

# MODÉLISATION DES PEUPLEMENTS COMBUSTIBLES : UNE NOUVELLE APPROCHE DANS LA PRÉVENTION DES INCENDIES

PAR **YVES CARAGLIO** <sup>1</sup>, **ISABELLE LAGARDE** <sup>2</sup>  
**ET FRÉDÉRIC BLAISE** <sup>1</sup>

Constatant qu'il n'existe pas actuellement, en Europe, d'outil véritablement opérationnel permettant aux gestionnaires de fonder leurs décisions sur la sensibilité réelle des forêts aux incendies, les responsables de la Commission des Communautés Européennes ont décidé, en 1991, de lancer un programme de recherche (contrat n°EV5V-CT91-0015, DGXII) sur la simulation des incendies de forêts. A son issue, il doit fournir des modèles de comportement des feux de végétation adaptés aux conditions européennes.

Tous les modèles existants pour simuler la propagation du feu nécessitent d'être alimentés par des paramètres caractérisant le combustible. Des informations sont nécessaires à la fois sur les propriétés physiques du combustible (dimension des organes, densité de la couche de combustible,...) et ses propriétés chimiques (chaleur de combustion, capacité calo-

rifique, teneur en eau...). Ces paramètres sont donc fonction :

- des espèces présentes dans l'écosystème (caractéristiques intrinsèques),
  - de la façon dont sont agencées ces espèces sur le terrain (proportions relatives, distribution spatiale, hauteur et densité de la formation,...)
- Quels sont alors les moyens disponibles pour se procurer ces données indispensables ?

La technique classiquement utilisée consiste à échantillonner la végétation et à effectuer des prélèvements qui sont analysés plus en détail (pesées, mesure des dimensions des brins,...). Outre le côté lourd et fastidieux de la méthode, on déplore aussi des difficultés de prise en compte de l'hétérogénéité spatiale de la végétation, les informations étant nécessairement moyennées pour assurer leur validité statistique.

Au sein de ce programme de recherche, une méthode originale de modélisation du combustible a été explorée. Elle se décompose en deux étapes :

- la modélisation de la croissance des principales espèces constitutives des écosystèmes méditerranéens français,
- l'élaboration d'une typologie de ces écosystèmes en termes qualitatifs et quantitatifs.

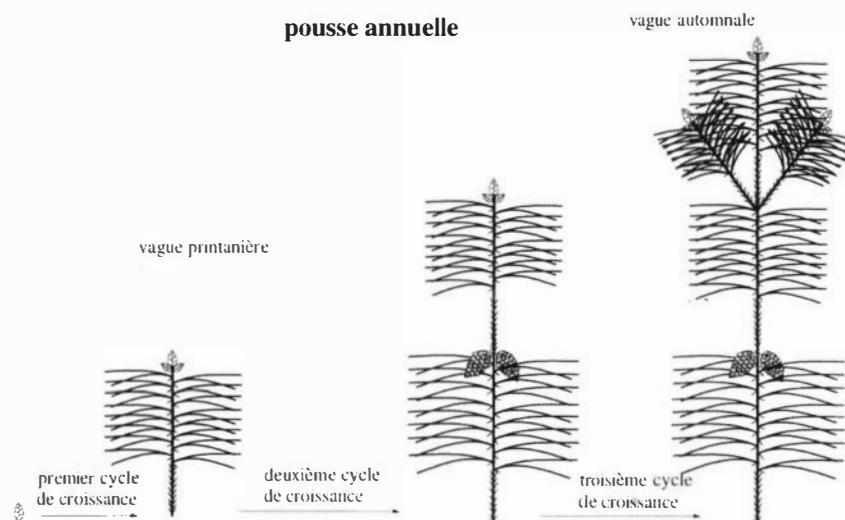
Afin de modéliser la répartition spatiale du combustible, il est nécessaire de pouvoir localiser dans l'espace les différentes parties d'une plante. La modélisation des plantes, telle qu'elle est pratiquée à l'Unité de Modélisation des Plantes du CIRAD, présente le double avantage de procurer une description complète des caractéristiques du végétal (topologiques et géométriques) et de prendre en compte la variabilité naturelle. Cette méthode a déjà fait ses preuves dans des domaines comme l'agronomie et la foresterie pour étudier l'influence de divers paramètres (génétiques, édaphiques, ou cultureaux) sur le développement des végétaux.

Le principe général de la méthode est de considérer la forme d'une plante comme une structure édifiée au fil des années, résultant de l'interaction du génome et de l'environnement. Ainsi, pour chacune des espèces choisies, la méthode de l'analyse architecturale consiste à décrire, à l'aide de marqueurs morphologiques, les différentes architectures présentées par la plante depuis la plantule jusqu'à la mort. Cette étude est réalisée dans des conditions d'environnement les plus variées possibles et sur du matériel végétal non homogène génétiquement. (peuplement naturel). L'objectif de ce travail est de comprendre l'agencement des différentes parties de la plan-

---

1 - C.I.R.A.D. : Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement - Unité de modélisation des plantes. BP 5035 - 34032 Montpellier Cedex 1

2 - Agence MTDA - 298, avenue du Club Hippique - F - 13 084 Aix-en-Provence Cedex 2



**Fig. 1 : Organisation de la croissance et de la ramifications d'une pousse annuelle de Pin d'Alep (*Pinus halepensis*, Pinaceae).**

te dans l'espace mais aussi leur évolution dans le temps. Cf. Fig. 1

Cette première partie de l'analyse est qualitative. Par l'observation des deux processus fondamentaux de l'édification des végétaux (la croissance et la ramification) et la compréhension de l'évolution de ces deux phénomènes au cours du temps, il est possible de distinguer un certain nombre d'éléments architecturaux (tronc, branches, rameaux, ...) définissant l'architecture élémentaire de la plante étudiée. Cf. Fig. 2 et 3

Grâce à l'identification de cette unité architecturale, il est possible d'élaborer un schéma retraçant de

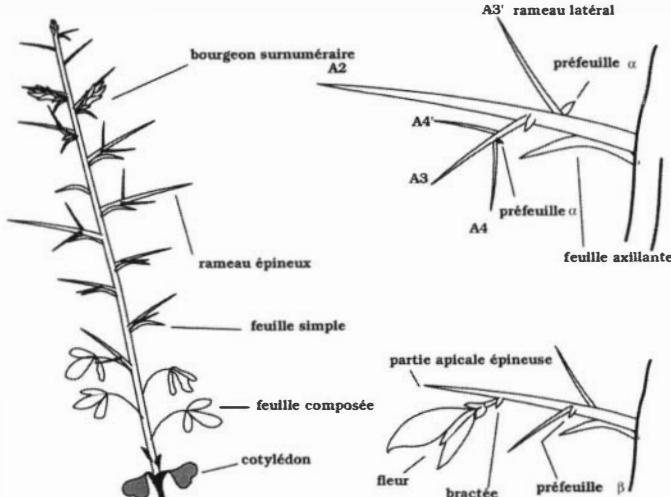
façon synthétique les principales étapes du développement de l'espèce. La démarche architecturale essaie de traduire, par des schémas de synthèse, non pas un comportement particulier, mais plutôt un développement moyen de l'espèce. Cf. Fig. 4

Cette première étape permet d'échantillonner des parties homologues du végétal sur un grand nombre d'individus. Il est alors possible de regrouper les données acquises et de prendre en compte la variabilité d'expression d'un phénomène en un point précis de l'architecture végétale. Les mesures effectuées ont pour but de rendre compte du fonctionnement de

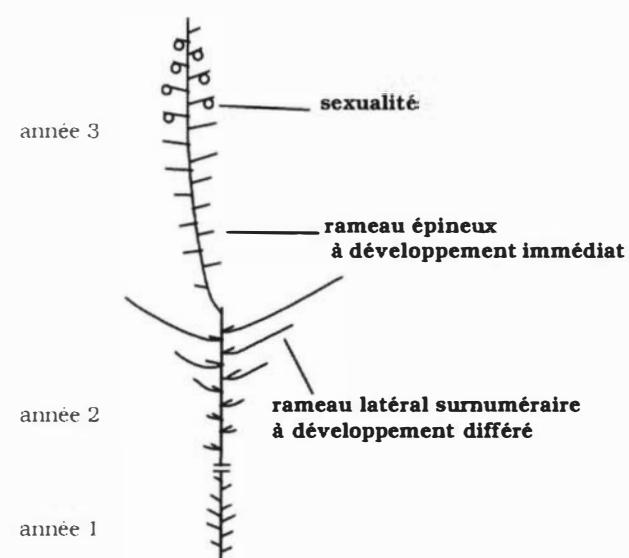
l'espèce, c'est-à-dire de modéliser sa croissance, sa ramifications. Pour cela, les distributions obtenues (nombre de feuilles produites, longueur de la pousse annuelle, ...) sont modélisées (ajustées) par des lois mathématiques élémentaires ou par des modèles plus complexes (comme, par exemple, les modèles markoviens) pour rendre compte de la ramifications.

L'ensemble des mesures analysées permet alors de calculer un modèle de croissance dont les paramètres correspondent à une situation donnée (plantes et environnement), c'est-à-dire celle où les mesures ont été effectuées. Pour d'autres situations, il faudra effectuer d'autres prises de données pour localiser et évaluer les éventuelles différences de comportement. L'expérience a montré que le modèle de croissance établi dans un type de milieu reste valable dans un autre site, seuls les paramètres du modèle changent. Cf. Fig. 5

A partir des différentes caractérisations à la fois qualitative et quantitative, une simulation du développement de l'espèce peut être réalisée sur ordinateur, grâce à un logiciel spécifique (AMAPsim), développé à l'Unité de Modélisation des Plantes du CIRAD. Cette simulation peut être visualisée en trois dimensions (image de synthèse). Les objets virtuels ainsi obtenus, par l'analyse et par la conception du logiciel de simulation, restituent la



**Fig. 2 : Caractéristiques morphologiques de l'Ajonc de Provence (*Ulex parviflorus*, Fabaceae).**



**Fig. 3 : Unité architecturale de l'Ajonc de Provence (*Ulex parviflorus*, Fabaceae).**

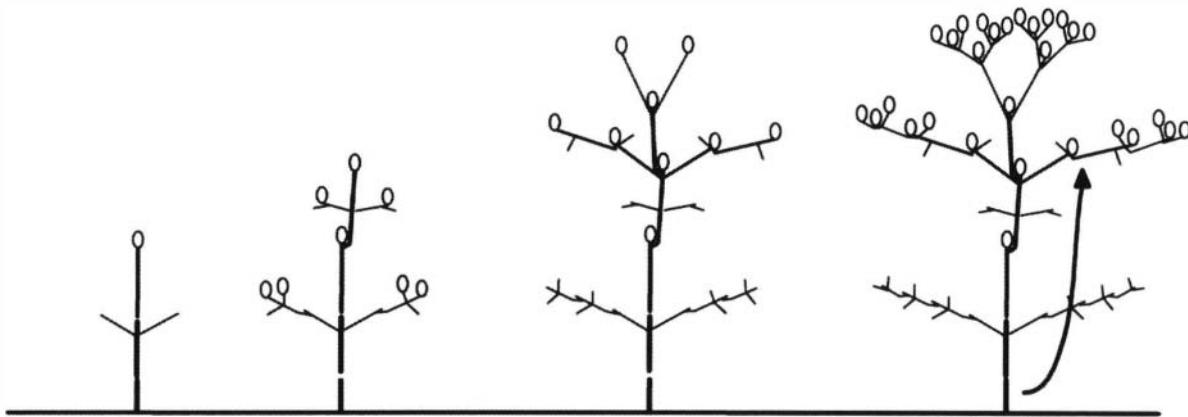


Fig. 4 : Développement architectural de la Viorne Tin (*Viburnum tinus*, Caprifoliaceae).

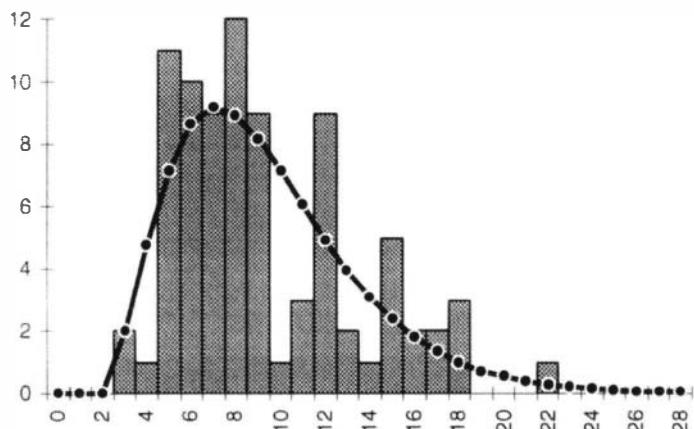


Fig. 5 : Distribution de la longueur de 83 pousses annuelles de Pin d'Alep.  
La courbe noire représente l'ajustement de la distribution par une loi binomiale négative.

variabilité mesurée sur le terrain. Ainsi, pour un stade de développement donné, le logiciel peut engendrer un grand nombre d'individus différents.

Pour obtenir des valeurs pour les paramètres du combustible d'une association végétale, une maquette en trois dimensions (3D) de cette association est réalisée en combinant les maquettes des plantes des différentes espèces. Pour cela, un échantillonnage de terrain «classique» (relevé des espèces, pourcentages de couvert, nombres de pieds, ...) permet de dresser une typologie des peuplements combustibles sur une zone test. Les plantes modélisées sont ensuite disposées sur une scène virtuelle, en fonction du type d'association identifié sur le terrain. Cf. Fig. 6

L'intérêt des maquettes en 3 dimensions ainsi constituées est qu'elles contiennent l'ensemble de l'information caractérisant les propriétés du combustible. L'image n'est que l'expression des nombreuses données

contenues dans le modèle. A partir de ces maquettes, le logiciel AMAPsim peut générer un fichier de certaines caractéristiques de la croissance (nombre de nœuds, ramification) et constituer une véritable base de données sur les paramètres descriptifs du combustible.

Les prélèvements sur le terrain sont remplacés par des extractions réalisées automatiquement par un outil informatique, après découpage de l'espace de la scène en unités de volume (voxels). La zone d'extraction des données correspond au front de propagation du feu (ligne selon laquelle le combustible va alimenter le feu).

Cf. Fig. 7

Les valeurs des paramètres du combustible (rapport  $b$  : volume du voxel/volume du combustible,  $r$  : densité du combustible,  $s$  : rapport surface/volume des particules) peuvent être extraites, dans chaque voxel, en fonction des diamètres des organes, des espèces, de leur état (mort ou vivant).

Par ailleurs, les données extraites par cette méthode ont été utilisées pour calculer la charge de combustible ( $\text{masse}/\text{m}^2$ ) dans les peuplements modélisés. Les résultats sont susceptibles de varier en fonction de la taille du voxel utilisé, de la longueur du mur de voxels et de son orientation. Plusieurs extractions sont donc nécessaires dans une même maquette pour obtenir une évaluation de la charge de combustible. Les résultats ainsi obtenus ont été comparés avec les données de la littérature pour des peuplements similaires, et se sont avérés satisfaisants. Par exemple, pour des garrigues d'Ajonc épineux de 76 cm de haut, les calculs effectués à partir des maquettes 3D fournissent pour la charge de combustible des valeurs 3,1 à 4,8 kg/m<sup>2</sup>.

Or, les valeurs obtenues par CARAMELLE pour des garrigues à Ajonc épineux et à Chêne kermès de 70 cm et de 80 cm de haut sont respectivement : 3,81 et 4,08 kg/m<sup>2</sup> (matière fraîche).

## CONCLUSION

Le préalable indispensable est la collecte de l'ensemble des informations permettant de comprendre le processus de croissance de la plante pour recréer son architecture. Cette phase est non négligeable mais, une fois qu'elle est achevée pour une espèce, un gain de temps considérable est obtenu sur l'ensemble des opérations ultérieures, puisque tous les types de formations constitués de cette espèce peuvent être recréés et traités automatiquement pour en extraire les para-

mètres d'entrée des modèles de combustion. La méthode est applicable à toute espèce végétale.

Dans le cadre des 4 années du programme de recherche, plusieurs espèces méditerranéennes ont pu être modélisées : le Pin d'Alep, le Chêne vert, le Chêne kermès, l'Ajonc de Provence, le Ciste blanc, la Viorne tin. A l'aide de ces modèles, il est déjà possible de recréer bon nombre des types de peuplements de la zone méditerranéenne française.

Y.C., I.L., F.B.



Fig. 6 : Maquette 3D d'un peuplement de Pin d'Alep avec sous-étage de ciste et Chêne kermès.

## BIBLIOGRAPHIE

BARTHELEMY D., CARAGLIO Y., 1991. Modélisation et simulation de l'architecture des arbres. Bulletin de Vulgarisation Forestière, Forêt Entreprise, 73 : 28-39.

CIRAD, Agence MTD, 1994, Modélisation des incendies de forêts - Rapport de synthèse «Creating inputs to DYNFFP».

CIRAD, 1994, Modélisation des incendies de forêts - Rapport de synthèse «Fuel modelling of typical species»

DURAND M., 1994. Analyse architecturale et morphologique du Chêne vert (*Quercus ilex* L.) en taillis. Evolution de la structure des rejets et des pousses annuelles entre 1 et 25 ans. Mém. D.E.A., Biologie Forestière, Université des Sciences et Techniques de Nancy I; 23 p.

MARTINEZ P., 1993. Modélisation de la croissance et de l'architecture du pin d'Alep, jusqu'à l'âge de 5 ans. Mémoire de D.E.A., Ecosystèmes continentaux, arides, méditerranéens et montagnards ; Rapport d'Ingénieur Forestier, Spécialisation Recherche ; ENGREF Nancy, Université des Sciences et Techniques de Saint-Jérôme Marseille, Agence MTD, 39 p.

Agence MTD, 1994, Modélisation des incendies de forêts - Rapport de synthèse «Setting up a database on a test-massif».

REFFYE Ph. de, BLAISE F., GUEDON Y., 1993. Modélisation et simulation de l'architecture et de la croissance des plantes. Revue du Palais de la Découverte, 21(209) : 23-48

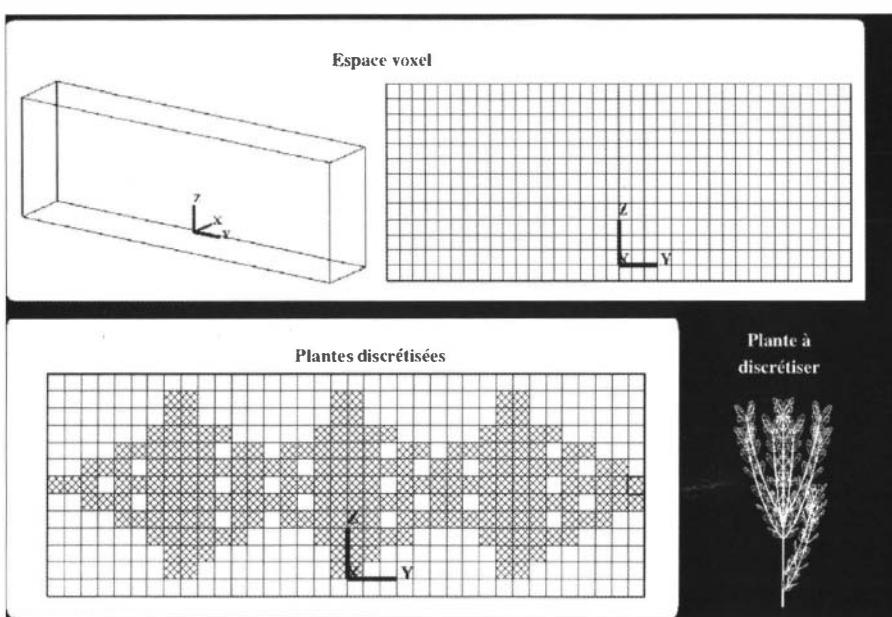


Fig. 7 : Découpage de l'espace de la scène virtuelle en voxels

## Résumé

Une méthode originale de modélisation du combustible a été développée, combinant la modélisation de la croissance des principales espèces méditerranéennes et la typologie de ces écosystèmes. Des maquettes numériques en 3 D des forêts méditerranéennes sont ainsi créées : elles constituent une véritable base de données sur les paramètres descriptifs du combustible requis par les modèles de propagation des feux. L'extraction de ces données est ensuite réalisée à l'aide d'un outil informatique.

## Summary

In 1991 the EEC Committee started a research programme entitled «Forest Fires Modelling» (*Modélisation des incendies de forêt* - contract n°EV5V-CT91-0015, DGXII). This research programme was born from the obviousness that managing fire-prone forests requires a good knowledge of fire behaviour. Fire propagation models require as input data regarding fuel. One part of the work in creating a fire propagation model is therefore setting up a database with the inputs required by the model. On the purpose of adjusting a method of describing fuel vegetation from fire point of view, 2 complementary methods were investigated :

1 - Creating fuel plants growth models, that is a thorough description of plant architecture and, as a result, of the values of the various parameters influencing fire behaviour,

2 - Defining the types of associations of species present in a real test-massif because fuel characteristics depend on both the vegetation species (influencing chemical and physical characteristics of vegetation) and the type of vegetation stand : density, height, development stage, and specie

The first step leads to the creation of 3D-numerical models of vegetation species. This method was originally developed by C.I.R.A.D. (on agronomic purposes) and was used for the first time for fuel description in this research programme.

Only a few guidelines of the principle of this method can be produced here. Practically, plant structure is described morphologically, from seedling to ageing stage. Comparisons are made on drawings of different trees, of different parts of the same tree, of trees at different ages. From these comparisons, shape regularities, growth strategy, ..., are extracted ; they characterize the species. From these observations a growth model is calculated. A growth model is a mathematical equation describing how and when the various organs of the plant appear on the plant. The model contains all descriptive information of the plant : qualitative and quantitative information (type of organs, dimensions, stage : live or dead). The point is that the model recounts natural variability.

The second step allows to re-create, with these models, virtual forest communities recounting precisely the characteristics of real vegetation stands, as well as their natural heterogeneity. From the 3D-numerical models of forest communities, the values for the various parameters influencing fire

behaviour can be extracted with the help of a computer tool. The data are extracted from the virtual space according to a voxel line corresponding to the fire propagation front.

During the 4 years of the work programme, growth models were calculated for six very widespread Mediterranean species : Aleppo pine, Rock rose, Kermes oak, Gorse, Laurustinus and Holm oak.

As a result, the created 3D-numerical models proved quite reliable, as well as the extracted data that can be used for biomass evaluation and give satisfactory estimates, when compared to works from different authors on this subject.

## Resumen

*Modelos teóricos de poblamientos combustibles : un nuevo enfoque en la manera de tratar la prevención de los incendios*

Un método original de concepción de un modelo teórico del combustible, ha sido investigado, combinando el dicho modelo de desarrollo de las principales especies mediterráneas con la tipología de esos ecosistemas. Maquetas numéricas en tres dimensiones, de los bosques mediterráneos han sido creadas y constituyen una verdadera fuente de datos referentes a los parámetros descriptivos del combustible necesario a los modelos de propagación del fuego. La captura y la extracción de esos datos se realiza mediante empleo del computador.