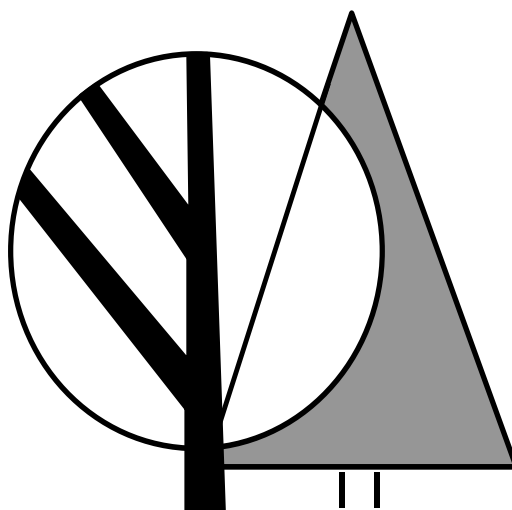


LES CAHIERS FORESTIERS DE GEMBLoux



**Evolution des principaux types d'aides a la
decision en matiere de gestion forestiere**

N° 18

P. LEJEUNE, J. RONDEUX, J. HEBERT

LES CAHIERS FORESTIERS DE GEMBOUX

visent à faire connaître les travaux (documents techniques, rapports de recherche, publications, articles de vulgarisation) émanant des Unités des Eaux et Forêts de la Faculté Universitaire des Sciences Agronomiques de Gembloux et de ses groupes de recherche, financés par des organismes internationaux, nationaux ou régionaux.

Adresse de contact :

Unité de Gestion et Economie forestières
Faculté des Sciences Agronomiques de Gembloux
B - 5030 Gembloux - Belgique

Tél : 32 (81) 62 23 20

Fax : 32 (81) 62 23 01

E-MAIL : rondeux.j@fsagx.ac.be

<http://www.fsagx.ac.be/gf>

EVOLUTION DES PRINCIPAUX TYPES D'AIDES A LA DECISION EN MATIERE DE GESTION FORESTIERE(*)

P. LEJEUNE⁽¹⁾ , J. RONDEUX^{(1),(2)} , J. HEBERT⁽¹⁾

Résumé

La planification forestière relève de plus en plus souvent d'activités qui nécessitent la prise en compte d'un volume important de données très variées : écologiques, économiques, sociologiques. Cette diversité combinée à une complexité d'échelles de référence spatiale et temporelle implique la mise en œuvre d'outils d'aide à la décision aptes à mieux orienter les gestionnaires dans leur choix. Quelques systèmes de ce type sont brièvement présentés sur un plan conceptuel et sont illustrés au travers de leurs possibilités d'application à des situations concrètes.

Mots-clés : Gestion forestière, aide à la décision, systèmes.

Evolution of main aid-decision types in forest management

Abstract :

Forest planning is more and more made of activities which require to take into account a great amount of various sets of ecological, economical and social data which have to be considered in a diversity of space and time-scales. Facing such complexity the managers need of guidance in coming to the right decision. Some decision support systems are presented and briefly described as concerns nature, objectives and possible applications to concrete situations.

Key-words : Forest planning, decision - support, systems.

(*) Texte à publier dans *Agricontact* [1996].

(1) Unité de Gestion et Economie forestières, Faculté universitaire des Sciences agronomiques de Gembloux. Passage des Déportés, 2. B-5030 GEMBLoux

(2) Directeur du Centre de Recherche et de Promotion Forestières I.R.S.I.A. - Section "Ecologie " et Section "Système d'information géographique"

1. Introduction

La planification et l'aménagement forestiers sont des activités qui nécessitent la prise en compte d'une quantité importante d'informations de natures variées entre autres écologiques, économiques et sociales. Cette diversité d'informations, combinée à la multiplicité et l'interaction des échelles de référence spatiale (arbre, parcelle, massif, région) ou temporelle (court, moyen ou long terme) à considérer imposent la mise en œuvre d'outils spécifiques d'aide à la décision capables d'intégrer ces contraintes et de maîtriser la complexité des processus à gérer.

L'objectif des lignes qui suivent est de faire le point sur les systèmes d'aide à la décision (*SAD*) appliqués à la gestion forestière et de décrire les principaux outils que ceux-ci mettent habituellement en œuvre. Après une définition des *SAD* et une description succincte de leurs constituants (paragraphe 2), nous envisagerons l'application de ces outils successivement au niveau local d'une parcelle (paragraphe 3), au niveau plus général d'une propriété forestière (paragraphe 4), avant de conclure sur les possibilités d'application de ces techniques dans le cadre de la gestion de forêts semblables à celles rencontrées en Belgique (paragraphe 5).

2. Le concept de système d'aide à la décision

Dans son acception actuelle, un système d'aide à la décision est avant tout un système informatique incluant une *base de données*, un ensemble de *procédures* et de *modèles*, permettant l'exploitation des données et apportant les éléments de réponse aux questions posées par l'utilisateur au travers d'une *interface* avec le système [THOMPSON et WEETMAN, 1995]. Les problèmes relatifs à l'aménagement des forêts ayant une composante spatiale importante, les *SAD* sont généralement organisés autour d'un système d'information géographique (*SIG*) (figure 1) permettant la gestion et l'analyse d'informations géo-référencées [POWER, 1993]. La structuration informatique des connaissances et des schémas de raisonnement nécessaires au fonctionnement des *SAD* peut, dans certains cas, faire appel aux techniques relevant des *systèmes experts* [LOH *et al.*, 1994]. Ceux-ci sont constitués respectivement d'une "base de connaissance" et d'un "moteur d'inférence". La base de connaissance contient les données décrivant le domaine d'application ainsi que les règles ou heuristiques intervenant dans ce domaine, le moteur d'inférence représente la structure de contrôle du système [RAULIER, 1989 ; RONDEUX, 1991].

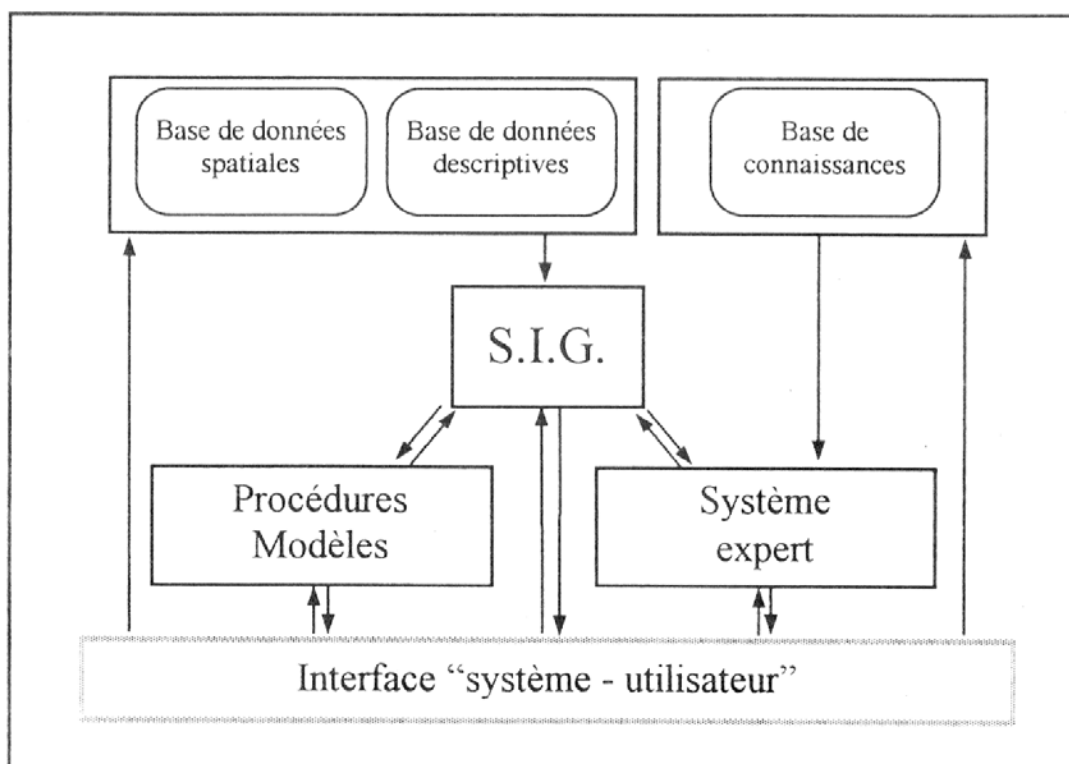


Figure 1. - Structure d'un système d'aide à la décision.
General structure of a decision - support system.

La diversité des données traitées dans la cadre d'applications à vocation forestière, le caractère hautement dynamique tant au niveau spatial que temporel des phénomènes étudiés, de même que l'évolution constante des connaissances intervenant dans le développement d'un SAD, rendent très difficiles l'intégration et la maintenance informatique des différents constituants d'un tel système [POWER et SAARENMAA, 1995]. C'est une des raisons qui tend à généraliser le développement de ces logiciels dans un environnement mettant en œuvre des techniques de programmation et de modélisation "orientées objet". Celles-ci sont structurées autour des objets (et de leurs propriétés) et non autour des procédures de traitement, assurant ainsi une adaptation plus aisée de la programmation des SAD à l'évolution des connaissances qu'ils intègrent [POWER, 1993]

Une typologie des SAD appliqués à la gestion forestière peut être établie sur la base des échelles de référence spatiale et temporelle au niveau desquelles ils sont appelés à fonctionner. Dans le cadre d'une gestion forestière intensive on distingue, d'un point de vue spatial, des systèmes opérant au niveau des unités de traitement ("parcelles"), strictement délimitées sur le terrain et des unités de gestion ("propriétés" ou "massifs"), constituées de la juxtaposition d'un nombre plus ou moins important de parcelles. Certains systèmes, fonctionnant à des échelles beaucoup plus larges et pouvant couvrir des régions voire des pays tout entiers, sont utilisés par exemple dans le cadre de l'évaluation de la disponibilité d'une matière première [HEBERT et LAURENT, 1995]. Quant à la portée des prises de décision engendrées par ces systèmes, elle permet de différencier des actions de planification

appelées conventionnellement opérationnelles (1 à 5 ans), tactiques (10 à 50 ans) ou stratégiques, ces dernières portant sur une ou plusieurs révolutions [PENTTINEN, 1995 ; THOMPSON et WEETMAN, 1995].

La principale faiblesse des SAD actuellement développés réside dans le manque de liaison entre les niveaux de prise de décision, qu'il s'agisse d'évaluer l'impact à long terme et sur l'ensemble d'un massif, d'une planification opérationnelle établie localement ou, inversement, de prédire la faisabilité locale d'activités sylvicoles planifiées à court terme en tenant compte des objectifs définis globalement à une échéance plus lointaine [DAVIS et MARTELL, 1993]. L'intégration de ces différents niveaux de perception passe essentiellement par la mise en œuvre conjointe d'un SIG capable de maîtriser les implications spatiales des opérations à planifier et de modèles de simulation du développement des peuplements forestiers permettant une comparaison rapide de différents scénarios [BROWN *et al.*, 1994]. Le second défi que doivent relever ces systèmes est l'adaptation à des problèmes de planification à "buts multiples" impliquant la satisfaction simultanée de plusieurs objectifs souvent conflictuels et rarement comparables sur les mêmes échelles de valeurs. Le développement de méthodes de travail interactives permettant d'alterner des procédures de calcul relevant de la recherche opérationnelle avec d'autres phases où le processus décisionnel est orienté par un ou plusieurs "décideurs" semble une voie prometteuse dans la recherche d'alternatives de traitement conciliants les différents intérêts en présence [BERBEL et ZAMORA, 1995 ; LIU et DAVIS, 1995].

3. Mise en œuvre d'un SAD à une échelle "locale"

Parmi les multiples problèmes à résoudre au niveau d'une parcelle forestière, il en est deux pour lesquels la recherche forestière a développé un nombre important d'outils d'aide à la décision. Il s'agit de l'adéquation entre essence et station et de la prévision de la croissance des peuplements ainsi que son utilisation pour le choix des traitements sylvicoles appliqués à ces mêmes peuplements.

3.1. Recherche de l'adéquation essence-station

Le choix des essences forestières à utiliser lors de nouveaux boisements ou de reboisements implique une prise de décision capitale en aménagement forestier, dans la mesure où elle conditionne largement la physionomie de la forêt future mais également parce que toute erreur d'appréciation commise à ce stade a des répercussions à très long terme. Bien qu'elles soient complémentaires, on peut distinguer deux approches pour la recherche d'une adéquation entre stations (unité spatiale écologiquement homogène) et essences à introduire.

Une première démarche consiste à considérer l'autécologie des essences potentielles et à ne retenir que celles dont les affinités et exigences rencontrent le mieux les caractéristiques de la station "hôte". Le *Fichier écologique des essences* [WEISSEN, 1991] et le *Guide de boisement des stations forestières de Wallonie* [WEISSEN *et al.*, 1994] édités par la Région Wallonne sont deux exemples de raisonnements basés sur cette philosophie. Ces documents constituent une synthèse de nos connaissances actuelles relatives au comportement des essences en fonction des conditions stationnelles. Ils reposent essentiellement sur une recherche bibliographique et sur la

compilation des connaissances, c'est-à-dire très concrètement sur "l'expertise" de spécialistes en écologie forestière. La traduction informatique de tels documents "synthétiques" (tableau 1), préalable à leur intégration dans un SAD, est cependant loin d'être évidente. Si les facteurs identifiés comme étant les plus contraignants pour la croissance et le développement normal d'une essence peuvent être aisément codifiables au travers d'attributs gérés par une base de données classique, il n'en va pas de même lorsqu'il s'agit d'interpréter les inévitables interactions et autres phénomènes de compensation entre les différents paramètres écologiques régissant les relations peuplement-station. Ce genre de problème nécessite généralement la mise en œuvre de procédures de diagnostic relevant des systèmes experts [HARRINGTON et CASSON, 1986 ; RAULIER, 1989].

Tableau 1. - Description des facteurs édaphiques limitants pour l'épicéa (d'après le fichier écologique des essences de la Région Wallonne). Les sigles utilisés sont ceux de la Carte des Sols de Belgique [AVRIL, 1987].

Description of limiting soil factors for spruce.

Caractéristiques	Facteurs limitants	
	importants	moins importants
Substrat	k, n, kf	g, s
Texture	Z, U, V	S
Drainage	a, f, i, g	e, h
Profil	e, g, h	c, d, f
Profondeur / pierrosité	5, 6	3, 4
Phases particulières		(v)
pH eau	6 <	5 < < 6

La seconde démarche permettant d'aborder la problématique du choix des essences à introduire en forêt repose davantage sur des bases quantitatives et se traduit par le développement de modèles statistiques permettant d'estimer la productivité potentielle d'une essence donnée en fonction des conditions stationnelles rencontrées localement [ALLISON *et al.*, 1994 ; MACMILLAN, 1991]. Les indices dendrométriques utilisés dans ce genre de modèle peuvent être une expression directe (production totale en volume à un âge donné) ou indirecte (hauteur dominante atteinte à un âge de référence) de la productivité [RONDEUX, 1993]. Ils sont généralement reliés aux variables descriptives du milieu les plus significatives au travers d'une régression multiple [LEJEUNE, 1994]. La sélection des variables explicatives intervenant dans le modèle dépend non seulement de leur capacité à maîtriser la variabilité existante, mais également du souhait généralement exprimé par les utilisateurs de représenter le résultat final du modèle sous forme cartographique (figure 2), via son intégration dans un SIG [LEJEUNE, 1993].

L'intérêt de considérer simultanément les deux approches apparaît surtout lorsque celles-ci conduisent à des évaluations "contradictoires" dont l'exemple le plus typique est la mise en évidence d'une productivité potentiellement élevée malgré l'existence de facteurs écologiques jugés défavorables au bon développement de l'essence. Un tel diagnostic permet, lorsque l'essence est effectivement introduite, d'adapter le traitement sylvicole en fonction des contraintes écologiques. Par exemple cela peut se traduire par une réduction de la révolution et une intensification des éclaircies, lorsque la nature du sol limite l'enracinement des arbres

aux horizons superficiels et augmente fortement les risques d'accidents climatiques au-delà d'un certain âge.

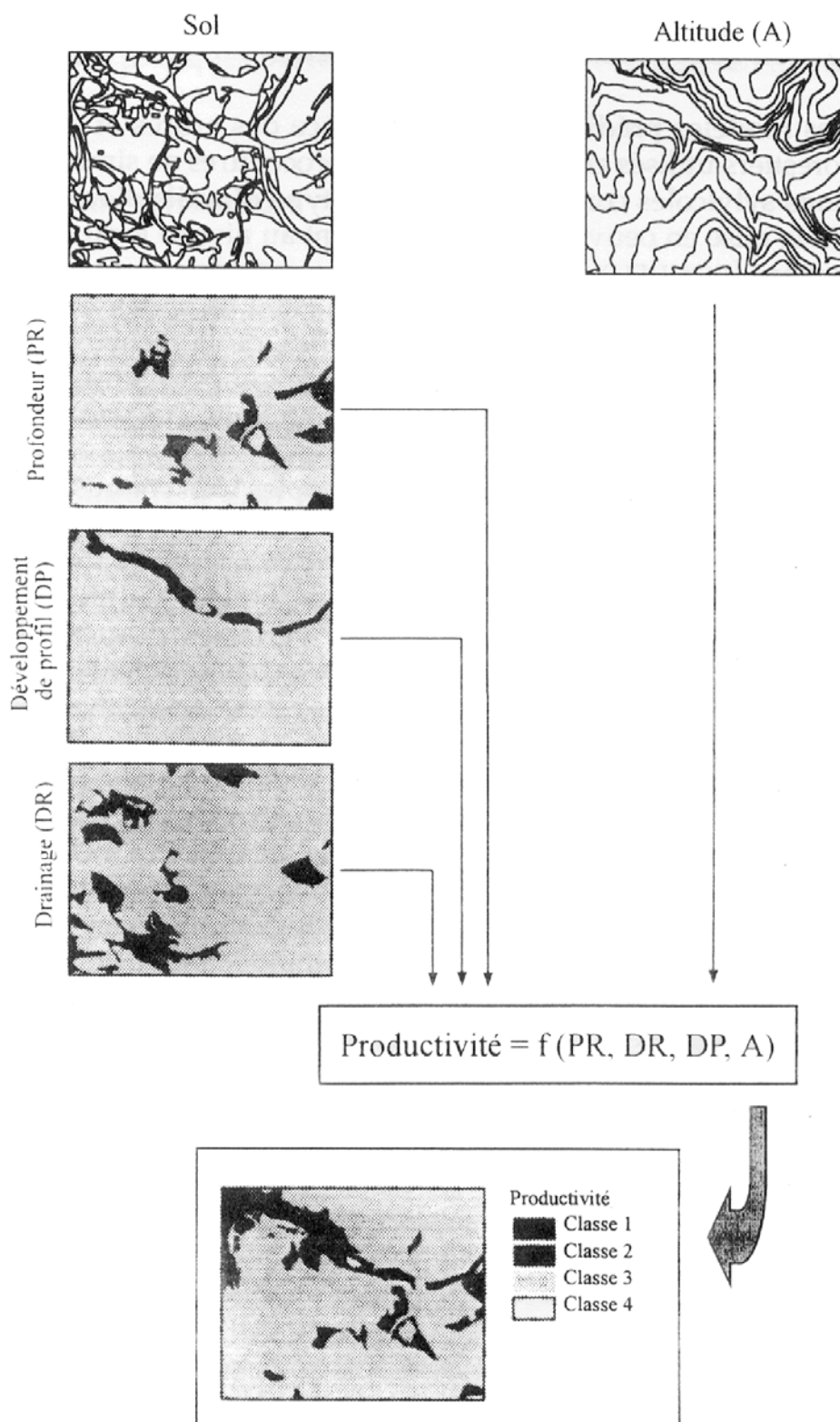


Figure 2. - Traduction d'un modèle de productivité d'une essence forestière sous forme cartographique.

Cartographic representation of a productivity model for a forest species.

3.2. Prédiction de la croissance des peuplements

Les modèles prédictifs de la croissance des arbres et des peuplements forestiers utilisés en liaison avec des procédures de simulation d'interventions sylvicoles constituent un autre type d'outils d'aide à la décision dont la mise en œuvre s'effectue souvent au niveau local d'une unité de traitement [RONDEUX, 1994]. La démarche entreprise à ce niveau peut être la *simulation* de l'évolution du peuplement et de la délivrance consécutifs à l'application d'un traitement prédéfini, ou la recherche, par une procédure d'*optimisation*, de la norme sylvicole qui permettra de maximiser un objectif, généralement de type économique, préalablement fixé [NEWNHAM, 1989].

Les tables de production sont des exemples bien connus de mise en œuvre de modèles de croissance simulant l'évolution des principaux paramètres dendrométriques globaux pour des peuplements équiennes monospécifiques et reflétant l'application d'une sylviculture moyenne [DECOURT, 1972] ou de sylvicultures dites "variables" [DAGNELIE *et al.*, 1988]. Malgré leur facilité de mise en œuvre, ces tables cèdent aujourd'hui le pas à des outils plus facilement intégrables dans un système informatique et surtout offrant plus de souplesse pour la simulation de scénarios sylvicoles. Il en résulte un recours de plus en plus fréquent aux modèles de type "arbre", où ce dernier constitue l'unité de croissance de référence. Les progrès enregistrés par ce type de modèle doivent être mis en relation non seulement avec l'évolution du matériel informatique et des outils statistiques, mais également avec l'acquisition de quantités sans cesse croissantes d'informations relatives à la dynamique des arbres forestiers [HOULLIER *et al.*, 1991].

Les progrès les plus récents en matière de modèles "arbre" tendent à dépasser la simulation de l'évolution des seuls paramètres dendrométriques du peuplement pour s'orienter vers la prédiction de la qualité et de la valeur marchande des produits de premières transformations (sciages) qui seront obtenus au départ des arbres récoltés dans un peuplement, ces résultats pouvant être mis en relation avec la nature et la programmation des opérations sylvicoles auxquelles le peuplement aura été soumis : distance à la plantation, nature et fréquence des élagages artificiels, intensité des éclaircies [HOULLIER *et al.*, 1993 ; MITCHELL et POLSSON, 1993]. L'application de ce genre de modèles nécessite cependant une quantité considérable d'informations décrivant de manière fine l'état initial du peuplement. Elle ne peut raisonnablement être envisagée que dans le domaine de la recherche, pour la comparaison de différents scénarios, ou à des fins didactiques pour faire percevoir aux forestiers de terrain l'utilité de certaines pratiques sylvicoles (par exemple l'élagage en hauteur de tiges d'élite).

3.3. Choix d'une sylviculture

La mise en œuvre de modèles prédictifs de la croissance des peuplements ouvre de nombreuses possibilités concernant la recherche d'une sylviculture appropriée à des objectifs prédéfinis, celle-ci pouvant être définie au plan de la révolution, de la rotation et de la nature des éclaircies. Cette démarche met généralement en œuvre des techniques de recherche opérationnelle dont les plus couramment utilisées sont la programmation linéaire (PL) et non-linéaire (PNL) ainsi que la programmation dynamique (PD).

Les deux premières méthodes permettent la définition d'un nombre important de variables décisionnelles et de contraintes dont la formulation ne peut être que de type linéaire dans le cas de la *PL*. Elles utilisent ensuite différents types d'algorithmes de recherche de valeurs des variables décisionnelles maximisant la fonction objectif. Alors que la *PL* propose une solution unique à un problème (optima absolu), la *PNL* ne peut aboutir généralement qu'à des solutions approchées (optima locaux) dépendant des valeurs initiales attribuées aux variables décisionnelles [ROISE, 1986].

La *PD*, pour sa part, permet l'optimisation de systèmes pouvant se décomposer en états intermédiaires liés entre eux par des relations à caractère dynamique. Le traitement d'un peuplement au travers d'une succession d'interventions sylvicoles correspond parfaitement à ce genre de problème. L'espace représenté par les variables d'état décrivant le système (par exemple, l'âge, le nombre de tiges et la surface terrière dans le cas d'un peuplement) est représenté sous la forme discrète d'un réseau de nœuds. Les algorithmes utilisés recherchent alors de manière récursive la solution optimale, en identifiant à chaque étape (correspondant par exemple à une rotation) parmi les chemins qui aboutissent à un nœud donné, celui qui maximise la valeur intermédiaire de la fonction objectif [HAIGHT *et al.*, 1985 ; PAREDES et BRODIE, 1987]. Si la *PD* fournit des solutions exactes (optimum absolu), elle est cependant limitée à la résolution de problèmes présentant un nombre restreint de variables d'état. Cette technique est surtout intéressante dans l'établissement de scénarios d'exploitation reposant sur des types de sylviculture très simples pour lesquels la révolution, la fréquence et le nombre d'interventions sont les seuls éléments à optimiser [ERIKSSON, 1994]. Lorsque l'optimisation porte également sur la description des interventions, notamment la distribution des arbres exploitables par classes de grosseur, la *PNL* semble la seule technique capable de maîtriser des variables décisionnelles aussi détaillées et de relier celles-ci à l'évolution du peuplement au travers d'un modèle de croissance qui fonctionne généralement au niveau "arbre" [VALSTA, 1992].

4. Mise en œuvre des SAD à l'échelle d'un "massif" forestier

Dès qu'un massif forestier atteint une certaine taille (100 ha), la planification des actions à entreprendre dans celui-ci ne peut résulter d'une analyse individuelle des parcelles qui le composent. En effet, la recherche d'une certaine stabilité dans les flux financiers engendrés par la production ligneuse (rendement soutenu) ou le développement des autres vocations assignées à la forêt (récréation, biodiversité, protection) ne peuvent s'envisager qu'en considérant cette dernière comme une entité à part entière [YOSHIMOTO *et al.*, 1994].

4.1. Planification à objectif unique

Les processus de planification traditionnellement mis en œuvre au niveau des massifs forestiers, axé vers la production ligneuse, reposent sur la notion de forêt "équilibrée" ou "normale" supposée stable dans le temps et vers laquelle il convient de faire tendre le massif à aménager. Cette phase de *régularisation* peut se traduire, dans le cas de forêts constituées de peuplements équiennes, par la recherche d'une distribution uniforme des surfaces par classes d'âge, supposée garantir un rendement soutenu au niveau du massif [LEUSCHNER, 1984]. La même démarche peut

être suivie dans le cas de forêts inéquiennes, en exprimant la situation d'équilibre en termes de structure, sous la forme d'une distribution des arbres par classes de grosseur [ADAMS et EK, 1974 ; ANDERSON et BARE, 1994]. De nombreux auteurs considèrent cependant qu'une forêt "normale" ne constitue pas nécessairement la meilleure solution dans la perspective d'une production ligneuse optimale, d'autant que la transition vers une telle situation implique bien souvent des sacrifices d'exploitabilité ou autres coûts d'exploitation différée importants [CLUTTER *et al.*, 1983 ; HOGANSON et McDILL, 1993].

La tendance actuelle en matière de régularisation de massifs forestiers privilégie la définition de programmes d'exploitation et d'interventions sylvicoles maximisant le ou les objectifs poursuivis par le gestionnaire, sur des échelles de temps correspondant généralement à la révolution des peuplements, mais pouvant dépasser largement celle-ci [HOWARD et NELSON, 1993]. Cette recherche s'appuie sur des techniques d'optimisation dont les plus courantes sont la programmation linéaire (PL) et non-linéaire (PNL), celles-ci permettant facilement la traduction de contraintes relatives au rendement soutenu, à la diversité des classes d'âge et des niveaux de productivité des peuplements, ainsi qu'à l'état de ces derniers en fin de période [JOHNSON et SCHEURMAN,]. Les contraintes relatives aux délivrances des produits ligneux peuvent être exprimées sous la forme de surfaces ou de volumes, cette deuxième solution étant plus performante dans le cas de massifs hétérogènes au point de vue de la composition et de la productivité des peuplements [ARMSTRONG *et al.*, 1992].

4.2. Planification à objectifs multiples

L'introduction dans le processus décisionnel d'autres objectifs que la seule production ligneuse (biodiversité, protection des habitats et des paysages, ...) peut être envisagée de manière plus ou moins explicite, entraînant une augmentation inévitable de la complexité des procédures de calcul.

L'approche la plus simple consiste à exprimer les objectifs connexes sous forme de contraintes dans une démarche d'optimisation restant axée sur la seule production de bois [LOCKWOOD et MOORE, 1993]. Ces contraintes peuvent concerner, par exemple, la taille maximale des mises à blanc ou la durée minimale à respecter entre la réalisation de mises à blanc adjacentes.

L'intégration, de manière explicite, de plusieurs objectifs dans un modèle de programmation linéaire suppose la définition d'indices quantitatifs traduisant l'effet des différentes alternatives sur les objectifs de départ. HOLLAND *et al.* [1994] appliquent cette démarche à la recherche de compromis entre les objectifs de production de bois et le maintien de la biodiversité. L'appréciation de cette dernière est basée sur des indices exprimant la diversité des espèces ligneuses présentes dans les peuplements, ainsi que la structure de ces derniers. L'introduction de plusieurs objectifs dans le modèle à optimiser en augmente considérablement la taille (nombre de variables décisionnelles et de contraintes) au point que la programmation linéaire devient bien souvent inutilisable, même pour un nombre réduit de peuplements [YOSHIMOTO *et al.*, 1994].

Les méthodes de prise de décision "multi-critères" ("multi-criteria decision making") semblent être une voie prometteuse dans la résolution de problèmes à

objectifs multiples impliquant la programmation dans le temps et l'affectation spatiale d'interventions sylvicoles dans un massif forestier pouvant comporter un grand nombre d'unités de traitement [HOWARD et NELSON, 1993]. Les étapes les plus importantes dans la mise en œuvre de ces techniques concernent la sélection des critères permettant d'évaluer l'impact des alternatives de gestion sur les objectifs, la transformation des échelles d'évaluation de ces critères en unités de valeurs comparables et enfin l'établissement de matrices de pondération de ces différents critères. Les deux derniers points conduisent à l'établissement de la "structure préférentielle" intervenant dans la comparaison des alternatives sont particulièrement délicats à mettre en œuvre et conditionnent la qualité des résultats produits [HOWARD, 1991].

5. Conclusions et perspectives

Ce bref survol des techniques d'aide à la décision a permis d'apprécier la diversité de ces outils et les nombreuses possibilités d'applications à la gestion forestière. L'existence d'un tel potentiel, combinée aux progrès constants que connaissent les équipements informatiques, représentent les conditions idéales pour une généralisation des *SAD* dans le domaine forestier. On constate paradoxalement un décalage important entre les efforts de recherche et de développement et l'absence quasi complète de réelles applications de ces outils dans les pays d'Europe occidentale, pourtant nantis d'une longue tradition forestière.

Un tel décalage peut sans doute s'expliquer en partie par les différences entre la sylviculture européenne et celles pratiquées en Amérique du Nord ou en Scandinavie où les *SAD* connaissent une utilisation beaucoup plus importante. Ces pays se caractérisent en effet par des étendues boisées très importantes relativement homogènes généralement soumises à des sylvicultures rudimentaires au plan des soins cultureux et des éclaircies. L'intégration de propriétés forestières importantes au sein même des filières industrielles de transformation des produits ligneux, y est très fréquent et accentue également le besoin des gestionnaires forestiers de disposer d'outils de planification performants. La situation dans des petits pays à sylviculture intensive est fort différente. Les surfaces forestières, beaucoup plus réduites et morcelées y présentent des faciès très variables traduisant l'évolution au cours d'un passé sylvicole déjà très long, des demandes de notre société envers la forêt. Les traitements sylvicoles en vigueur, bien que souvent très élaborés (nombreuses interventions sur la vie d'un peuplement) ne traduisent que très rarement la volonté de maximiser la rentabilité financière des massifs forestiers dans lesquels ils sont appliqués. Le besoin de disposer d'outils de planification rigoureux est moins marqué et la gestion forestière y est le plus souvent considérée comme un art plutôt qu'une science.

Une autre explication à ce décalage réside sans doute également dans la vitesse avec laquelle ont évolué les moyens informatiques qui sont à la base des *SAD*, vitesse qui est sans commune mesure avec l'évolution des mentalités et des méthodes de travail en vigueur dans les milieux forestiers de nos pays.

L'identification de ces spécificités et des principaux problèmes de planification rencontrés ainsi qu'une analyse des expériences menées essentiellement outre-Atlantique sont le préalable au développement de *SAD* adaptés à la gestion de

nos ressources forestières. Une telle entreprise implique avant toute chose la remise en question des méthodes d'aménagement traditionnelles basées essentiellement sur l'intuition, l'empirisme et des démarches trop souvent simplistes. Ces méthodes doivent s'adapter à la fois aux évolutions des besoins de notre société et aux progrès des moyens techniques pouvant être utilisés. Une telle remise en question passe par une sensibilisation des forestiers de terrain aux possibilités offertes par les nouveaux outils d'analyse et la nécessité d'une définition rigoureuse des objectifs qu'ils poursuivent.

La conception des logiciels au travers desquels seront diffusés ces outils, doit mettre l'accent sur la possibilité d'intégrer les différents niveaux de prises de décision auxquels est confronté le gestionnaire forestier. Un effort important doit également être consacré à la mise au point des interfaces "système-utilisateur" permettant une manipulation aisée du système par des personnes non initiées aux techniques informatiques.

Enfin, il est primordial que la mise en œuvre de ces SAD repose sur des données de qualité pour lesquelles des procédures d'acquisition adaptées doivent être définies (inventaires complets ou par échantillonnage, typologie des peuplements, ...).

Le développement de logiciels intégrés appliqués à la gestion forestière en est à ses débuts et ce malgré les nombreux progrès déjà accomplis dans le domaine de l'informatique forestière. La mise au point de tels systèmes est appelée à tenir une place importante dans la recherche au cours des prochaines années et influencer de manière prépondérante la gestion forestière à l'aube du troisième millénaire.

BIBLIOGRAPHIE

- ADAMS D.M., EK A.R. (1974) - Optimizing the management of uneven-aged forest stands. *Can. J. For. Res.* **4**, 274-287.
- ALLISON S.M., PROE M.F., MATTHEWS K.B. (1994) - The prediction and distribution of general yield classes of Sitka spruce in Scotland by empirical analysis of site factors using a geographic information system. *Can. J. For. Res.* **24**, 2166-2171.
- ANDERSON D.J. BARE B.B. (1994) - A dynamic programming algorithm for optimization of uneven-aged forest stands. *Can. J. For. Res.* **24**, 1758-1765.
- ARMSTRONG G.W., PHILLIPS W.E., BECK J.A.Jr (1992) - Optimal timber harvest scheduling under harvest volume constraints : a comparison of two opportunity cost criteria. *Can. J. For. Res.* **22**, 497-503.
- AVRIL P. (1987) - *Légende de la Carte des Sols de Belgique*. Gembloux, Faculté des Sciences agronomiques de Gembloux, 26 p.
- BERBEL J. and ZAMORA R. (1995) - An Application of MOP and GP to Wildlife Management (Deer). *J. Environ. Manag.* **44**, 29-38.

- BROWN S., SCHREIER H., THOMPSON W.A., VERTINSKY I. (1994) - Linking Multiple Accounts with GIS as Decision Support System to Resolve Forestry/Wildlife Conflicts. *J. Environ. Manag.* **42**, 349-364.
- CLUTTER J.L., FORTSON J.C., PIENAAR L.V., BRISTER G.H., BAILEY R.L. (1983) - *Timber management : a quantitative approach*. New York, John Wiley & Sons, 333 p.
- DAGNELIE P., PALM R., RONDEUX J., THILL A. (1988) - *Tables de production relatives à l'épicéa commun*. Gembloux, Presses agronomiques de Gembloux, 148 p.
- DAVIS R.G., MARTELL D.L. (1993) - A decision support system that links short-term silvicultural operating plans with long-term forest-level strategic plans. *Can. J. For. Res.* **23**, 1078-1095.
- DECOURT N. (1972) - Méthode utilisée pour la construction rapide de tables de production provisoires en France. *Ann. Sci. For.* **29**, 35-48.
- ERIKSON L.O. (1994) - Two Methods for Solving Stand Management Problems Based on a Single Tree Model. *Forest Sci.* **40**, 732-758.
- HAIGHT R.G., BRODIE J.D., DAHMS W.G. (1985) - A dynamic programming algorithm for optimization of lodgepole pine management. *Forest Sci.* **31**, 321-330.
- HARRINGTON C.A., CASSON B.M. (1986) - *SITEQUAL. A user's guide. Computerized site evaluation for 14 southern hardwood species*. USDA. Forest Service General Technical Paper SO-62, 13 p.
- HEBERT J., LAURENT C. (1995) - Estimation de la disponibilité de la ressource forestière. Cas d'une essence traitée en futaie équienne monospécifique. *Rev. For. Fr.* (à paraître).
- HOGANSON H.M., McDILL M.E. (1993) - More on Forest Regulation : An LP Perspective. *Forest Sci.* **39**, 321-347.
- HOLLAND D.N., LILIEHOLM R.J., ROBERTS D.W. (1994) - Economic trade-offs of managing forests for timber production and vegetative diversity. *Can. J. For. Res.* **24**, 1260-1265.
- HOULLIER F., BOUCHON J., BIROT Y. (1991) - Modélisation de la dynamique des peuplements forestiers : état et perspectives. *Rev. For. Fr.* **43**, 87-107.
- HOULLIER F., COLIN F., LEBAN J.M. (1993) - Modélisation de la croissance et de la qualité du bois de l'épicéa commun (*Picea Abies* KARST) : Implications pour l'observation et l'expérimentation, applications à la sylviculture et aux inventaires. In : *Les modèles de croissance forestière et leurs utilisations. Colloque international*. Ministère des Forêts du Québec, Service Canadien des Forêts, 69-82.

- HOWARD A.F. (1991) - A critical look at multiple criteria decision making techniques with reference to forestry application. *Can. J. For. Res.* **21**, 1649-1659.
- HOWARD A.F., NELSON J.D. (1993) - Area-based harvest scheduling and allocation of forest land using methods for multiple-criteria decision making. *Can. J. For. Res.* **23**, 151-158.
- JOHNSON K.N., SCHEURMAN H.L. (1977) - Techniques for Prescribing Optimal Timber Harvest and Investment Under Different Objectives - Discussion and Synthesis. *Forest Sci.* **23**, 1-31.
- LEJEUNE P. (1993) - Exploitation d'un SIG pour la définition de variables écologiques utilisées pour modéliser la croissance de peuplements forestiers. *Biom. Praxim* **33**, 81-96.
- LEJEUNE P. (1994) - *Modélisation de la croissance et du développement de peuplements forestiers d'âges multiples : application à la hêtraie wallonne* (thèse de doctorat). B-5030 Gembloux, Faculté des Sciences agronomiques de Gembloux, 210 p.
- LEUSCHNER W.A. (1984) - *Introduction to forest resource management*. New York, John Wiley & Sons, 298 p.
- LIU G., DAVIS L.S. (1995) - Interactive resolution of multi-objective forest planning problems with shadow price and parametric analysis. *Forest Sci.* **41**, 452-469.
- LOCKWOOD C., MOORE T. (1993) - Harvest scheduling with spatial constraints : a simulated annealing approach. *Can. J. For. Res.* **23**, 468-478.
- LOH D.K., HSIEH Y.T.C., CHOO Y.K., HOLTFRERICH D.R. (1994) - Integration of a rule-based expert system with GIS through a relational database management system for forest resource management. *Comp. Electr. Agric* **11**, 215-228.
- MACMILLAN D.C. (1991) - Predicting the General Yield Class of Sitka Spruce on Better Quality Land in Scotland. *Forestry* **64**, 359-372.
- MITCHELL K.J., POLSSON K.R. (1993) - Sylver A decision-support system for silviculture. In : *Les modèles de croissance forestière et leurs utilisations. Colloque international*. Ministère des Forêts du Québec, Service Canadien des Forêts, 34-44.
- NEWNHAM R.M. (1989) - Preliminary trials of the Forest Management Model, FIRFOR. In : *A systems approach to forest operations planning and control*. Forestry Commission Bulletin 82, HMSO, 157 p.
- PAREDES G.L., BRODIE J.D. (1987) - Efficient specification and solution of the even-aged rotation and thinning problem. *Forest Sci.* **33**, 14-29.

- PENTTINEN M. (1995) - Multiple criteria management planning for non-industrial private forest owners. In : *Multiple use and environmental values in forest planning*. EFI Proceedings, **4**, 207-230.
- POWER J.M. (1993) - Object-oriented design of decision support systems in natural resource management. *Comp. Electr. Agric* **8**, 301-324.
- POWER J.M., SAARENMAA H. (1995) - Object oriented modeling and GIS integration in a decision support system for the management of eastern hemlock looper in Newfoundland. *Comp. Electr. Agric.* **12**, 1-18.
- RAULIER F. (1989) - Tentative de diagnostic des aptitudes forestières stationnelles par système-expert. (travail de fin d'études). B-5030 Gembloux, Faculté des Sciences agronomiques de Gembloux, 88 p. + annexes.
- ROISE J.P. (1986) - An Approach for Optimizing Residual Diameter Class Distribution When Thinning Even-Aged Stands. *Forest Sci.* **32**, 871-881.
- RONDEUX J. (1991) - Nouveaux développements dans l'usage de l'informatique dans l'aménagement forestier. *Cah. For. Gembloux* **4**, 15 p.
- RONDEUX J. (1993) - *La mesure des arbres et des peuplements forestiers*. Gembloux, Presses agronomiques de Gembloux, 521 p.
- RONDEUX J. (1994) - Modèle de croissance et gestion des forêts : une étroite complémentarité. *Cah. For. Gembloux* **13**, 15 p.
- THOMPSON W.A., WEETMAN G.F. (1995) - Decision support systems for silviculture planning in Canada. *For. Chron.* **71**, 291-298.
- VALSTA L. (1992) - An optimization model for norway spruce management based on individual-tree growth models. *Acta Forest Fennica* **232**, 20 p.
- WEISSEN F. (1991) - *Le fichier écologique des essences*. 2 Vol. Ministère de la Région Wallonne, Namur, 45 + 190 p.
- WEISSEN F., BRONCHART L., PIRET A. (1994) - *Le guide de boisement des stations forestières de Wallonie*. Ministère de la Région Wallonne, Namur, 173 p.
- YOSHIMOTO A., BRODIE J.D., SESSIONS J. (1994) - A New Heuristic To Solve Spatially Constrained Long-Term Harvest Scheduling Problems. *Forest Sci.* **40**, 365-396.

Dans la même collection

- N° 1 La forêt et les forestiers : réalités, nouvelles approches et défis
par J. RONDEUX
- N° 2 Pour une production ligneuse de qualité : impératifs écologiques et
sylvicoles
par Ph. BAIX, M. DETHIOUX et J. RONDEUX
- N° 3 Construction d'une table de production pour le douglas [*Pseudotsuga*
menziesii (MIRB.) FRANCO] en Belgique
par J. RONDEUX, C. LAURENT et A. THIBAUT
- N° 4 Nouveaux développements dans l'usage de l'informatique dans
l'aménagement forestier
par J. RONDEUX
- N° 5 Les inventaires forestiers en Europe : Tentative de synthèse
par H. LECOMTE et J. RONDEUX
- N° 6 Technique d'inventaire d'alignements forestiers : Application aux brise-
vent situés dans le nord du Sénégal
par J. HEBERT, S. VANWIJNSBERGHE, J. RONDEUX et A.
TOUSSAINT
- N° 7 Etablissement de courbes de productivité pour les peuplements de frêne
(*Fraxinus excelsior* L.) en région limono-calcaire du Condroz et de l'Entre-
Sambre-et-Meuse
par A. THIBAUT, H. CLAESSENS, J. RONDEUX
- N° 8 Essai d'amélioration de la pisciculture de l'Ombre commun [*Thymallus*
thymallus L.]
par B. LAFFINEUR, W. DELVINGT, A. LAMOTTE
- N° 9 Le "Programme de développement de la Région Nord" en République
Centrafricaine. L'expérience de la zone pilote de Sangha
par T. d'ESPINEY, J. TELLO, W. DELVINGT
- N° 10 Management information systems : emerging tools for integrated forest
planning
par J. RONDEUX
- N° 11 Facteurs écologiques de production du frêne (*Fraxinus excelsior* L.) en
Condroz et productivité des stations potentielles
par H. CLAESSENS, A. THIBAUT, J. RONDEUX
- HS1 Etre ingénieur agronome forestier
par J. RONDEUX
- N° 12 Ressources naturelles et inventaires intégrés : la logique du possible
par J. RONDEUX
- N° 13 Modèles de croissance et gestion des forêts : une étroite complémentarité
par J. RONDEUX
- N° 14 Geo-referenced forest information for Belgium
par J. RONDEUX
- N° 15 L'inventaire forestier wallon : un outil de développement régional
par J. RONDEUX
- HS2 Quelle stratégie pour le développement rural dans la structuration de
l'espace régional ?
par J. RONDEUX
- N° 16 Indices et courbes de fertilité pour les peuplements de douglas
(*Pseudotsuga menziesii* (MIRB.) FRANCO) en Belgique
par A. THIBAUT, J. RONDEUX, H. CLAESSENS
- N° 17 Classement d'aspect appliqué aux sciages d'épicéa commun (*Picea abies*
(L.) KARST) d'Ardenne
par F. BAILLY, H. LECOMTE, L. FRAIPONT