



HAL
open science

Le boisement dans l'exploitation agricole : modèles micro-économiques de prise en compte des externalités

Jean-Philippe Terreaux

► **To cite this version:**

Jean-Philippe Terreaux. Le boisement dans l'exploitation agricole : modèles micro-économiques de prise en compte des externalités. *Études et Recherches sur les Systèmes Agraires et le Développement*, 1996, pp.183-194. <hal-01231568>

HAL Id: hal-01231568

<https://hal.science/hal-01231568v1>

Submitted on 20 Nov 2015

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



HAL Authorization

Le boisement dans l'exploitation agricole : modèles micro-économiques de prise en compte des externalités

Jean-Philippe TERREAUX

IGREF, INRA, Station d'Economie et de Sociologie Rurales, B.P. 27 - 31326 Castanet-Tolosan Cedex

Résumé

Les forêts publiques et privées, et parmi ces dernières les forêts des agriculteurs, jouent un rôle économique, mais aussi social et écologique, que ce soit au niveau local ou national.

Il est désormais admis que, si la production de bois constitue actuellement l'objectif essentiel des méthodes de gestion, les ressources forestières doivent aussi tirer parti autant que possible de l'évaluation des valeurs économiques et non économiques des biens et services forestiers ainsi que des coûts et avantages environnementaux liés à leur présence ou à leur évolution.

La difficulté essentielle consiste dans la mise au point d'outils de gestion opérationnels permettant d'utiliser cette évaluation, ces coûts et avantages.

L'article a pour objectif de décrire très brièvement les principales méthodes rencontrées sur ce thème dans la littérature économique ou forestière, et de présenter pour chacune ses ambitions mais aussi les difficultés pratiques ou théoriques liées à son utilisation. On insiste en particulier sur la dualité gestion "intégrée" ou gestion en "mosaïque".

Mots clés : forêt, économie, gestion, externalités, multi-usages

Abstract

Integration of externalities in forest management at the farm level: some microeconomic models. Public and private forests, including those belonging to farmers, have an economic as well as a social and ecological role both locally and nationally.

Although timber production remains the main objective of forest management in private forests, planners now also need to turn to advantage the valuation of economic and non economic values as well as related environmental costs and benefits attached to forest resources and their evolution.

To do this, one of the main difficulties is developing operational tools that can use this valuation to define management principles and rules.

The paper reviews briefly the principal methods developed in this area as described in economic and forestry literature, and introduces the purpose of each of them as well as the theoretical and practical difficulties we are faced with when implementing them.

Keywords: forest, economics, externalities, multiple-use, management

1. Introduction

Dans la "Déclaration de principes relatifs aux forêts" de juin 1992 (ONU CNUED, 1992), il est fait explicitement mention de ce que "les décisions prises sur la gestion (...) des ressources forestières devraient

tirer profit, autant que possible, d'une évaluation approfondie de la valeur économique et non économique des biens et services forestiers et des coûts et avantages environnementaux".

Les forêts privées sont concernées par cette déclaration. Bien que gérées dans l'objectif d'en retirer une productivité

économique maximale, elles sont aussi la source d'externalités publiques (paysage, qualité de l'eau, stockage du CO₂) qui ne peuvent être négligées dans la définition de la politique forestière du pays où elles se situent.

Cette politique, une fois définie, consiste en général en des mesures réglementaires ou incitatives, qui se traduisent en retour par des modifications de la sylviculture, et donc des variations de la production et des usages de ces forêts.

Il est bien établi que, de manière générale, on ne peut assigner aux forêts existantes (une propriété ou un massif dans son ensemble) un seul objectif ou plus précisément un seul rôle. Une bonne part des petites forêts privées ne sont effectivement pas gérées dans l'objectif de maximiser la récolte de bois, mais pour répondre à certains besoins, mêlant certes le matériau ligneux (pour le feu, pour le bois d'oeuvre) à la possibilité de chasse, de cueillette (champignons...), voire de loisirs ou de statut social.

Ceci est particulièrement valable pour la forêt paysanne, ancienne ou à créer. Car cette dernière, souvent de petite taille, remplit de nombreuses fonctions, aussi bien sur le plan économique (revenu de complément, placement, patrimoine à transmettre...) que sur le plan social. Dans ce cadre, vouloir une spécialisation absolue de ces forêts est en général sous-optimal. Le problème ne peut non plus se réduire à déterminer quelle surface est à consacrer à tel usage ; nous y reviendrons.

La gestion des forêts publiques est par nature encore plus complexe, puisque l'objectif du propriétaire (le département, la commune, l'Etat pour les forêts domaniales) n'est pas clairement établi. Il s'agit en fait d'un mélange entre des objectifs purement économiques (le bois, les autres productions rémunérées) et des objectifs sociaux, accompagnés de tout un ensemble de contraintes plus ou moins diffuses. Certains usages peuvent d'ailleurs être classés alternativement en objectif ou en contrainte, ce qui change la philosophie et le résultat de la gestion.

De nombreux outils ont été mis au point pour quantifier les différents usages de la forêt. L'analyse que l'on propose ici con-

cerne non pas ces outils de mesure, mais l'intégration de leurs résultats dans les critères de gestion des forêts. Les mots "multi-objectifs", "multi-usages", "préservant l'environnement" n'ont en effet aucune signification opérationnelle et il s'agira ici de décrire brièvement ce que peuvent recouvrir ces concepts.

On s'attachera en particulier au problème du choix entre une gestion en "mosaïque", chacune des unités ayant un seul objectif ou un objectif principal, et une gestion "intégrée" où il n'y a pas une telle répartition géographique des productions et usages.

On est bien conscient qu'une étape ultérieure consisterait à travailler sur les instruments financiers (subventions, adaptation de la fiscalité...) ou réglementaires permettant d'atteindre cette optimalité des résultats de la gestion. Car, comme le rappelle A.J. Grayson (1993), le fossé reste large entre ceux qui préconisent les objectifs esthétiques, éthiques..., et ceux dont le revenu en serait directement affecté.

Dans ce qui suit ces problèmes sont abordés de la manière suivante : dans la section 2, les types d'usage auxquels il est fait référence par la suite sont rappelés. Puis les méthodes de mesure de ces derniers sont brièvement décrites (section 3). Enfin la section 4 présente les différentes méthodes rencontrées dans la littérature pour les prendre en compte dans la gestion soit d'une parcelle, soit d'unités de gestion plus importantes.

2. La définition des externalités

Les effets externes sont définis par J.J. Laffont (1977) comme les effets indirects d'une activité de production ou d'une activité de consommation sur une fonction d'utilité, un ensemble de consommation ou un ensemble de production. Par "indirect" il faut entendre d'une part que l'effet est créé par un autre agent économique que celui qui en est affecté, et d'autre part que l'effet n'agit pas par l'intermédiaire d'un système de prix.

Cette définition montre que la notion même d'effet externe est contingente à la définition des agents économiques et à la définition des marchés qui fonctionnent entre ces agents.

Ici nous sommes amenés à utiliser une définition plus large des "effets externes" à la production de bois, puisque l'agent responsable de ces effets pourra lui-même en être affecté. Il s'agit donc de prendre en compte dans les décisions de sylviculture, non seulement la production de bois (commercialisé ou auto-consommé, ce dernier cas pouvant inclure bois de feu ou piquets), mais aussi les autres fonctions de la forêt.

Dans les économies développées, ces dernières peuvent être classées en trois grandes catégories (cf. J.C. Guérin, 1994) : la production de biens non ligneux, les fonctions écologiques et enfin les fonctions sociales et culturelles. On donne quelques usages, à titre d'exemple, pour chacune de ces catégories.

Fonctions de production : Parmi les produits non ligneux (qui ont en eux mêmes une valeur marchande, parfois prépondérante par rapport au bois, et qui par ailleurs peuvent être source de loisirs pour leur récolte) on notera :

- les produits alimentaires (e.g. baies, champignons, noix, miel, gibier),
- le fourrage pour les animaux domestiques,
- les peaux et trophées,
- les tannins, la résine, le liège,
- les arbres de Noël, les feuillages, mousses et autres plantes ou produits d'ornement.

Fonctions écologiques ou relatives à l'environnement :

- la protection (contre l'érosion : montagne, dunes ; contre les avalanches, les inondations, le vent...),
- le stockage du CO₂ ,
- l'influence sur le climat local, la quantité et la qualité des eaux, le filtrage des polluants,
- la préservation de la nature, la biodiversité.

Fonctions sociale et culturelle (plus ou moins valorisables économiquement) :

- les loisirs et le tourisme (randonnée, camping, équitation, ski)¹, la chasse et la pêche,
- le paysage (valorisable par un développement rural adapté et par le tourisme).

Pour ces dernières fonctions, on distingue celles qui sont à l'origine de prélèvements (chasse, pêche) de celles qui ne le sont pas (photographie des espèces rares).

Ces différents usages peuvent être exclusifs l'un de l'autre, d'où la possibilité de conflits, et avoir une incidence plus ou moins grande sur la production de bois ou d'autre biens commercialisables. Ils peuvent dans ce cas être associés à un coût.

De plus on observe souvent une évolution des usages au cours du temps (ceux liés aux loisirs et à la protection de la nature étant généralement en expansion, certains produits en revanche étant tombés en désuétude). Cet aspect dynamique ne peut être négligé dans la définition des plans d'aménagement, car si l'on ne peut prévoir ce qui sera considéré dans le futur comme source de richesse, il est important de ne pas prendre de décision irréversible sans en avoir pesé les conséquences.

3. Rappel sur les méthodes de mesure des externalités

Trois approches sont principalement utilisées pour quantifier la plupart des usages non monétaires de la forêt : le coût d'opportunité, le coût du consommateur et la valeur du marché.

Le coût d'opportunité

C'est le revenu que le capital représenté par la ressource pourrait produire, déduction faite de ce qu'il produit effectivement, s'il était investi dans une autre opportunité réalisable. Par exemple ce sera le revenu procuré par une

¹ Le rapport de B. de Jouvenel indique que, dès 1978, la forêt de Fontainebleau accueillait neuf fois plus de visiteurs que le Musée du Louvre.

augmentation de la production de bois que provoquerait l'abandon d'un usage.

Cette approche ("with and without" que l'on pourrait traduire par "avec et sans" l'usage) a toutefois des limites dues aux interactions possibles entre les différents facteurs de production ou les différents produits : il n'est pas toujours possible par ce moyen d'attribuer une valeur unique à un produit déterminé. On se reportera à J. Hof & D.B. Rideout (1989) pour plus de précisions techniques sur ce point.

Cette approche a été très utilisée en Allemagne et en Suisse en ce qui concerne les fonctions récréatives et de protection de la forêt.

Le coût accepté par le consommateur

L'objet de cette méthode est de mesurer la valeur d'un usage, par exemple l'aspect récréatif, par une analyse des dépenses qu'effectuent les consommateurs pour en profiter. On procède en général à partir d'une enquête.

Soit on pose directement la question de l'évaluation monétaire du service considéré (pour savoir ce que les gens pensent, il suffit de leur demander : quelle valeur attribuez-vous à cette promenade en forêt ?) ; ce sont les préférences exprimées. Les questions ne doivent pas être trop générales, ni trop détaillées (car alors elles peuvent amener des confusions). Les méthodes peuvent aller des enquêtes d'opinion standards aux interviews approfondies d'un nombre plus faible de personnes. Un problème résulte aussi du fait que les personnes interrogées doivent donner leur véritable sentiment et non pas une réponse stratégique (plus forte si elles craignent une atteinte future au milieu, plus faible si elles suspectent la mise en place d'un futur droit d'usage).

Soit on déduit leurs préférences de leur comportement (ce sont les préférences révélées). L'enquête pourra alors porter sur la distance de déplacement pour jouir d'un usage, ou sur les coûts de transport, de séjour et d'équipement. Les résultats semblent ici plus réalistes parce que l'on examine ainsi la réaction des personnes dans le monde réel, et non pas dans celui qu'elles imaginent lorsqu'on leur pose une question.

Les préférences ainsi révélées prennent non seulement en compte les facteurs strictement économiques (prix, revenu) mais aussi les imperfections du marché, la pression des modes, la situation familiale, la possibilité d'alternatives, la notion de statut social...

On a ainsi proposé (Kaiser, 1986) l'utilisation de la comparaison des seules dépenses de transport consenties par le consommateur pour l'usage de forêts dont on voulait comparer la valeur touristique. L'hypothèse sous-jacente est que des personnes venant de lieux différents reçoivent le même "bénéfice récréatif", la même utilité de l'usage du site. Mais le bénéfice net est reflété par les différences entre les coûts de transport consentis.

On peut ainsi construire une courbe de demande pour chaque site (en abscisse le coût du transport, en ordonnée le nombre de personnes) corrigée ou non des conditions locales comme la présence de villes à proximité. La volonté de payer pour en profiter se déduit de l'analyse de cette courbe. Cette méthode prend en compte le fait que pour chaque site à visiter les touristes ont à choisir entre plusieurs prix et bénéfices récréatifs. Les particularités géographiques ont donc un impact sur les courbes tracées et sont de ce fait prises en considération.

Mais la méthode est biaisée si les consommateurs font un déplacement à buts multiples. Il est alors difficile de déterminer la partie du coût du déplacement à attribuer au site considéré. De plus, de manière générale, cela suppose que le voyage en lui-même ne présente pas d'agrément, et que par ailleurs la fréquentation touristique a peu d'influence sur la qualité de la forêt.

On notera que l'évaluation de la valeur récréative d'un site est différente de celle de la valeur d'usage d'un bien ordinaire : D'une part cette valeur est consommée sur place (c'est au consommateur à se déplacer sur les lieux). D'autre part la valeur récréative est constituée de tout un ensemble : la préparation, l'anticipation, le déplacement, l'activité, le trajet de retour et enfin les souvenirs.

Inversement il peut y avoir un biais si le consommateur retire plusieurs utilités

d'un même usage : par exemple le plaisir de la chasse peut venir de la quantité du gibier qui sera tué, des trophées, du plaisir d'être ensemble, de la qualité de l'hôtellerie. Aussi il sera important de bien différencier ces utilités si l'on veut modifier par exemple l'équilibre entre gibier et production de bois (cela demandera une enquête assez détaillée et l'utilisation d'outils économétriques appropriés).

On peut rattacher aussi à cette méthode générale l'estimation de certains usages par une étude de la plus-value, constatée sur le marché des terres boisées, pour les parcelles présentant un agrément particulier.

La valeur du marché.

Cette méthode consiste à comparer un usage non rémunéré de la forêt avec un service de même type, géré par des entrepreneurs privés percevant un droit d'usage. Toutefois la comparaison n'est jamais parfaite, car de tels endroits privés sont rares : ils seraient concurrencés par les lieux publics gratuits. Cette méthode pourra quand même dans certains cas donner quelques évaluations, ou plus exactement une certaine hiérarchie de valeur entre différents usages.

Pour terminer on soulignera qu'il faut parfois rajouter à l'évaluation des biens non marchands ce que l'on nomme la valeur d'option : il s'agit de la valeur attribuée au bien par des personnes qui n'en sont pas actuellement des consommateurs, mais qui veulent conserver l'option de le devenir un jour. Cette notion est très liée à celle d'irréversibilité (le consommateur ne veut pas définitivement renoncer à un usage ou renoncer à augmenter un usage). Elle a des implications très fortes en particulier pour ce qui est de la gestion de la biodiversité.

Comment gérer une forêt qui est source simultanément de bois et d'externalités, une fois ces dernières répertoriées et mesurées ? C'est ce que nous examinons par la suite.

Tout en sachant que ce problème n'est pas négligeable, surtout pour un propriétaire privé, on ne se préoccupe pas ici de la manière dont son rémunérées ces exter-

nalités. On suppose seulement que le propriétaire en retire un intérêt.

4. Intégrer les externalités

4.1. Gestion "en mosaïque" ou gestion "intégrée".

Le terme multi-usages, employé pour la gestion forestière peut recouvrir bien des acceptions différentes : par exemple une des interprétations est que l'ensemble du massif, de la propriété considérée a des objectifs multiples, alors que chacune des parcelles est gérée pour un seul usage, ou éventuellement pour un usage dominant, les autres usages n'étant dans ce cas acceptés que dans la mesure où ils n'interfèrent pas avec ce dernier. C'est la gestion dite "en mosaïque". Une seconde interprétation, la gestion "intégrée" consiste à considérer que chaque parcelle est gérée pour la production de biens et de services multiples.

Le premier cas est certes plus simple conceptuellement : il s'agit alors de déterminer l'allocation optimale des terres pour chacun des usages dont on tient compte. Mais il n'est pas nécessairement le plus efficace. De plus il oblige, dans la programmation de la gestion, à individualiser en permanence chacune des parcelles, ce qui peut être source de difficultés de calcul complémentaires, quoique cette individualisation est souvent nécessaire pour des raisons techniques de productivité ou de particularités diverses.

Le second cas est plus complexe. Il oblige en effet à considérer des interactions entre les différents usages sur chaque unité de gestion (ex. : gibier et production de bois). Donc des méthodes du type input - output ne conviennent pas. De plus les conditions techniques varient d'une parcelle à l'autre. Il faut alors définir le problème pour chaque classe d'unités de surface.

Faut-il nécessairement choisir entre ces deux extrêmes ? En pratique il est en effet possible d'utiliser un moyen terme : pour chaque parcelle on peut définir un usage principal et un ou deux usages

secondaires. On optimise alors l'ensemble. Il n'y a donc pas de zonage au sens strict du terme.

On peut alors dresser une matrice de compatibilité entre les différents usages (Clawson, 1975), en n'oubliant pas l'aspect dynamique lié au fait que ces derniers peuvent dépendre de l'âge des arbres sur la parcelle considérée. Ensuite on classe les différentes parcelles en fonction de leur "productivité" (Clawson, 1979) pour chacun d'eux (par exemple : bois, biodiversité...). Pour une classe de parcelles, lorsque la productivité est bonne pour un usage et mauvaise pour un autre, l'objectif de la gestion ne pose guère de problème. Lorsqu'elle est mauvaise pour les deux, des conflits d'usage sont peu probables. C'est uniquement lorsque les productivités sont bonnes ou moyennes pour deux usages incompatibles que se pose réellement un problème de gestion.

4.2. Rappel sur la notion d'utilité

La fonction d'utilité représente la satisfaction que l'individu retire de la consommation ou de l'usage de différents biens. Nous présentons ici comment cette notion fournit les bases théoriques de la résolution du problème que nous venons d'exposer.

Ce concept d'utilité ne doit pas être interprété dans un sens "hédonistique". Il a pour objet uniquement de classer les choix possibles pour déterminer celui qui est finalement retenu (Henderson & Quandt, 1972).

L'utilité est tout de même une mesure, et on peut montrer l'existence de cette mesure moyennant cinq hypothèses (Laffont, 1985) : trois hypothèses portant sur la rationalité des agents et deux sur les "objets" que l'on mesure.

Cette notion permet pour ce qui nous concerne d'intégrer dans les objectifs de la gestion de la forêt d'autres paramètres que les seuls produits rémunérés : Lorsque l'on ne tient compte que de paramètres économiques, l'objectif de la gestion

peut² par exemple s'écrire comme la maximisation du bénéfice net actualisé :

$$\text{Max} \int_0^{\infty} e^{-rt} (R_t - D_t) dt \quad (1)$$

avec différentes contraintes physiques (de croissance des arbres...) et économiques (capacités d'investissement...).

r est le coefficient d'actualisation,

R_t et D_t respectivement les recettes et les dépenses à la date t .

Lorsque l'on tient compte des autres usages de la forêt, l'objectif devient :

$$\text{Max} \int_0^{\infty} e^{-it} U(t) dt \quad (2)$$

avec $U(t)$ la fonction d'utilité et i le coefficient d'actualisation inter-temporel, en tenant compte de toutes les contraintes pouvant limiter l'objectif.

Les raisons de l'intervention sous cette forme du coefficient d'actualisation, et des indications pour le choix d'un taux sont données dans Terreaux (1995).

On sait que sous certaines conditions la fonction d'utilité existe, et qu'elle permet de se ramener à un critère de gestion simple que l'on sait traiter (l'équation (2) est semblable à l'équation (1) sur le plan formel). Toutefois la connaissance de l'existence de $U(t)$ ne donne pas les valeurs prises par cette fonction, et si le problème ne pose pas de difficulté théorique, il nous faut maintenant développer une approche plus progressive et plus pragmatique.

² Il s'écrit même nécessairement sous cette forme si les trois hypothèses du critère de Faustmann sont vérifiées, à savoir :

- le marché financier est supposé parfait (on ne rencontre pas de limitation aux sommes que l'on peut emprunter ou prêter, et ces opérations s'effectuent à un même taux),
- on ne tient pas compte des risques,
- on préfère la gestion qui procure le revenu le plus important.

Dans ce cadre, on démontre (voir par exemple Frayssé *et al.*, 1990) que le critère à utiliser est celui de la maximisation du bénéfice actualisé sur une durée infinie, appelé aussi dans la littérature critère de Faustmann, suite à l'article écrit en 1849 par ce dernier.

4.3. Un modèle de parcelle à deux usages

Le cas le plus simple est alors celui de la gestion d'une parcelle utilisée pour la production de deux biens commercialisés : par exemple le bois, noté B, et un autre produit, noté P. Une illustration en sont les parcelles agroforestières.

Ces deux productions sont supposées être en concurrence, et la décision à prendre concerne un des paramètres de la sylviculture, noté x . On suppose que techniquement x peut varier de 0 à 1.

Si l'on note $B(x)$ le bénéfice retiré de la production de bois pendant une durée fixée, et $P(x)$ celui retiré de l'autre production, on pourra supposer que

$$\forall 0 \leq x \leq 1, \frac{dB(x)}{dx} > 0 \text{ et } \frac{dP(x)}{dx} < 0 \quad (3)$$

La sylviculture optimale pour cette seule période est alors définie par:

$$\text{Max}_x (B(x) + P(x)) \quad (4)$$

Deux cas se présentent :

- soit l'optimum correspond à une valeur extrême de x , c'est-à-dire à $x = 0$ ou $x = 1$. Alors on a intérêt à spécialiser la parcelle dans une des productions, celle qui fournit le bénéfice le plus grand (si $B(1) + P(1) = B(0) + P(0) = \text{Max} (B(x) + P(x))$, la spécialisation se fait indifféremment dans l'une ou l'autre production).

- soit l'optimum correspond à une valeur intermédiaire de x , auquel cas on préfère une gestion "intégrée" des deux productions.

On conçoit aisément la généralisation de ceci à un problème inter-temporel (il faut alors tenir compte des contraintes techniques et des évolutions possibles des parcelles d'une année à l'autre, sachant que l'actualisation nous permet de comparer des productions ayant lieu à des dates différentes). De même on le généralise au cas de plusieurs usages, et enfin à celui de plusieurs parcelles. Lorsque l'on travaille sur des parcelles de productivités différentes pour chacun des usages, on obtient ainsi les conditions permettant de décider entre une gestion en "mosaïque" et une gestion "intégrée".

4.4. Un modèle de parcelle à n usages

Le modèle que nous introduisons ici, dû à R. Hartman (1976), est un exemple de généralisation du modèle précédent : il s'agit d'un problème intertemporel pour une parcelle produisant d'une part du bois et d'autre part tout un ensemble d'"externalités".

L'unité de surface prise en compte est plantée d'arbres ayant tous le même âge. Hartman suppose que la valeur des externalités peut être représentée par une fonction $a(n)$, n étant l'âge des arbres. Alors il ajoute aux recettes et dépenses liées à la sylviculture un flux représentant ces externalités. On se ramène donc au cas de la section précédente, puisque l'on ne tient compte que d'une seule fonction valeur représentant l'ensemble des externalités.

L'intérêt de l'approche de R. Hartman réside surtout dans sa prise en compte de l'aspect dynamique de la gestion de la parcelle, et dans les conséquences qui s'en déduisent.

Si l'on reprend les mêmes hypothèses que Faustmann, et si l'on introduit la valeur des externalités en supposant que les parcelles soient indépendantes les unes des autres, le problème du gestionnaire s'écrit alors :

$$\text{Max}_T (PV(T) - C + \int_0^T a(n)e^{-in} dn) / (1 - e^{-iT}) \quad (5)$$

avec $PV(T)$ le prix de vente du bois à l'âge T , C le coût de régénération du peuplement, i le taux d'actualisation, la deuxième parenthèse correspondant au terme correctif introduit par Faustmann pour tenir compte de l'immobilisation du sol (on considère alors qu'il y a une infinité de révolutions identiques).

L'âge de coupe de la parcelle est essentiellement dépendant de la forme de la fonction $a(n)$. Rien ne permet de faire l'hypothèse que a est croissant ou décroissant.

Une condition nécessaire à l'obtention du maximum est que la dérivée première de l'expression en (5) par rapport à T soit égale à 0. Ce n'est pas une condition

suffisante : une dérivée nulle correspond à un maximum ou un minimum local. Rien ne nous dit qu'il n'y a pas plusieurs maxima et/ou minima, la forme de $a(n)$ pouvant être quelconque.

Par opposition avec la méthode de Faustmann, il est intéressant de noter que désormais l'âge effectif des arbres au moment où l'on se pose la question (par exemple lorsqu'on hérite de la forêt) n'est pas nécessairement neutre sur l'âge de leur coupe. En effet, tant que l'on n'a pas atteint l'âge T optimal de l'équation (5), on récoltera les arbres à T . Mais une fois T dépassé, il peut être préférable, selon la fonction $a(n)$ de reporter encore l'âge de coupe de quelques années, voire de ne jamais récolter les arbres, car la valeur des services apportés par ces vieux arbres peut être supérieure à ce que ne sera jamais la récolte de bois. Si l'on n'avait pris en compte que la valeur du bois, la solution optimale aurait été de récolter immédiatement ces arbres.

Dans la plupart des cas, la solution de l'équation (5) se situe entre la solution de Faustmann et celle de la maximisation de la seule fonction $a(n)$.

Comme on l'a vu précédemment la principale difficulté consiste à estimer $a(n)$. La méthode reste très intéressante puisqu'elle permet de calculer indirectement une partie de la courbe $a(n)$ en comparant l'âge de coupe réellement pratiqué dans la réalité, dans une forêt supposée gérée en tenant compte des différents "usages", à celui obtenu par le critère de Faustmann. Ainsi on peut dire que le prix d'un "beau" peuplement maintenu à un âge supérieur à l'âge de coupe donné par le critère de Faustmann est de $a(n)$, tel que l'introduction de $a(n)$ dans l'équation (5) entraîne l'âge de coupe réellement pratiqué. Au gestionnaire à décider ensuite si ce coût lui paraît ou non raisonnable.

On a ainsi une estimation *a posteriori* des externalités.

La méthode de Hartman permet de calculer l'âge optimal de récolte d'une parcelle. Ce problème peut être prolongé (Berck, 1981) en calculant à partir de l'état initial de la parcelle, le chemin optimal pour atteindre l'état final. Il s'agit d'un problème classique d'optimisation dynami-

que, avec dans l'objectif la fonction d'utilité induite par la prise en compte simultanément de la production de bois et de la fonction $a(n)$.

En résumé on peut considérer que le modèle de Hartman est un prolongement du modèle de Faustmann au sens où il introduit le flux $a(n)$ des externalités de la manière suivante :

Si l'on note $G(T)$ la valeur du bois sur pied et ρ le taux d'actualisation,

- dans les conditions de Faustmann, l'âge de la coupe de régénération T^* optimal est déterminé par:

$$\frac{G'(T^*)}{G(T^*)} = \frac{1}{\rho} \quad (6)$$

- dans les conditions de Hartman, T^* optimal est déterminé par :

$$\frac{G'(T^*)}{G(T)} = \frac{1}{\rho} + \left(\frac{1}{\rho} \frac{\int_0^{T^*} a(t)e^{-\rho t} dt}{G(T^*)} - \frac{a(T^*)}{G(T^*)} \right) \quad (7)$$

On peut alors proposer de compléter le modèle de Hartman en introduisant les coûts liés à la production ou à la maintenance de ces externalités (coûts induits par la présence du gibier, par la maintenance de la biodiversité). Cela conduit (voir Snyder & Battacharyya, 1990) à remplacer dans la formule (7) précédente $a(T)$ et $a(T^*)$ respectivement par $a(T) - c(T)$ et $a(T^*) - c(T^*)$, c étant la fonction de coût.

Hartman a démontré que la date de coupe d'un arbre doit être modifiée si l'on veut tenir compte des externalités. Dans la réalité il convient aussi de tenir compte des risques et de l'acquisition d'information au cours du temps, et enfin de l'irréversibilité (la coupe d'un arbre est irréversible, alors que son maintien ne l'est pas).

4.5. Le cas de plusieurs usages et de plusieurs unités de gestion

Le cas de la gestion simultanée de plusieurs parcelles avec plusieurs objectifs généralise le cas précédent.

Une première difficulté consiste à éviter les situations, ou les solutions du problème de gestion, qui sont dominées (Mendoza *et al.*, 1987) ou qui ne sont pas optimales au sens de Pareto, à savoir celles dans lesquelles on peut améliorer un objectif sans en dégrader un autre.

Pour tenir compte des usages autres que la production de bois, la première démarche consiste à définir exactement les objectifs poursuivis puis à acquérir le maximum d'informations sur ceux-ci. En effet si la fonction objectif n'est pas correctement formulée dès le départ de la résolution du problème, on risque d'éliminer des solutions dominées pour la fonction tronquée mais non dominées pour la fonction finale. On pourrait ainsi être amené à ne conserver que des solutions dominées.

Ces auteurs proposent alors pour simplifier éventuellement la résolution de remplacer, quand cela est possible, certains objectifs par des contraintes sur des valeurs minimales à atteindre. Ensuite on génère systématiquement tout un ensemble de solutions *a priori*, en faisant varier les paramètres de la fonction objectif et les niveaux des contraintes.

Puis après avoir éliminé celles qui sont dominées, il reste à effectuer un choix parmi les solutions obtenues, toutes satisfaisantes en un sens ou un autre.

Dans la littérature on trouve tout un ensemble de recettes ayant pour but d'effectuer ce choix.

En fait aucune de ces méthodes n'est satisfaisante pour l'ensemble des problèmes que l'on est susceptible de rencontrer en foresterie. Leurs auteurs en sont bien conscients et soulignent en général qu'il s'agit plus d'outils d'aide à la réflexion, que de principes conduisant systématiquement à une solution incontestable.

D'un point de vue théorique, ils reviennent le plus souvent à construire implicitement une fonction d'utilité, et à travailler autant sur la définition même de cette fonction, à savoir les usages dont on tient compte et la manière de les introduire, que sur sa maximisation. Les difficultés rencontrées illustrent parfaitement le problème du passage d'une théorie apparemment simple à son application pratique. On note aussi qu'une fois la

fonction d'utilité explicitement ou implicitement décidée, la solution obtenue indiquera, pour les mêmes raisons de principe qu'à la section 4.3., s'il est préférable de mener une gestion en "mosaïque" ou une gestion "intégrée".

Ainsi Mendoza *et al.* (1987) suggèrent simplement de construire un tableau avec en colonnes les valeurs de certains objectifs et en ligne les solutions possibles, le choix final constituant le travail du décideur. Il est clair que la méthode n'a pas pour objectif d'optimiser mais de générer tout un ensemble d'alternatives.

Cette manière de procéder peut d'ailleurs parfaitement convenir à un gestionnaire pour lequel il est difficile d'exprimer clairement l'objectif poursuivi.

Les méthodes dites de "programmation à objectifs multiples" font partie de ces méthodes d'aide non pas à la décision, mais à la réflexion. Elles ont connu de nombreuses variantes, de manière à éliminer des défauts trop évidents. Faute de place, elles ne peuvent être décrites ici. On trouvera néanmoins quelques références bibliographiques et un exposé moins succinct dans Terreaux (1994).

Les méthodes de pondération consistent ainsi à travailler à partir d'une combinaison linéaire des différents objectifs, d'autres méthodes consistent à conserver un seul objectif, et à assigner aux autres des valeurs minimales ou maximales en les transformant en autant de contraintes. Il y a aussi des méthodes voisines consistant à attribuer des notes à chacun des objectifs, notes associées à des coefficients de pondération.

Les méthodes de programmation par objectifs cherchent à minimiser les déviations par rapport à des objectifs (production, environnement...) préalablement établis. Une fois ces objectifs bien précisés et quantifiés, on retrouve les méthodes précédentes, et leurs difficultés.

Mais dans ce dernier cas l'utilité pour le gestionnaire est de voir comment varient les décisions optimales en fonction des coefficients de pondération, ou du choix de l'objectif conservé et des valeurs numériques utilisées dans la définition des contraintes. Cela lui permet en effet de visualiser l'incidence de la prise en

considération ou non, et de la manière de la faire, des différents usages de la forêt.

Les développements les plus récents de ces outils ont concerné la prise en compte des risques.

4.6. Programmation à niveaux hiérarchisés

Il reste à définir à quel niveau géographique doit être effectué ce choix entre gestion "intégrée" et gestion "en mosaïque", en particulier pour les forêts publiques : niveaux national, régional, d'un massif, d'une commune, ou d'unités de gestion plus petites, pouvant aller jusqu'à la parcelle.

Dans la littérature, on conseille le plus souvent d'avoir une approche à plusieurs niveaux.

L'idée de base est d'intégrer un grand nombre d'analyses, portant chacune sur un niveau inférieur, en une analyse globale portant cette fois sur un espace plus grand, sans pour autant qu'il s'agisse de la simple juxtaposition de décisions prises dans les plus petites unités.

La prise en compte du niveau supérieur à celui servant à la programmation (par exemple l'aspect régional lors de l'aménagement d'un massif) permettra d'aller vers un peu plus de "spécialisation" pour l'unité sur laquelle on travaille (plus de chasse dans le massif le moins productif, plus de production ligneuse dans un autre...).

Cela permet aussi d'intégrer les interactions entre les unités de gestion : Par exemple des économies d'échelle sont possibles et doivent être prises en compte dans la programmation d'exploitations, qui doivent en conséquence être décidées à un niveau supérieur à celui de la parcelle. Autre exemple, la présence d'espèces rares peut être liée à une longueur minimale de lisière, à une surface minimale de forêts (atteinte pour deux petites régions, mais pas nécessairement pour chacune d'entre elles).

Enfin, entre différentes unités, il peut y avoir concurrence pour certains usages, complémentarité pour d'autres : deux

forêts peuvent permettre de faire vivre une scierie. On peut y rattacher des problèmes de marché, de débouché, d'accueil des touristes, de chasse.

J.G. Hof *et al.* (1985) développent un processus en deux étapes : optimisation au niveau global, puis résolution des différents problèmes locaux. H.M. Hoganson & D.W. Rose (1984) proposent quant à eux des itérations, c'est-à-dire des optimisations successives entre le niveau global et les niveaux locaux de programmation. Toutefois ils n'introduisent pas d'externalités et s'attachent uniquement à la production de bois.

L'idée pour chaque itération est qu'au niveau global sont définis par optimisation des niveaux de production (biens marchands ou usages) à atteindre pour l'ensemble des domaines locaux, chacun d'eux retournant ensuite les niveaux effectivement atteints, les coûts induits, le coût marginal, et éventuellement une réponse d'infaisabilité.

Ensuite le niveau global réalloue les différentes productions entre les unités locales. Et ceci jusqu'à convergence de la solution, c'est-à-dire lorsque l'objectif global est atteint et lorsque les coûts marginaux et les coûts induits pour chacune des unités locales sont égaux ou sont situés dans une fourchette acceptable.

Il peut y avoir cependant des difficultés de convergence (Hof, 1993). Il convient alors d'introduire un terme d'amortissement lors de la définition de la politique globale, c'est-à-dire lors de la répartition des productions, et de corriger ensuite ce taux pour que l'on ait convergence vers une même valeur des coûts induits et des coûts marginaux pour chacun des domaines.

Mais leur principal résultat est qu'à partir du moment où il n'y a pas de doctrine préétablie (tout "intégré", à savoir retrouver tous les usages sur toutes les parcelles, ou au contraire, tout "spécialisé", par grande région, par massif...par parcelle) alors mener ce type de réflexion sur plusieurs niveaux géographiques peut permettre d'accroître globalement les objectifs, souvent de manière sensible.

5. Conclusion

J. C. Guérin (1994) conclut son important rapport sur les "perspectives d'évolution de la sylviculture et de l'aménagement forestier dans les forêts françaises" en soulignant que "la première manière de protéger la forêt du XXI^e siècle reste donc bien de continuer à la faire produire, partout où cela s'avère souhaitable et possible, c'est-à-dire hors forêt de protection ou réserve biologique intégrale".

Il souligne ainsi la rupture avec le discours de certains "naturalistes et écologues" qu'il cite et qui sans vouloir "aller jusqu'à la notion de forêt duale (une forêt intensifiée, une forêt abandonnée) considèrent inéluctable la création d'un éventail de forêts : de production ligneuse, de production cynégétique, d'accueil touristique, de protection des sols, de protection biologique...".

Les méthodes de prise en compte des différents produits et usages pour la gestion des forêts, examinées ici, ont en effet confirmé dans leurs différentes applications qu'il n'était pas toujours optimal de rechercher pour une unité de gestion forestière la satisfaction d'un seul objectif, ou d'un objectif considéré comme majeur.

Cette conclusion est particulièrement importante pour la gestion de petites propriétés forestières, et en particulier pour la forêt paysanne, l'unité de gestion étant alors la parcelle. Elle est susceptible ainsi de remettre en cause certaines techniques préconisées à leur gestionnaire.

De plus, à terme, une gestion "intégrée" peut permettre de développer une ressource beaucoup moins fragile vis-à-vis de différents aléas et aussi des évolutions de la société, que ces dernières se traduisent par une variation relative des prix des produits ou par une évolution des demandes vis-à-vis de la forêt.

Les méthodes présentées sont loin d'être parfaites. Elles peuvent soulever des questions théoriques et elles sont parfois difficiles à appliquer dans des cas concrets. Il n'y a pas de réponse universelle à ce problème et chaque outil doit être adapté au problème posé. L'étude de la bibliographie en la matière est instructive

puisque'elle permet d'une part de comprendre les solutions imaginées et d'autre part les difficultés rencontrées dans leur mise en oeuvre.

Le lecteur intéressé en trouvera un descriptif plus détaillé, ainsi qu'un complément de références bibliographiques, dans Terreaux (1994).

Cela étant, il ressort sur le plan général qu'il serait important aussi de réaliser une estimation sérieuse, statistiquement fiable, de l'importance économique de plusieurs externalités, en tout cas de celles qui sont quantifiables. Car cette connaissance est un préalable incontournable à une meilleure gestion des peuplements.

Bibliographie

- Berck P.**, 1981. Optimal management of renewable resources with growing demand and stock externalities. *Journal of environmental economics and management*, 8, 105-117.
- Clawson M.**, 1975. Forests for whom and for what? Washington, D.C., Resources for the future.
- Clawson M.**, 1979. The economics of United States nonindustrial private forests. Resource for the future. Working paper, P14, Washington D.C.
- Faustmann M.**, 1849. Berechnung des Wertes Waltboden sowie noch nicht haubare Holzbestände für die Waldwirtschaft besitzen. *Allgemeine Forst und Jagd-Zeitung*, 25, 441-455
- Frayssé J., Moreaux M., Terreaux J.P.**, 1990. Actualisation et gestion forestière, *Cahiers d'Économie et de Sociologie Rurales*, n° 15-16, pp. 111-125.
- Grayson A.J.**, 1993. Private forestry policy in Western Europe. CAB international, 329p.
- Guérin J.C.**, 1994. Perspectives d'évolution de la sylviculture et de l'aménagement forestier dans les forêts françaises. *Bulletin du Conseil Général du GREF*, 38, 33-50.
- Hartman R.**, 1976. The harvesting decision when a standing forest has value. *Economic Inquiry*, 14, 52-58.

- Henderson J.M., Quandt R.E.**, 1972. Microéconomie : formulation mathématique élémentaire. Dunod, Paris, 408 p.
- Hof J.G.**, 1993. Coactive forest management. Academic Press Inc., 189 p.
- Hof J.G., Rideout D.B.**, 1989. Limitations of the with and without principle in benefit cost analysis. *Public Finance Quarterly*, 17-2, 216-226.
- Hof J.G. et coll.**, 1985. An analysis of joint costs in a managed forest ecosystem. *Journal of environmental economics and management*, 12, 338-352.
- Hoganson H.M., Rose D.W.**, 1984. A simulation approach for optimal timber management scheduling. *Forest Science*, 30, 220-238.
- Jouvenel B. de**, 1978. Vers la forêt du XXI^e siècle. *Revue Forestière Française*, numéro spécial, 152 p.
- Kaiser H.F.**, 1986. The use of quantitative values multiple use forest evaluations. 18th IUFRO World Congress, Division 4, Actes, pp. 202-209.
- Laffont J.J.**, 1977. Effets externes et théorie économique. CNRS, Paris
- Laffont J.J.**, 1985. Cours de théorie microéconomique, vol.II, Economie de l'incertain et de l'information. Economica, 201 p.
- Mendoza G.A., Bare B.B., Campbell G.E.**, 1987. Multiobjective programming for generating alternatives: a multiple-use planning example. *Forest Science*, 33, 458-468.
- ONU-CNUED**, 1992. Déclaration de principes relatifs aux forêts, Action 21, Déclaration de Rio, 253-256.
- Snyder D.L., Bhattacharyya R.N.**, 1990. A more general dynamic economic model of the optimal rotation of multiple-use forests. *Journal of environmental economics and management*, 18, 168-175
- Terreaux J.P.**, 1994. Résultats et pistes de recherche concernant la gestion de la forêt paysanne - aspects théoriques. INRA, AIP "Les nouvelles fonctions de l'agriculture et de l'espace rural, les relations agriculture - forêt", Station ESR - Toulouse, miméo, 75 p.
- Terreaux J.P.**, 1995. Gestion et évaluation des forêts : éléments pour le choix d'un taux d'actualisation. Séminaire du Groupe de Recherche en Economie des Produits Forestiers, "Monnaie, finance et filière forêt-bois-papier", Bordeaux (France), 29 juin 1995, 17 p.