (parfois très prononcée) de
- \* la forme d'une plante (de sa distribution de feuilles dans
- \* l'espace par exemple), Le degré de similarité à toutes les
- \* échelles des systèmes ramifiés contenus dans une plante.

Ces deux notions ont en commun qu'elles reposent sur une analyse "en échelles" des structures végétales, dont les techniques et les concepts prennent leur source dans les développements de la géométrie fractale. L'objectif de ce travail est de développer des méthodes de quantification du caractère fractal topologique, fondamental pour la compréhension et la modélisation de l'architecture des plantes. Ce travail est essentiel pour la compréhension de la biologie des plantes, et joue un rôle important dans l'analyse formelle et la simulation des plantes.

L'autosimilarité, en tant que symétrie, n'est pas facilement quantifiable, elle est généralement considérée comme présente ou absente. Cependant, les plantes réelles peuvent être auto-similaires uniquement à un certain degré. Ferraro et al. (2005) ont proposé une définition de l'autosimilarité des

structures ramifiées, et décrit une procédure pour la quantifier sur des plantes mesurées ou simulées. Cette procédure s'appuie sur une méthode d'édition entre arborescences axiales, proposée par Ferraro et Godin (2003). Cette procédure a d'abord été appliquée sur des structures ramifiées dont on a généré algorithmiquement la topologie. Puis, elle a été appliquée à l'analyse de plantes réelles mesurées.

Le travail demandé consistera à améliorer les premiers résultats obtenus avec cette méthode. La nouvelle mesure étudiée s'appuiera sur le concept de réduction d'arbre introduit dans le cas des arbres ordonnés pour compresser l'information dupliquée à l'intérieur de cette structure de données. En définissant un arbre auto-similaire comme un graphe réduit particulier, nous rechercherons alors pour un arbre quelconque l'arbre auto-similaire le plus proche. Le problème se ramène à l'édition de graphes et plus particulièrement de graphes orientés acycliques.

**Mot-clés** : Fractales, Bioinformatique, Comparaison des plantes, Edition d'arborescences.

### **Références :**

1. F. Hallé, R. Oldeman and P. Tomlinson, *Tropical Trees and Forests. An Architectural Analysis* (Springer Verlag, New York, 1978).
2. P. Prusinkiewicz and A. Lindenmayer, *The Algorithmic Beauty of Plants* (Springer Verlag, New York, 1990).
3. B. B. Mandelbrot, *The Fractal Geometry of Nature* (W. H. Freeman, San Francisco, 1982).
4. A. Arber, *Natural Philosophy of Plant Form* (Cambridge University Press, Cambridge, 1950).
5. P. Prusinkiewicz, L. Mundermann, R. Karwowski and B. Lane, The use of positional information in the modeling of plants, in *SIGGRAPH 2001 Conference Proceedings*, Los Angeles, California (ACM Press, New York, 2001) pp. 289--300.
6. P. Prusinkiewicz, Self-similarity in plants: integrating mathematical and biological perspectives, in *Thinking in Patterns: Fractals and Related Phenomena in Nature*, ed. M. Novak (World Scientific, New Jersey, 2004) pp. 103--118.
7. K. Zhang, *Algorithmica* 15 (1996) 205. 8. P. Ferraro and C. Godin, *Ann. Forest Sci.* 57 (2000) 445.
9. P. Ferraro and C. Godin, *Algorithmica* 36 (2003) 1.
10. A. D. Bell, *Plant Form: An Illustrated Guide to Flowering Morphology* (Oxford University Press, Oxford, UK, 1991).
11. C. Godin, E. Costes and H. Sinoquet, Plant architecture modelling: virtual plants and complex systems, in *Plant Architecture and Its Manipulation*, ed. C. Turnbull (Blackwell, 2005), pp. 237--286.
12. C. Pradal et al., ALEA: a software for integrating analysis and simulation tools for 3D architecture and ecophysiology, in *Proceedings of the 4th International Workshop on Functional-Structural Plant Models, FSPM04*, eds. C. Godin et al. (UMR AMAP, Montpellier, France, 2004), pp. 406--407.
13. Projet INRIA Virtual Plants