

NICOLAS PICARD  
CIRAD-Forêt

## DYNAMIQUE FORESTIÈRE TROPICALE

### Passage d'un modèle individuel à un modèle de distribution

L'AUTEUR A EXTRAIT  
LES PRINCIPAUX RÉSULTATS  
DE SA THÈSE SOUTENUE  
À L'ÉCOLE NATIONALE  
DES EAUX ET DES FORÊTS  
(ENGREF), À PARIS, EN 1999.  
UN MODÈLE DE DYNAMIQUE  
FORESTIÈRE A ÉTÉ CONSTRUIT  
À PARTIR DES DONNÉES  
RECUEILLIES DANS UNE FORÊT  
DENSE TROPICALE HUMIDE  
DE GUYANE FRANÇAISE.

L'aménagement des forêts tropicales humides naturelles en vue d'une gestion durable de la ressource en bois d'œuvre suppose un équilibre entre la mortalité naturelle et les prélèvements effectués d'une part, et la régénération et la croissance d'autre part. Pour prédire si les règles de gestion adoptées permettent ou non de maintenir cet équilibre, il faut être capable de projeter dynamiquement l'état du peuplement. Les modèles de dynamique forestière sont un outil qui permet de réaliser cette projection.

#### MODÈLES DE DYNAMIQUE FORESTIÈRE

LOFFEIER et FAVRICHON (1996) ont réalisé un bilan sur les modèles de dynamique forestière. Il en ressort notamment que les modèles peuvent reposer sur différents niveaux de description du peuplement, parmi lesquels :

- le niveau de l'arbre, lorsque chaque individu du peuplement est décrit par des variables (son diamètre, sa hauteur...) dont on modélise l'évolution dans le temps ;
- le niveau de la distribution, lorsque l'on suit l'évolution de la distribution des états des arbres sans savoir dans quel état se situe un individu particulier. Par exemple, lorsque l'on distribue les arbres dans des classes de diamètre, le peuplement est décrit par un vecteur d'effectif qui correspond à une distribution discrète.

Transversalement à ce critère, les modèles de dynamique forestière peuvent être classés selon la façon dont les interactions entre les arbres sont modélisées (FRANC *et al.*, 2000). On distingue habituellement :

- les interactions dépendantes des distances lorsqu'un arbre interagit avec les arbres appartenant à un voisi-

nage local dont la définition dépend explicitement des coordonnées spatiales des arbres ;

- les interactions indépendantes des distances dans le cas contraire, ce qui revient à supposer qu'un arbre interagira avec tous les autres arbres du peuplement.

Le choix d'un niveau de description et d'un type d'interaction entre les arbres dépend en définitive de la question posée. Ainsi pour décider de règles de sylviculture pied à pied un modèle arbre dépendant des distances sera nécessaire, alors que pour estimer globalement le stock de bois reconstitué à l'issue d'une rotation en fonction des diamètres minimaux d'exploitation de chaque espèce, un modèle démographique indépendant des distances pourra convenir (cf. les exemples présentés dans l'article de LOFFIER et FAVRICHON, 1996).

L'objectif de ce travail de thèse était de fournir plus de souplesse dans cette compartimentation des modèles forestiers, en recherchant des modèles qui s'appuient sur un niveau de description intermédiaire entre l'arbre et le peuplement. Deux approches complémentaires ont été suivies.

## UNITÉ DE MODÉLISATION

Tout d'abord une unité de modélisation est recherchée qui ne soit ni un arbre, ni une distribution, mais une structure intermédiaire. Dans une seconde approche davantage méthodologique, des règles mathématiques sont recherchées qui permettent de dégrader un modèle arbre en un modèle de distribution sans perte des performances prédictives du modèle.

Le point de départ a été les modèles de trouées (BOTKIN, 1993), ainsi nommés parce qu'il font l'hypothèse que le peuplement peut être découpé spatialement en une mosaïque de placettes à différents stades d'un cycle forestier, dont le moteur est la trouée (figure 1). Les modèles de trouées reposent sur une description au niveau de l'arbre, mais les interactions entre les individus sont homogènes à l'échelle de la placette. De plus, les placettes n'interagissent pas. Les modèles de trouées définissent ainsi des structures, les placettes, ayant leur dynamique propre (le cycle forestier) et qui sont intermédiaires entre l'arbre et le peuplement.

La construction d'un modèle de trouées à partir de données de placettes permanentes en Guyane française (dispositif de Paracou) donne des résultats assez symptomatiques des modèles arbre : le modèle rend mal compte de la variabilité des accroissements individuels mais reproduit correctement les caractéristiques du peuplement au niveau de la distribution.

Dans la mesure où le niveau arbre n'apporte guère d'information, on est amené à reformuler le modèle arbre en un modèle de distribution en effectuant une agrégation de variables (cf. le glossaire dans l'article de LOFFIER et FAVRICHON, 1996). Cette agrégation consiste essentiellement à raisonner non plus sur les trajectoires individuelles mais sur les flux d'individus (figure 2). L'agrégation de l'arbre à la distribution est réalisée pour chaque

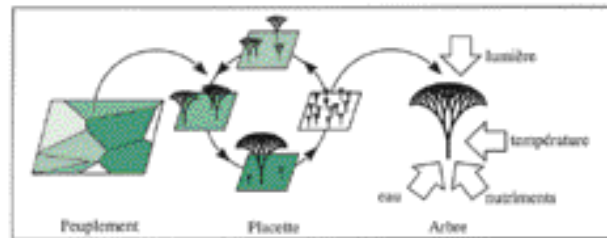


Figure 1. Décomposition d'un peuplement en une mosaïque de placettes à différents stades d'un cycle forestier. Les placettes constituent un niveau de description intermédiaire entre l'arbre et le peuplement.

*Breakdown of a stand into a patchwork of sample plots at different stages of a forest cycle. The sample plots represent a level of intermediate description between the tree and the stand.*

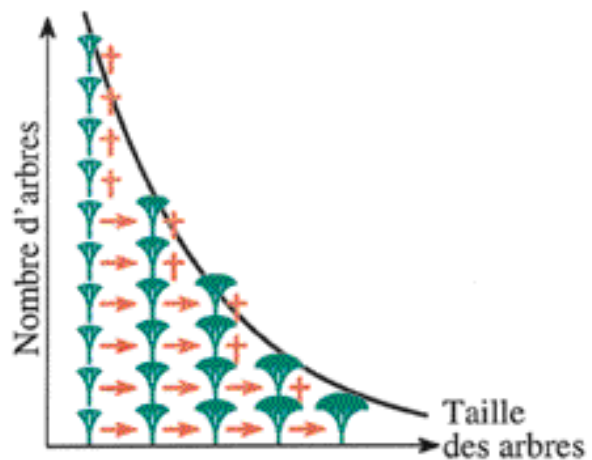


Figure 2. Passage des trajectoires individuelles au flux d'individus. Les flèches rouges symbolisent la croissance des arbres et une croix un individu qui meurt ; pour peu que le nombre d'arbres soit suffisamment élevé, on peut raisonner sur la distribution des tailles (courbe noire).

*Transition from individual trajectories to movements of individuals. The red arrows symbolize tree growth, and a cross a dying specimen; provided that the number of trees is sufficiently large, size distribution (black curve) can be analysed.*



type d'interactions entre les arbres : lorsque les interactions sont indépendantes des distances, il y a équivalence entre le modèle arbre et sa transformée en un modèle de distribution pour peu que le nombre total d'arbres soit suffisamment grand ; lorsque les interactions sont dépendantes des distances, l'équivalence ne tient plus !

## SPATIALISATION

La spatialisation est donc une caractéristique cruciale des modèles forestiers tant elle conditionne la possibilité de changer de niveau de description. Des méthodes mathématiques, rassemblées sous le nom d'équation des moments (BOLKER, PACALA, 1997), permettent cependant de dépasser en partie la difficulté liée aux interactions dépendantes des distances, en proposant des modèles de distribution qui sont des approximations du modèle arbre initial.

Comme la spatialisation des modèles forestiers constitue une sérieuse pierre d'achoppement aux changements de niveau de description, on est amené à rechercher des modèles qui puissent s'affranchir des interactions dépendantes des distances.

## ASSOCIATION DE DEUX NIVEAUX DE DESCRIPTION

La solution ici retenue consiste à associer deux niveaux de description dans un modèle hybride, matriciel (modèle de distribution discrète) pour les « petits » arbres

(arbres dont le diamètre est inférieur à un seuil fixé) et individuel pour les « gros » (arbres de diamètre supérieur au seuil). Cette approche est justifiée :

- d'une part par l'effectif élevé de petits arbres dans les peuplements naturels tropicaux, de sorte que l'on peut raisonner en termes de flux d'individus plutôt qu'en termes de trajectoires individuelles, alors que les gros arbres sont au contraire rares et requièrent un suivi individuel ;
- d'autre part par le fait que les gros arbres se sont affranchis de la compétition pour la lumière et ont atteint un régime de croissance quasiment libre, qui peut être modélisé sans tenir compte d'interactions dépendantes des distances.

Ces résultats s'inscrivent en fin de compte dans la recherche de modèles de dynamique forestière qui ne soient pas figés dans un niveau de description, mais qui fournissent au gestionnaire forestier un outil souple, capable de basculer d'un niveau de description détaillé vers un niveau plus synthétique en fonction de la question posée. Le développement de ces passerelles entre les modèles nécessite d'un côté la mise en œuvre de techniques mathématiques qui peuvent se révéler assez pointues, et d'un autre côté la connaissance du fonctionnement de l'écosystème forestier afin de justifier les hypothèses de construction des modèles.

---

► Nicolas PICARD  
CIRAD-Forêt

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

BOLKER B. M., PACALA S. W., 1997.

Using moment equations to understand stochastically driven spatial pattern formation in ecological systems. *Theoretical Population Biology*, 52 (3) : 179-197.

BOTKIN D. B., 1993.

Forest dynamics: an ecological model. Oxford University Press, Oxford, Royaume-Uni, 309 p.

FRANC A., GOURLET-FLEURY S., PICARD N., 2000.

Introduction à la modélisation des forêts hétérogènes. ENGREF, Nancy, France, 312 p.

LOFFEIER E., FAVRICHON V., 1996.

La forêt virtuelle, état des lieux. *Bois et Forêts des tropiques*, 249 : 5-21.

PICARD N., 1999.

Passage d'un modèle individuel à un modèle de distribution de la dynamique forestière tropicale. Application à une forêt dense tropicale humide de Guyane française. Thèse de doctorat. ENGREF, Paris, France, 457 p. (2 volumes).