

De l'arbre à la forêt !

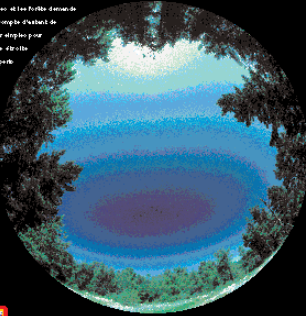


Étudier les effets du climat sur les arbres et les forêts demande des modèles de leur évolution tenant compte d'autant de facteurs que possible, bien sûr, assez simples pour pouvoir être étudiés. Cela exige une étroite collaboration entre mathématiciens et experts des forêts.

Les principales difficultés sont, en particulier, la présence :

- de plusieurs systèmes hiérarchisés en jeu (forêt, arbre, feuille, molécule...)

- de différentes échelles de temps qui coexistent (centaines d'années pour la durée de vie, quelques secondes pour le métabolisme...).



La lutte pour la lumière

D'énormes progrès ont été enregistrés ces dernières années. Un modèle dynamique, basé sur les processus vitaux et l'environnement local des arbres, a été appliqué avec succès à l'analyse des effets climatiques et sert aussi à la gestion des forêts et à l'amélioration de la qualité du bois.

De nouveaux modèles prennent en compte la croissance des arbres au cours de l'année et permettent notamment de prévoir la compétition des espèces dans la lutte pour la lumière.

Modèle de simulation de la croissance des arbres et de la compétition pour la lumière. Ce modèle est basé sur les processus vitaux et l'environnement local des arbres. Il permet de prévoir la compétition des espèces dans la lutte pour la lumière.

De l'arbre à la forêt !

Étudier les effets du climat sur les arbres et les forêts demande des modèles de leur évolution tenant compte d'autant de facteurs que possible, tout en étant assez simples pour pouvoir être étudiés.

Cela exige une étroite collaboration entre mathématiciens et experts des forêts.

Les principales difficultés sont, en particulier, la présence :

- de plusieurs systèmes hiérarchisés en jeu (forêt, arbre, feuille, molécule...)
- de différentes échelles de temps qui coexistent (centaines d'années pour la durée de vie, quelques secondes pour le métabolisme...).

LA LUTTE POUR LA LUMIÈRE

D'énormes progrès ont été enregistrés ces dernières années. Un modèle dynamique, basé sur les processus vitaux et l'environnement local des arbres, a été appliqué avec succès à l'analyse des effets climatiques et sert aussi à la gestion des forêts et à l'amélioration de la qualité du bois.

De nouveaux modèles prennent en compte la croissance des arbres au cours de l'année et permettent notamment de prévoir la compétition des espèces dans la lutte pour la lumière.

Texte de Maurice Mashaal, Journaliste scientifique
Sur une idée de

Marjo Lipponen (Université de Turku - Finlande)
Annikki Mäkelä (Université d'Helsinki - Finlande)

Graphisme : Samuel Roux - Orléans

P. Prusinkiewicz et J. Hanan, *Lindenmayer systems, fractals and plants*, Springer-Verlag, 1989.

"Comptes rendus du 2e Atelier international sur les modèles fonctionnels-structuraux d'arbres "

(Clermont-Ferrand, octobre 1998), *Annals of Forest Science*, vol. 57, n° 5/6, 2000.

A. Mäkelä et J. Landsberg (eds.), " Process-based models for forest management ",
numéro spécial de *Tree Physiology*, vol. 20, n° 5/6, mars 2000.

Les forêts vont-elles disparaître ?

Quelle est l'influence du climat et de ses éventuels changements sur la croissance des arbres, comment gérer au mieux une forêt : la modélisation mathématique est l'une des démarches utilisées pour répondre à ces questions.

La plupart des spécialistes du climat en sont persuadés : la Terre se réchauffe en raison des gaz rejetés dans l'atmosphère par l'activité humaine, gaz comme le CO_2 qui renforcent l'effet de serre. Deux ou trois degrés de plus en moyenne vers le milieu du XXI^e siècle, et ce sera certainement la catastrophe dans certaines régions du globe : fonte de glaciers, sécheresses définitives, recouvrement de terres par les eaux, etc. Autre ombre au tableau : la couche d'ozone stratosphérique, qui nous protège des rayonnements ultraviolets, semble aussi souffrir de certains gaz émis par l'industrie et ses produits.

L'éventualité de ces changements climatiques et environnementaux pose aux scientifiques et aux gestionnaires de nombreuses questions difficiles. L'une d'elles est relative aux conséquences sur les arbres et les forêts, les poumons de la Terre en quelque sorte. La croissance des arbres sera-t-elle favorisée, ou au contraire réduite ? Les forêts de conifères nord-européennes vont-elles régresser ? Que se passera-t-il pour les forêts tropicales, qui abritent une faune et une flore riches et mal connues ? Comment faudra-t-il ajuster la gestion forestière pour atténuer les effets négatifs des changements climatiques ?

L'une des voies de recherche consiste à modéliser les rouages de l'écosystème forestier puis, grâce aux modèles ainsi conçus, à simuler son comportement. Une telle modélisation nécessite une collaboration étroite entre mathémati-

ciens et experts forestiers. Elle vise à comprendre et à décrire quantitativement les interactions entre les diverses composantes des forêts (le sous-bois, les différentes espèces d'arbres, leur feuillage, etc.) et les influences des facteurs environnementaux (rayonnement solaire, nature du sol, précipitations, température, etc.).



L'écosystème forestier étant très complexe, une modélisation parfaitement fidèle à la réalité est illusoire ; on part plutôt de modèles simplifiés, qui essaient de prendre en compte les aspects les plus importants, et une fois qu'ils ont été bien analysés et compris, on les raffine peu à peu en intégrant des mécanismes négligés dans les étapes précédentes.

Parmi les principaux outils mathématiques utilisés dans la modélisation forestière figurent les “équations aux dérivées partielles” et les “L-systèmes”. Une équation aux dérivées partielles est une équation liant une fonction de plusieurs variables — fonction inconnue qu’il faut déterminer — et ses dérivées ; c’est l’équivalent d’une équation différentielle ordinaire pour les fonctions de plusieurs variables. Les équations aux dérivées partielles servent à décrire une multitude de phénomènes physiques, chimiques, biologiques ou autres, qui varient à la fois dans l’espace et le temps. Dans le contexte des arbres et des forêts, elles permettent par exemple de modéliser la consommation et le déplacement des matières nutritives au sein d’un arbre individuel, et les effets qui en résultent sur le cycle du carbone.

Une fois établies ces équations et les valeurs des paramètres qui y interviennent (cela fait partie de la modélisation proprement dite), il faut les résoudre pour déterminer le comportement du système étudié. Généralement, on fait pour cela appel à des méthodes numériques, sur ordinateur (les équations aux dérivées partielles que l’on sait résoudre analytiquement sont rares !).

Quant aux L-systèmes, il s’agit d’algorithmes permettant de simuler des processus de croissance par étapes successives, par exemple un arbre qui fait naître de nouvelles branches au

fur et à mesure qu’il pousse (voir l’encadré).

La grande difficulté à laquelle sont confrontés les modélisateurs de la forêt est l’intervention simultanée de phénomènes correspondant à des échelles de temps et d’espace très différentes. Ainsi, la croissance d’un arbre dépend de ce qui se passe à la fois à l’échelle de son voisinage, à celle de l’arbre lui-même, à celle de ses organes (les feuilles par exemple) ou à l’échelle moléculaire (métabolisme, photosynthèse).



Même chose pour les échelles de temps : la vie d’un arbre se compte en dizaines voire en centaines d’années, alors que les temps caractéristiques du métabolisme se mesurent en secondes. On doit donc relier entre eux des modèles correspondant chacun à une certaine échelle de temps ou d’espace, ce qui exige le développement de nouvelles méthodes mathématiques et informatiques.

Les chercheurs surmontent progressivement les obstacles. Grâce à ces recherches, qui ont fait beaucoup de progrès dans les vingt dernières années, on évalue mieux aujourd’hui les effets d’un changement climatique, et l’on dispose de meilleurs plans de gestion forestière — par exemple pour améliorer la qualité du bois ou pour exploiter de façon écologique et durable les forêts tropicales.

Les L-systèmes

Introduits en 1968 par le biologiste Aristid Lindenmayer (d'où leur nom) pour représenter des processus de croissance ou de développement, les L-systèmes sont un formalisme permettant de construire de manière récursive des objets de plus en plus complexes, à partir de règles de base simples. L'idée est facile à comprendre si l'on prend pour objets des chaînes de caractères.

Partons d'une chaîne de caractères donnée, par exemple la chaîne *aba* constituée des deux lettres *a* et *b*. On fixe alors des règles déterminant la transformation de chaque caractère ; choisissons par exemple $a \rightarrow b$ et $b \rightarrow ab$. La chaîne de départ *aba* devient alors *babb* ; appliquons de nouveau les règles, on obtient *abbabab*. Et ainsi de suite : on réapplique les règles autant de fois que l'on souhaite. La chaîne initiale et l'ensemble des règles de transformation choisies constituent un exemple simple de L-système.

Si l'on considère que les caractères symbolisent des objets ou opérations géométriques (par exemple a = tracer un segment d'une unité vers l'avant, b = tourner de 30° à droite, c = tourner de 30° à gauche, etc.), alors les L-systèmes peuvent représenter des objets géométriques qui se construisent par étapes successives. En choisissant de manière adéquate les règles de construction, on peut imiter de manière très ressemblante la géométrie d'une plante et la façon dont elle croît et se ramifie. Les L-systèmes sont par ailleurs beaucoup utilisés pour réaliser des images de synthèse, car ils se prêtent tout naturellement à la programmation informatique.

Arbre de synthèse réalisé avec
les L-systèmes © Laurens Lapre
www.xs4all.nl/~ljlapre/

