

V. La valeur en tant que critère de gestion

Tout propriétaire cherche à tirer de son bien une utilité. La rareté de ce bien - ou l'impossibilité de son extension en nombre à l'infini - conduit le propriétaire à son utilisation optimale. Dans le cadre de la forêt, il attend que celle-ci réponde au mieux à l'objectif qu'il s'est fixé ; ce dernier étant souvent d'ordre financier, nous nous intéresserons ici à l'optimisation de la gestion forestière d'après la fonction de production de la forêt.

Si on considère un peuplement forestier comme un investissement, sa rentabilité repose sur les facteurs suivants ⁽¹⁾ :

- la durée de l'investissement, c'est à dire le terme d'exploitabilité (âge ou diamètre)
- les dépenses et recettes liées au peuplement et dépendant pour la plupart de la sylviculture conduite (influence du degré d'interventionnisme du propriétaire sur les dépenses, de la qualité et du volume des bois récoltés pour les recettes).

Il s'agit de traduire cette rentabilité en un critère chiffré dont les caractéristiques doivent répondre à :

- l'unicité : pour une sylviculture donnée (Recettes et dépenses) et un terme d'exploitabilité donné, le critère de gestion ne peut prendre qu'une seule valeur ;
- la synthèse : un critère de gestion doit intégrer l'ensemble des flux financiers relatifs à un projet ;
- la référence : le critère de gestion doit se révéler un instrument de comparaison entre différents projets (deux sylvicultures différentes ou deux âges d'exploitabilité différents)

Les principaux critères utilisés par les forestiers peuvent être scindés en deux groupes :

- les critères de rentabilité (BASI, BAS, TIR) : de nature économique, ils utilisent la notion de taux d'actualisation ;
- les critères de productivité s'appuient sur des quantités produites (volume ou argent) - (bénéfice moyen, revenu moyen, volume moyen).

Ces critères vont être présentés dans le cadre de la futaie régulière où ils seront maximisés en vue de rechercher l'âge d'exploitabilité optimal. Nous verrons ensuite comment ils peuvent être mis en oeuvre dans le cadre de la futaie irrégulière.

⁽¹⁾ J.-L. PEYRON, Estimation et rentabilité forestière, ENGREF

Toute gestion autre - terme d'exploitabilité inférieure ou supérieure à l'optimum - que celle révélée par l'optimisation du critère de gestion choisi implique un coût que nous chercherons à estimer.

V.1. Les critères de gestion

A ce stage du présent ouvrage, le premier critère de gestion qui apparaît est la valeur de la forêt (ou de la parcelle). Celle-ci est cependant variable au cours d'une révolution et ne répond pas au critère d'unicité. En revanche, la valeur du fonds - à taux fixé - se révèle correspondre aux critères d'unicité, de synthèse et de référence. Ce critère se montre être un bénéfice actualisé sur une infinité de révolution.

Un autre critère peut être défini (le bénéfice actualisé simple) en ne considérant qu'une seule révolution pour laquelle le fonds est considéré comme une dépense à l'année 0 et une recette l'année n.

Dernier des trois critères économiques retenus, le taux interne de rentabilité traduira - pour les financiers - un taux de placement de l'investissement forestier.

Enfin, d'autres critères visent à maximiser une production ou un capital sur pied ; nous discuterons de l'intérêt de ceux-ci.

L'ensemble de ces critères seront ensuite mis en oeuvre sur l'exemple de la parcelle 1 du Bois de la Butte avant d'être utilisé pour choisir un projet parmi deux scénarii sylvicoles.

V.1.1. La valeur du fonds : le critère de Faustmann (BASI)

D'un point de vue financier, minimiser les dépenses et maximiser les recettes afin de recueillir le plus grand bénéfice paraît légitime. Cependant, les délais de perception de ces recettes n'est pas négligeable pour le propriétaire. Cette affirmation est d'autant plus vraie dans le domaine forestier que le bénéfice net (recette - dépense) annuel est négatif les premières années pour un devenir positif qu'après un temps très long, souvent supérieur à l'espérance de vie humaine. Aussi le temps a-t-il un effet non négligeable sur le choix d'un propriétaire face à deux projets de durées distinctes.

C'est pourquoi le forestier allemand Martin Faustmann a introduit en 1849 le Bénéfice Actualisé à Séquence Infinie (BASI). Ce critère somme l'ensemble des bénéfices (recettes-dépenses) actualisés qui s'étendent du début du projet (année 0) jusqu'à l'infini. Il suppose que ces dépenses et recettes sont de période n (la révolution).

C'est pourquoi le critère de Faustmann n'est autre que la valeur du fonds introduite par ce même auteur ⁽¹⁾ :

$$BASI = \frac{\sum_{i=0}^n (R_{(i)} - D_{(i)}) (1+r)^{n-i}}{1+r-1}$$

Dans notre souci d'optimisation, il convient de faire varier la sylviculture (c'est à dire n et certaines $R_{(i)}$ et $D_{(i)}$) en retenant la valeur maximale que peut prendre le BASI. On peut ainsi comparer des sylvicultures différentes ⁽²⁾ et retenir celle qui maximisera les bénéfices actualisés à l'infini.

Une conséquence du BASI est que - pour une sylviculture donnée - la durée optimale de la révolution est égale à l'âge du peuplement lorsque la somme valeur de consommation + BASI s'accroît au taux r ⁽¹⁾ ; il est cependant peu probable qu'en raisonnant sur des valeurs de consommation discrètes ⁽²⁾ cette égalité soit vérifiée ; aussi convient-il de la transformer en l'inégalité suivante :

$$\frac{VC_n - VC_{n-1}}{VC_n + BASI_n} \leq r \leq \frac{VC_{n+1} - VC_n}{VC_{n+1} + BASI_{n+1}}$$

avec $BASI_{(n)}$ étant le BASI calculé pour une révolution de n années.

Nous verrons plus loin que cette conséquence a une application intéressante dans le cas des peuplements inéquiennes (paragraphe V.2).

V.1.2. Le bénéfice actualisé simple (BAS, BASF)⁽³⁾

Proche du BASI dans sa conception, le bénéfice actualisé simple ne s'intéresse qu'à une seule révolution. Il n'a d'autre signification que l'équivalent actuel (à l'âge 0 du peuplement) du profit réalisé sur n années. Il est noté BAS lorsqu'il néglige la valeur du fonds et BASF dans le cas contraire.

Sa formulation est donc la suivante :

⁽¹⁾ Voir chapitre III : formule complète du fonds de Faustmann

⁽²⁾ M. R. a été le premier forestier à utiliser ce critère en 1860 pour calculer la durée optimale.

⁽¹⁾ J.-L. PEYRON, 1996, Elaboration d'un système de comptes économiques articulés de la forêt au niveau national, Thèse, Université de Nancy II, p. 173.

⁽²⁾ Valeur discrète : une valeur pour un intervalle de temps (ici l'année) par opposition à une valeur continue.

⁽³⁾ Terminologie proposée par J.-L. PEYRON, Estimation forestière, cours FIF-ENGREF, Nancy

$$BASF = -F + (R_{(0)} - D_{(0)}) + \frac{(R_{(1)} - D_{(1)})}{1+r} + \dots + \frac{(R_{(n)} - D_{(n)})}{(1+r)^n} + \frac{F}{(1+r)^n}$$

où F est considéré comme une dépense à l'année 0 et une recette à l'année n.

$$BASF = F \left(\frac{1}{(1+r)^n} - 1 \right) + \sum_{i=0}^n \frac{(R_{(i)} - D_{(i)})}{(1+r)^i}$$

$$BASF = \sum_{i=0}^n \frac{(R_{(i)} - D_{(i)})}{(1+r)^i} - F \left(\frac{(1+r)^n - 1}{(1+r)^n} \right)$$

Si la valeur du fonds est négligée :

$$BAS = \sum_{i=0}^n \frac{(R_{(i)} - D_{(i)})}{(1+r)^i}$$

Comme précédemment, il convient de faire varier n (et/ou les recettes et dépenses occasionnelles) de façon à maximiser le BASF (ou le BAS).

A la différence du BASI et du BAS, l'utilisation du BASF suppose un virtuel achat du fonds l'année 0 et une virtuelle revente de celui-ci à l'année n..

L'optimum est atteint (maximiser de BAS ou BASF) pour :

- BAS
$$\frac{VE_n - VE_{n-1}}{VE_n} \leq r \leq \frac{VC_{n+1} - VC_n}{VC_{n+1}}$$

c'est à dire lorsque l'accroissement annuel de la valeur de consommation est égale au taux r.

- BASF
$$\frac{VC_n - VC_{n-1}}{F + VC_n} \leq r \leq \frac{VC_{n+1} - VC_n}{F + VC_{n+1}}$$

c'est à dire lorsque la consommation additionnée de la valeur du fonds (fixée) s'accroît au taux r.

Contrairement au critère de Faustmann (BASI), qui suppose une infinité de révolutions futures, le bénéfice actualisé simple (BAS, BASF) ne permet de comparer entre eux que des projets d'investissement de même horizon temporel (plantation, élagage, éclaircie). En particulier, il ne sera pas possible de l'utiliser pour calculer la durée de révolution d'un peuplement⁽¹⁾.

⁽¹⁾ J.-P. TERREAUX, 1990, Principes de gestion des investissements en forêt, Thèse, chapitre 1.1., page 16

V.1.3. Le taux interne de rentabilité (TIR, TIRF)

Le taux interne de rentabilité est celui qui annule le bénéfice actualisé. Examinons tout d'abord la signification de ce taux interne sur un exemple simple.

Exemple d'un placement bancaire

Considérons un placement bancaire de 1 000F sur une durée de 10 ans ; le taux de placement que propose le banquier est de 5% par an hors inflation ; d'autre part les frais annuels de gestion sont versés de l'année 1 (soit un an après le placement) à l'année 10 (année où le prêteur récupère son bien) ; les intérêts annuels ne sont pas prélevés et viennent augmenter le capital.

Ainsi le capital s'établit à l'année 10 à $1\,000 \cdot (1+0.05)^{10} = 1\,629\text{F}$

Le bénéfice actualisé somme les recettes nettes annuelles actualisées ; il s'écrit :

$$\text{BAS} = -1000 + \frac{(-10)}{1+r} + \frac{(-10)}{(1+r)^2} + \dots + \frac{(-10)}{(1+r)^9} + \frac{1629-10}{(1+r)^{10}}$$

Lorsque r prend la valeur 4.2%, le BAS est nul ⁽²⁾.

Ce taux est appelé taux interne de rentabilité ⁽³⁾ (TIR). Il est en fait le taux réel r de placement tenant compte de toutes les recettes et dépenses sur la durée du projet.

En correspondance avec les deux bénéfices actualisés distingués, BAS et BASF, deux taux internes peuvent être définis, l'un négligeant la valeur du fonds (TIR), l'autre l'incluant (TIRF).

Lorsque l'on s'intéresse à l'optimisation de la durée de révolution, il apparaît que les conditions optimales sont atteintes pour :

- dans le cas du TIRF :

$$\frac{VC_n - VC_{n-1}}{VC_n + F} \leq \text{TIRF} \leq \frac{VC_{n+1} - VC_n}{VC_{n+1} + F}$$

- dans le cas du TIR :

$$\frac{VC_n - VC_{n-1}}{VC_n} \leq \text{TIR} \leq \frac{VC_{n+1} - VC_n}{VC_{n+1}}$$

Ainsi le TIR (et le TIRF) est le taux constaté d'un projet ; il est un indicateur de la rentabilité d'un projet mais son utilisation comme critère de choix d'un projet est discutable.

Exemple : comparaison entre deux projets ⁽¹⁾

⁽²⁾ Par itérations successives on cherche à encadrer le taux tel que BAS=0. La fonction "valeur cible" de Microsoft Excel se révèle être utile pour une telle recherche.

⁽³⁾ Certains auteurs l'appellent aussi Taux de Rentabilité Interne (TRI)

⁽¹⁾ d'après M. MOREL & J.-P. TERREAUX, l'estimation de la valeur des forêts à travers un exemple : entre simplification abusive et complexité et réel, 1996, RFF n°2/95, page 154

Supposons que nous ayons le choix entre deux projets A et B tels que chacun d'eux implique une dépense de 1 à l'année 0 et dont les revenus les années 1 et 2 soient différentes pour chaque projet (voir tableau V.1). Si on calcule le bénéfice actualisé de ces deux projets avec un taux de 10%, celui procuré par le projet B est supérieur à celui procuré par le projet A. Pour un tel taux, le projet B est donc préférable.

Cependant le TIR du projet A est supérieur à celui du projet B ; le critère de maximisation du TIR conduit au choix du projet A.

	Projet	A	B
Bénéfices nets	Année 0	-1	-1
	Année 1	2	0
	Année 2	1	4
	TIR	141%	100%
	BAS	1.64	2.31
	BASI ⁽²⁾	9.5	13.3

Tableau V-1 :

Caractéristiques et critères de rentabilité des projets A et B

V.1.4. Autres critères (productivité, accumulation)

Les différents critères de gestion examinés faisaient intervenir l'effet du temps sous la forme d'une préférence pour le présent par l'intermédiaire d'un taux d'actualisation (r).

Il existe cependant d'autres critères orientés vers la production en volume ou en argent dans lesquels le temps n'intervient pas (accumulation) ou différemment (productivité).

Les critères de productivité

Ces critères visent à maximiser la production annuelle moyenne ; cette production peut être définie en volume de bois ou en argent ; dans ce dernier cas, le critère peut intégrer ou non les dépenses. On peut ainsi définir trois critères de productivité :

- Le **volume moyen annuel** (VM) où on cherchera à maximiser

$$VM = \frac{\sum_{i=1}^n \text{volumes coupés}}{n}$$

- Le **revenu moyen annuel** (RM) qui n'est autre que le précédent pondéré des prix unitaires des bois :

$$RM = \frac{\sum_{i=1}^n \text{Recettes}}{n}$$

⁽²⁾ en supposant que ces projets soient reconduits à l'infini tous les deux ans

- Le **bénéfice moyen annuel** (BM) qui soustrait au précédent

$$\text{les dépenses : } BM = \frac{\sum_1^n (Recettes - Dépenses)}{n}$$

Duhamel du Monceau (1764) a le premier préconisé de couper les taillis lorsqu'ils fournissent le plus fort revenu annuel moyen. En 1791, Varenne de Fenille précisait, quelques années avant de monter à l'échafaud, que cet accroissement moyen en volume (ou valeur) culmine lorsqu'il est égal à l'accroissement courant en volume (en valeur) ⁽¹⁾ :

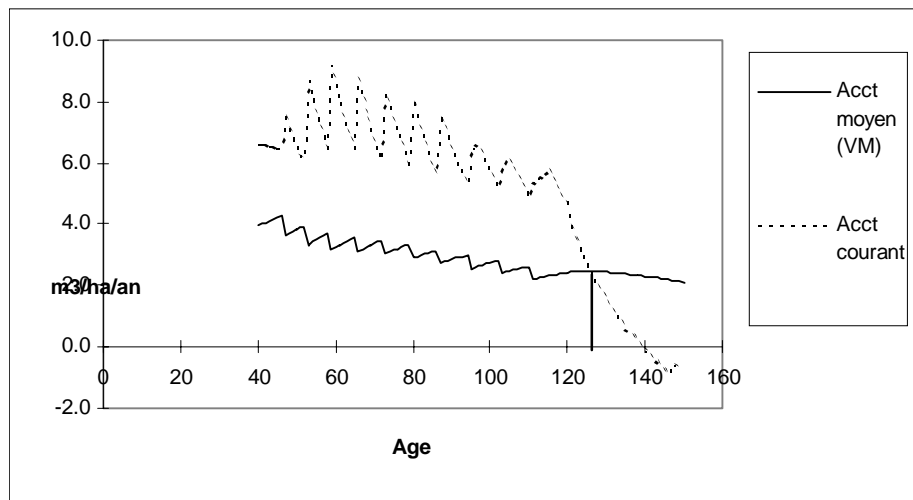


Figure V-1 : Age d'exploitabilité retenu pour une maximisation de l'accroissement moyen (VM) ; on observe que VM est maximal lorsqu'il est égal à l'accroissement courant.

Cependant la productivité physique en volume (VM) est d'autant moins applicable que la qualité, et donc les prix des bois, est hétérogène. L'affectation d'un poids plus grand donné aux bois de meilleure qualité, par l'intermédiaire d'un prix, apparaît nécessaire. On aborde aussi les critères de productivité en valeur (RM, BM) qui semblent avoir implicitement la faveur de l'Office National des Forêts ⁽²⁾.

Si le bénéfice moyen annuel semble être le plus proche des préoccupations financières du propriétaire, il ne tient pas compte de la date à laquelle intervient chaque dépense et recette ; or dépenser une somme n années avant d'en récupérer les fruits sous forme d'une recette est bien différent d'une dépense intervenant la même année que la recette finale.

⁽¹⁾ J.-L. PEYRON, 1996, *Il y 200 et quelques années, ... une éminente tête forestière tombait sur l'échafaud*, revue forestière française, n° 6/1996

⁽²⁾ ONF, 1989, Manuel d'aménagement. 3ème édition rédigée par J. DUBOURDIEU. Office National des Forêts, Paris, 151 pages.

Les critères d'accumulation

Ils diffèrent des précédents par le fait qu'ils ne sont pas ramenés à l'année ; on peut ainsi distinguer :

- Le volume total (VT) où on cherche à maximiser :

$$VT = \sum_1^n \text{volumes coupés} ; \text{il s'agit d'un optimum physique}$$

- Le revenu total (RT) dans lequel est introduit une gamme de prix unitaires :

$$RT = \sum_1^n \text{Recettes}$$

- Le bénéfice total (BT) qui se distingue du précédent par l'introduction des dépenses :

$$BT = \sum_1^n (\text{Recettes} - \text{Dépenses})$$

A l'optimum de ces deux derniers critères, l'augmentation des prix est compensée par la diminution du volume.

Ces critères d'accumulation conduisent à maximiser un capital. Ils sont proches par les faits de stratégies de protection ou de récréation tendant à garder les peuplements sur pied le plus longtemps possible en intervenant seulement en coupe sanitaire. Si les terrains forestiers existaient en quantité illimitée, ces critères pourraient traduire l'idée d'un stockage le plus grand possible du carbone fixé par photosynthèse ; cependant, la plupart du temps, les terrains à boiser ne sont pas indéfiniment disponibles ⁽¹⁾.

V.1.5. Conclusion sur les critères de gestion

Il est maintenant possible de récapituler les différents critères qui viennent d'être présentés. Au nombre de 11, ces critères demandent à être structurés (voir tableau V.2) en distinguant les trois grandes catégories d'accumulation (VT, RT, BT), de productivité (VM, RM, BM) et de rentabilité (BASI, BAS, BASF, TIR, TIRF) ainsi que la variable optimisée (volume, revenu, bénéfice) et leur intégration ou non de la valeur du fonds.

Aussi leur dénomination a été choisie ⁽²⁾ de façon à refléter ces distinctions ; le choix des sigles a été fait de la façon suivante :

- La première lettre renvoie la variable de base :

⁽¹⁾ J.-L. PEYRON, 1996, Elaboration d'un système de comptes économiques articulés de la forêt au niveau national, Thèse, Université de Nancy II, p. .

⁽²⁾ J.-L. PEYRON, 1996, Elaboration d'un système de comptes économiques articulés de la forêt au niveau national, Thèse, Université de Nancy II, p. .

- V : volume
- R : revenu (ou recette)
- B : bénéfice (ou revenu net)
- T : taux d'intérêt.
- La seconde lettre désigne le caractère :
 - T : total
 - M : annuel
 - A : actualisation
 - I : interne
- Les sigles des critères d'accumulation et de productivité ont deux lettres ; ceux des critères de rentabilité en ont 3 ou 4 suivant que le fonds est exclus ou pas ; lorsque le fonds est pris en considération, un F termine le sigle.

Type de critère	Volume	Revenus	Bénéfice sur x révolutions		
			x = 1	1 ≤ x ≤ ∞	x → ∞
Accumulation	VT	RT		BT	
	Utilisation possible dans le cadre des fonctions écologiques et sociales				
Productivité	VM	RM		BM	
	Le coût de l'immobilisation des capitaux n'est pas pris en considération				
Rentabilité partielle			BAS	TIR	
			fonds négligeable	Fonds négligeable, valeur indicatrice seulement	
Rentabilité globale			BASF	TIRF	BASI
			valeur exogène du fonds	valeur indicatrice seulement	valeur endogène du fonds, cohérence économique et temporelle

Tableau V-2 : Présentation structurée des différents critères de gestion énumérés¹.

¹ J.-L. PEYRON, 1996, Elaboration d'un système de comptes économiques articulés de la forêt au niveau national, Thèse, Université de Nancy II, p. 177

L'utilisation de ces critères dépend de l'objectif du propriétaire ; en effet, les critères d'accumulation sont proches de stratégie de protection ou de récréation tendant à garder les peuplements sur pied le plus longtemps possible ; il en résulte une maximisation du capital sur pied en volume (VT) ou en argent (RT, BT).

Les critères de productivité privilégient l'accroissement en volume (VM) ou argent (RM, BM) et conduisent à couper le peuplement lorsque l'accroissement moyen est maximal, c'est à dire égal à l'accroissement courant. Si leur utilisation est encore effective (ONF), elle peut paraître inadaptée à des investissements aussi longs que le cas forestier ; en effet, l'accroissement de ces critères de productivité est qu'ils ne prennent pas en compte le coût d'immobilisation des capitaux en rendant équivalentes deux dépenses de même montant intervenant à des dates différentes.

Aussi les critères de rentabilité s'avèrent-ils mieux adaptés à l'investissement forestier par l'intervention du temps (intervention d'un taux d'actualisation) et leur conformité à la théorie micro-économique. Ce dernier point confère aux critères de rentabilité un gage de reconnaissance auprès des investisseurs financiers tels que les banques et les mutuelles. Ces critères ont par ailleurs de nombreuses relations entre eux ; on peut remarquer en effet que le TIR annule le BAS (c'est la définition même du TIR) et donc aussi nécessairement le BASI ; de même le TIRF annule le BASF (ainsi qu'il a été défini) et rend le BASI égal à F. Les critères excluant la valeur du fonds et finalement inaliénable. Le cas des terrains forestiers inaliénables est cependant extrêmement rare ; dans le cas des forêts soumises au régime forestier, il existe des possibilités de distraction de ce régime et leur affectation n'est pas définitive (1).

Les critères assis sur une seule révolution (BAS, BASF) n'ont d'objet que pour comparer des projets de durées identiques (2) (rentabilité d'un élagage (3), d'une éclaircie, ...).

Les critères de taux interne (TIR, TIRF) rencontrent des objections quant à la justification de leur maximisation ; si maximiser le taux interne de rentabilité revient dans certains cas à maximiser la somme des revenus nets actualisés, cette équivalence n'était pas toujours réalisée ; on peut aussi remarquer que l'utilisation d'un taux interne de rentabilité conduit à ne pas utiliser le coût effectif du temps. Finalement, les taux internes de rentabilité doivent être considérés plus comme des indicateurs que comme des objectifs à maximiser, sauf si le taux intègre une valeur du fonds proche du BASI.

Le critère du BASI, assis sur une infinité de révolutions, est le plus conforme à la théorie micro-économique, égal à la valeur du fonds calculée à taux fixé, maximiser ce critère revient à maximiser la valeur du bien (le fonds) qui produit des revenus nets.

(1) J.-L. PEYRON, 1996, *Elaboration d'un système de comptes économiques articulés de la forêt au niveau national*, Thèse, Université de Nancy II, p. 175

J.-P. TERREAUX, 1990, *Principes de gestion des investissements en forêt*, Thèse, chap. 11, p. 16

(3) voir chapitre VIII

V.2. Mise en oeuvre sur un exemple

Afin de mieux comprendre la signification de chacun de ces 11 critères, nous allons les mettre en oeuvre et rechercher l'âge d'exploitabilité optimal (n) pour la parcelle 1 du Bois de la Butte ⁽¹⁾. Nous supposons dans cet exemple que les dates et intensités des prélèvements en éclaircie restent inchangées ; seule la date de la coupe rase est variable.

Calcul des critères d'accumulation

On recherche ici à maximiser un capital en volume ou argent.

Le volume total (VT)

Un simple examen des valeurs de volume sur pied nous montre que ce critère est maximal pour $n = 139$ ans, âge pour lequel $VT = 324 \text{ m}^3/\text{ha}$ (fig. V.2 courbe pleine). On remarque que l'accroissement en volume à cet âge est nul, l'accroissement étant positif avant 139 ans et négatif après (figure V.1) :

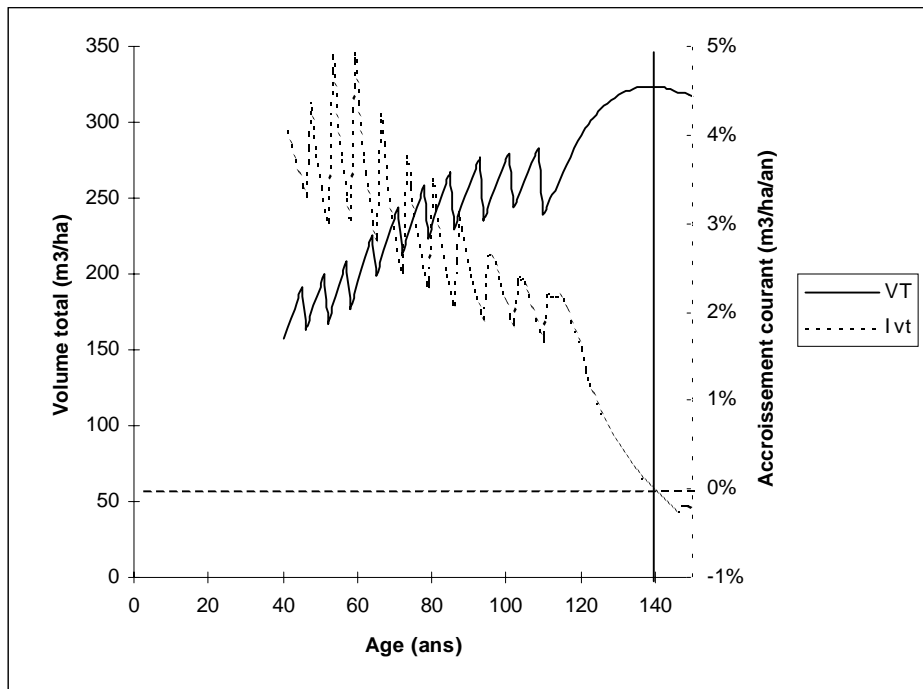


Figure V-2

Gestion par maximisation du critère du volume total (VT). Celui-ci est maximal à 139 ans ; l'accroissement courant du volume est alors nul.

Aussi ce critère répond-il à une stratégie de conservation du peuplement sur pied. L'âge d'exploitabilité se situe juste avant que l'accroissement sur le volume ne compense plus la perte par mortalité. On pourrait parler de maximum physique pour un peuplement (et non des arbres pris individuellement).

⁽¹⁾ Les données de dépenses et recettes ainsi que la valeur de consommation figurent en annexe

Le revenu total (RT)

Similaire au précédent dans son principe, le revenu total est maximal lorsque l'accroissement de valeur de consommation est nul. Dans notre exemple, le revenu total est maximal pour $n = 164$ ans, soit $RT_{max.} = 165\,183$ F/ha.

L'utilisation d'un tel critère révélera un souci de capitalisation sur pied d'une valeur.

Il est à remarquer que l'optimum selon le revenu total intervient plus tard (146 ans) que l'optimum établi par le volume total (139 ans). En effet, lorsque le volume total diminue, le prix unitaire des bois continu d'augmenter ; le revenu total est maximal lorsque l'augmentation du prix unitaire des bois compense la perte de volume (voir figure V-3 trait pointillé)

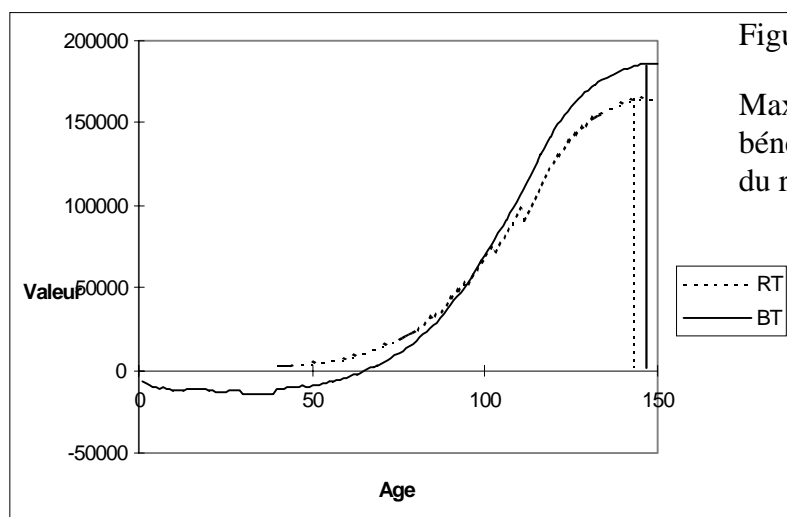


Figure V-3

Maximisation du
bénéfice total et
du revenu total

Le bénéfice total (BT)

C'est la somme des recettes diminuée des dépenses depuis l'année 0 jusqu'à l'année n .

BT =	somme des recettes d'éclaircies de 0 à 100 ans	$595+910+904+840+975+1\,352+2\,173+3\,437 = 11\,186$
	+ somme des recettes de chasse de 0 à 100 ans	$177 \times 100 = 17\,700$ F
	+ valeur de consommation à 100 ans	68 800 F
	- somme des dépenses occasionnelles de 0 à 100 ans	$7\,500+1\,000+1\,000+1\,000+1\,000+1\,000+1\,000+1\,500+1\,000+2\,500+200+1\,000=19\,700$
	- somme des dépenses annuelles de 0 à 100 ans	$(50 \times 100) + (51 \times 70) = 8\,570$

$$BT_{100} = 69\,416 \text{ F/ha}$$

De cette manière, on trouve un bénéfice total maximal égal à 185 987 F/ha à 146 ans (voir figure V-3 trait plein).

Les critères de production

Il s'agit ici de maximiser les mêmes critères que précédemment mais calculés en valeur moyenne.

Le volume moyen (VM)

$$VM = \frac{VT}{n}$$

L'âge optimal de coupe rase est obtenu lorsque le volume moyen (c'est à dire l'accroissement moyen) est maximal.

Il est dans le cas de la parcelle 1 de 125 ans pour un volume moyen de 2.46 m³/ha/an.

Le volume moyen (ou accroissement moyen) est maximal lorsqu'il est égal à l'accroissement courant (voir figure V-1).

Le revenu moyen (RM)

$$RM = \frac{RT}{n}$$

Le revenu moyen est maximal pour n = 135 ans (RM max. = 1 166 F/ha/an) (voir figure V-4 trait pointillé).

Cependant, ce critère ne prend pas en compte les dépenses comme le propose le bénéfice moyen.

Le maximum de RM intervient plus tard que celui du VM du fait de l'augmentation du prix unitaire du bois

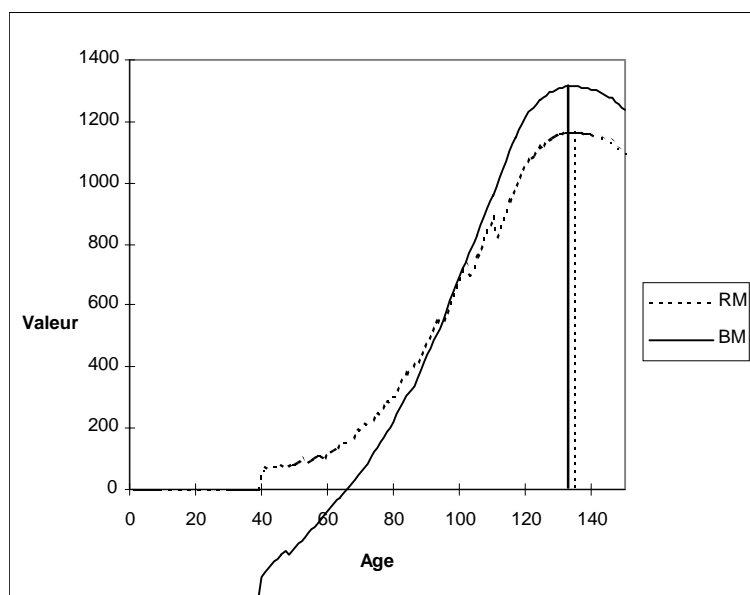


Figure V-4

Maximisation du
revenu moyen et
du bénéfice
moyen.

Le bénéfice moyen (BM)

$$BM = \frac{BT}{n}$$

Dans notre exemple, le bénéfice moyen est maximal pour $n = 134$ ans ($BM = 1\,315F/ha/an$). Le maximum du BM (voir figure V-4 trait plein).intervient ici plus tôt (134 ans) que le maximum du RM (135 ans) car la somme des recettes moins dépenses (sans compter la coupe finale) est positive ; si cette somme avait été négative (dépenses supérieures aux recettes), le maximum du BM aurait été plus tardif que celui du RM afin de rentabiliser l'investissement constitué de dépenses supérieures aux recettes (hors coupe finale).

Les critères de rentabilité

Ceux-ci supposent l'intervention du temps sous la forme d'un taux d'actualisation que nous fixons (dans le cas de BAS, BASF et BASI) à la valeur $r = 1.50\%$. D'autre part, le fonds est défini à une valeur de 10 000F (pour les critères du TIRF et du BASF).

Le BASI

Le BASI, ou critère de Faustmann, est le bénéfice actualisé sur une séquence infinie. Dans le cas d'une forêt de révolution n années, il s'écrit :

$$BASI = \frac{\sum_{i=0}^n (R_{(i)} - D_{(i)}) (1+r)^{n-i}}{1+r-1}$$

Dans le cas de la parcelle 1, il se calcule ainsi :

Année	$R_{(i)}$	$D_{(i)}$	$R_{(i)} - D_{(i)}$	BASI
0	0	7 500	- 7 500	/
1	177	50	127	$= \frac{(-7500) \times (1.015)^1 + (127) \times (1.015)}{1.015 - 1}$
2	177	50	127	
⋮				
120	$126\,919^{(1)} + 177$	101	126 995	20 037
121	$130\,020^{(1)} + 177$	101	130 096	20 230

⁽¹⁾ Valeur de consommation du peuplement qui serait la recette occasionnée par sa coupe si l'âge auquel correspond cette valeur était l'âge d'exploitabilité

$$\vdots$$

149	$164\,479^{(1)} + 177$	101	164 755	15 294
150	$164\,485^{(1)} + 177$	101	164 561	14 956

Tableau V-3 : Calcul du BASI

Le BASI est ici maximal pour $n = 125$ ans âge auquel il prend la valeur 20 259F/ha.

Le bénéfice actualisé simple (BAS, BASF)

Son calcul s'opère simplement en ramenant toutes les recettes et dépenses futures sur une révolution (n années) à l'année 0 :

$$BASF = \sum_{i=0}^n \frac{R_{(i)} - D_{(i)}}{(1+r)^i} - F \cdot \frac{(1+r)^n - 1}{(1+r)^n}$$

avec $F = 0$ dans le cas du BAS.

Calculons ces deux critères :

Année	$R_{(i)} - D_{(i)}$	BAS	BASF
0	- 7 500	/	/
1	127	$= -7500 + \frac{(127)}{1.015} = -7375$	$= 7375 - 10000 \left(\frac{1.015 - 1}{1.015} \right) = -7523$
2	127	- 280 257	- 8516
\vdots			
120	126 995	20 037	8 356
121	130 096	20 230	8 541
\vdots			
149	164 755	15 294	4 718
150	164 561	14 956	4 425

Tableau V-4 : Calcul du BAS et du BASF

Ainsi, le BAS est maximal pour $n = 127$ ans où il prend la valeur de 17 372 F/ha, alors que le BASF est maximal pour $n = 126$ ans, âge auquel sa valeur est de 8 899 F/ha.

Le taux interne de rentabilité (TIR, TIRF)

Le taux interne de rentabilité, TIR (TIRF) est le taux d'actualisation qui annule le bénéfice actualisé simple BAS (BASF). Il suffit pour le calculer de

faire varier le taux r utilisé dans le calcul du BAS (BASF) (1) jusqu'à annuler ce bénéfice actualisé (2) ceci pour chaque valeur de n .

Ainsi, l'exemple de la parcelle 1 du Bois de la Butte montre que :

- le TIR est maximal (TIR max. = 2.30%) pour un âge d'exploitabilité de $n = 121$ ans. Remarquons que pour $r = \text{TIR}$, le BASI est nul et maximal à ce même âge de 121 ans.
- le TIRF culmine à 1.80% pour $n = 124$ ans. Pour un tel taux, le BASI prend la valeur du fonds ($F = 10\,000$ F/ha) à 124 ans, âge auquel le BASI est alors maximal.

Récapitulatif

Après calcul des 11 critères de gestion, les résultats qu'ils proposent au gestionnaire apparaissent plutôt variés :

TYPE	Critère	Paramètres	Maximum	Age d'exploitabilité correspondant (ans)
Accumulation	VT		324 m ³ /ha	139
	RT		165 183F/ha	146
	BT		185 987 F/ha	146
Productivité	VM		2.46 m ³ /ha/an	125
	RM		1 166F/ha/an	135
	BM		1 315F/ha/an	134
Rentabilité	BASI	$r = 1.50\%$	20 259 F/ha	125
	BAS	$r = 1.50\%$	17 372 F/ha	127
	BASF	$r = 1.50\%$, $F = 10\,000$ F/ha	8 899 F/ha	126
	TIR		2.30%	121
	TIRF	$F = 10\,000$ F/ha	1.80%	125

Tableau V-5: Synthèse des résultats obtenus par les différents critères de gestion sur la parcelle 1

Alors qu'il avait retenu un âge d'exploitabilité de 120 ans, M. Dubois se voit confronté à un choix s'étendant sur 25 ans (de 121 à 146 ans).

Cependant, il est possible de guider ce propriétaire en lui rappelant les conclusions tirées de la présentation de chaque critère :

- les critères d'accumulation répondent à une stratégie de capitalisation,
- les critères de productivité maximisent la production annuelle moyenne mais ignorent le coût d'immobilisation des capitaux.

⁽¹⁾ Voir paragraphe précédent

⁽²⁾ Une méthode plus rapide consiste à automatiser cette recherche itérative par l'utilisation d'une fonction informatique du type "valeur cible " de Microsoft Excel.

- Enfin, les critères de rentabilité sont plus proches des attentes d'un propriétaire souhaitant rentabiliser financièrement sa propriété ; cependant ces cinq critères ne répondent pas aux mêmes attentes ; si le TIR (TIRF) révèle une caractéristique du projet, sa maximisation peut conduire à des errements (voir paragraphe ...) ; le BAS (BASF) ne présente d'intérêt que pour comparer des projets de même durée, ce qui n'est pas le cas dans la recherche d'un âge d'exploitabilité optimal.
- Enfin, seul le BASI ne présente aucun des défauts mentionnés pour les autres critères et semble être tout indiqué pour jouer le rôle d'un critère de gestion fiable puisque sa maximisation entraîne une maximisation de la valeur du fonds.

Aussi, on ne peut que conseiller à M. Dubois d'exploiter sa parcelle à 125 ans.

V.3. Comparaison de deux projets

Dans l'exemple précédent, nous nous sommes attachés à rechercher l'âge optimal d'exploitabilité en considérant les éclaircies fixes (intensité et calendrier). Cependant, un gestionnaire soucieux de maximiser la rentabilité d'une forêt ne saurait en rester là et souhaitera rechercher le scénario sylvicole optimal maximisant la rentabilité (si la rentabilité est choisie comme objectif). Cela suppose de comparer - à l'aide d'un critère de gestion - tous les scénarii possibles, c'est à dire de faire varier toutes des dépenses et recettes sur lesquelles le gestionnaire a une influence (ce qui exclu la taxe foncière, une part de frais de gestion et dans une certaine mesure les recettes liées à la location de la chasse).

Il en résulte un nombre de scénarii très élevé, rendant matériellement impossible une comparaison directe entre tous les projets. Un tel souci n'est pas propre à la forêt, aussi des techniques mathématiques d'optimisation ont vu le jour vers le milieu du XX^{ème} siècle pour tenter de répondre à ce problème ⁽¹⁾. Leur application ⁽²⁾ à la forêt n'est pas encore répandue à la gestion courante, probablement du fait de leur complexité et de la relative jeunesse de l'informatique au service de la forêt. Un tel sujet nécessitera un ouvrage à lui tout seul, de plus le faible recul dont nous disposons sur de telles pratiques ne nous permet pas d'intégrer la recherche opérationnelle dans ce présent ouvrage.

Cependant, afin de ne pas rester sur notre faim, nous allons chercher à comparer deux projets entre eux.

⁽¹⁾ La recherche opérationnelle, Que sais-je ?

⁽²⁾ GUO, Thèse

V.3.1. Présentation des deux scénarii

Nous allons revenir à la parcelle 1 du Bois de la Butte qui nous est si chère.

Le peuplement de hêtre qui la recouvre a 50 ans et a déjà subi une éclaircie à 46 ans. Connaissant les lois de croissance du peuplement ⁽³⁾, il nous est possible de simuler différents scénarii en faisant varier ce qui peut l'être dans un peuplement de 50 ans, c'est à dire l'intensité, le type et le calendrier des coupes. Nous avons retenu deux scénarii (A et B) que nous allons décrire sommairement ⁽⁴⁾.

Le scénario A

Trois coupes sont réalisées à 50, 55 et 60 ans visant à favoriser les plus grosses tiges. Suivent six coupes de récolte (à 66, 74, 82, 90, 100 et 110 ans) prélevant la moitié des arbres de diamètre 40 et tous les arbres de diamètre 45 et plus. Il ne reste plus après 110 ans que 54 tiges/ha. Ainsi, ce scénario procure assez tôt de gros revenus (79 401F/ha de 46 à 110 ans) mais n'assurera pas un gros revenu lors de la coupe rase.

Le scénario B

Sept coupes d'éclaircie sont réalisées (52, 59, 66, 74, 83, 93 et 105 ans) visant à favoriser les plus gros arbres, tout en conservant un fort matériel sur pied ⁽⁵⁾.

Ainsi, ce scénario se définit par des revenus d'éclaircies faibles (15 863F/ha de 46 à 105 ans) et par l'assurance d'un fort revenu à l'occasion de la coupe rase.

Pour des raisons pédagogiques, ces scénarii sont fortement exagérés et très distincts, l'un de l'autre ; ils n'en sont cependant pas irréalistes.

V.3.2. Comparaison des deux scénarii par leur rentabilité

Le BASI nous étant apparu comme le seul critère de rentabilité susceptible d'être utilisé pour comparer des projets de durée différentes, nous allons calculer le BASI de chacun des projets. Il nous faut cependant choisir un taux d'actualisation.

Choix du taux d'actualisation

Nous verrons dans un autre chapitre ⁽¹⁾ comment peut être choisi le taux d'actualisation. Pour cet exemple nous prendrons le taux moyen des

⁽³⁾ Voir chapitre VI

⁽⁴⁾ L'intégralité des deux scénarii figure en annexe

⁽⁵⁾ La surface terrière est proche de celle préconisée par la table de production du hêtre (voir chapitre VI)

différents placement sur le long terme (hors inflation). Ainsi le taux choisi est $r = 1.80\%$ ⁽²⁾

Calcul du BASI

Comme nous l'avons présenté précédemment, le BASI répond à la formule suivante :

$$BASI = \frac{\sum_{i=0}^n (R_{(i)} - D_{(i)}) (1+r)^{n-i}}{1+r-1}$$

avec R_n , recette l'année n étant égale à la valeur de consommation du peuplement à l'année n (augmentée des recettes annuelles de chasse).

Le maximum du BASI pour chacun des deux projets est le suivant :

	BASI max.	Age d'exploitabilité optimal
Scénario A	9 390 F/ha	142 ans
Scénario B	10 884F/ha	117 ans

Tableau V-6 : Résultat de la comparaison de 2 projets par l'intermédiaire du BASI

Ainsi le critère du BASI guide notre choix vers le projet B dont le bénéfice actualisé sur une séquence infinie (supposant donc la même gestion à l'infini) est supérieur.

On peut néanmoins s'interroger sur le résultat de notre choix dans le cas du critère du taux interne de rentabilité (taux qui annule le BASI ⁽³⁾).

Utilisation du critère du TIR

En faisant varier r , on trouve par itérations successives ⁽⁴⁾ :

⁽¹⁾ Chapitre VI

⁽²⁾ Taux de placement moyen de l'ensemble du patrimoine de rapport entre 1960 et 1987 - Source : CERC 1988 et La Tribune de l'Expansion du 13/7/1988 cités par J.-P. TERREAUX, Thèse

⁽³⁾ Voir paragraphe

⁽⁴⁾ L'utilisation de la fonction "valeur cible" de Microsoft Excel est recommandée

⁽¹⁾ On parle d'état normal en futaie jardinée, de plan de balivage en TSF et d'état d'équilibre dans les autres cas de futaie irrégulière.

	TIR max.	Age d'exploitabilité optimal
Scénario A	2.40%	141 ans
Scénario B	2.35%	113 ans

Tableau V-7 : Résultat de la comparaison de 2 projets par l'intermédiaire du TIR.

Ainsi, le critère du TIR privilégie le projet A dont le TIR est supérieur (2.40%) à celui du projet B (2.35%).

Pourquoi retenir le scénario B plutôt que le scénario A ?

Le critère du BASI privilégie le scénario B, celui du TIR, le scénario A. Pour en comprendre les raisons, examinons la relation qu'il existe entre le BASI et le taux r pour chacun des deux scénarii. Pour cela, faisons varier r de 1.7% à 2.5% et calculons le BASI pour les différentes valeurs de r pour les deux scénarii.

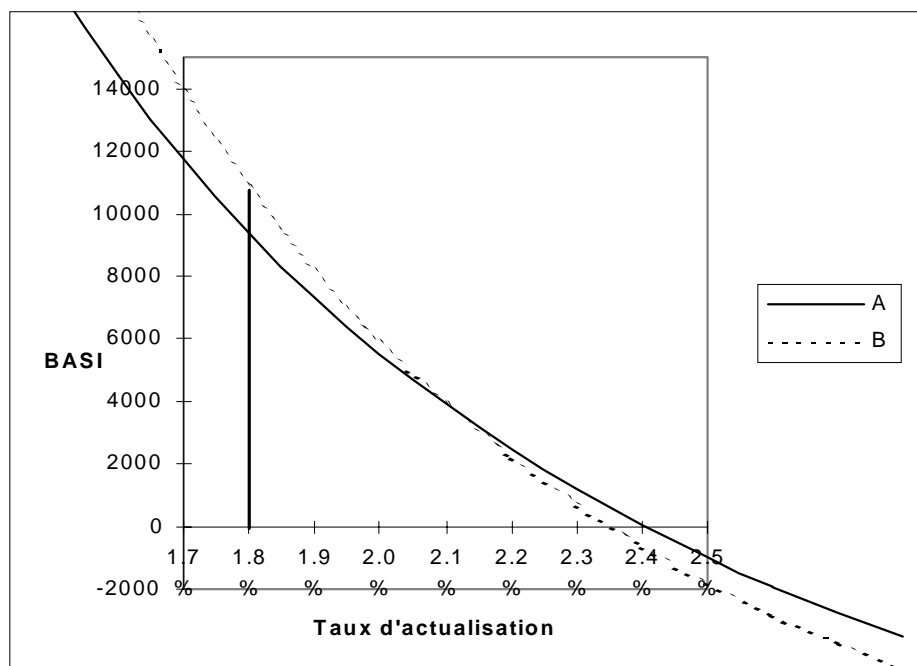


Figure V-5 : Valeur du BASI pour différentes valeurs de taux dans les cas de deux projets concurrents

Cette relation montre que pour une valeur de taux inférieure à 2.1% (point de croisement entre les deux courbes), le BASI du projet B est supérieur à celui du projet A ; au-delà de ce taux, c'est l'inverse qui se produit.

Ainsi, bien que le TIR du projet A soit supérieur à celui du projet B, le gestionnaire choisira le projet B si le taux qui lui paraît raisonnable est inférieur à 2.1% (nous avons choisi 1.8%).

Le choix du BASI plutôt que du TIR comme critère de gestion peut se justifier ainsi :

"Le propriétaire préfère probablement encaisser un bénéfice plutôt qu'un taux".

V.4. Cas des peuplements inéquiennes¹.

Dans le cas de peuplements réguliers, la question qui s'est posée est "quel scénario sylvicole doit-on appliquer et à quel âge récolter les bois de la parcelle pour maximiser la rentabilité ?" Cette question peut être posée de la même façon dans le cas de peuplements inéquiennes, mais sous deux formes différentes conduisant à deux résultats différents :

- Quelle structure ⁽¹⁾ de peuplement adopter pour maximiser sa rentabilité ?
- A quel diamètre récolter un arbre pour maximiser sa rentabilité ?

V.4.1. Structure du peuplement

L'objet de la gestion de peuplements irréguliers est de rechercher une structure telle que le matériel sur pied ⁽²⁾ soit suffisant pour assurer une bonne production de bois, donc d'argent, et que, d'autre part, la croissance individuelle des tiges et la régénération ne soient pas freinées par une trop grande quantité de matériel sur pied. Ainsi, doit être définie une fourchette de valeurs de surface terrière dans laquelle le gestionnaire doit contenir le peuplement qui verra sa structure équilibrée.

Ecrivons le BASI d'un tel peuplement ; ce critère est la somme des bénéfices actualisés s'étendant à l'infini, il s'écrit donc :

$$BASI = \sum_{i=0}^{\infty} (R_{(i)} - D_{(i)}) (1+r)^{-i}$$

On peut détailler les recettes et dépenses en séparant ce qui est occasionnel et ce qui est annuel :

$$BASI = \sum_{i=0}^{\infty} (R_{(i)}^{occ} - D_{(i)}^{occ}) (1+r)^{-i} + \sum_{i=0}^{\infty} (p - \delta) (1+r)^{-i}$$

¹ Cette méthode s'inspire largement de celle proposée par Max BRUCIAMACCHIE ? 1991, *Les différentes valeurs d'un arbre*, La lettre de Prosylva n° 2. Cependant, celui-ci utilise le critère du BAS alors que nous allons présenter les critères du BASF et du BASI.

⁽²⁾ Autrefois exprimé en volume (m³/ha) elle est définie aujourd'hui par la surface terrière (m²/ha)

- avec $R_{(i)}^{occ}$: recette occasionnelle à l'année i (recette de coupe)
- $D_{(i)}^{occ}$: dépense occasionnelle à l'année i (dépense d'élagage)
- ρ : recette annuelle (chasse
- δ : dépense annuelle (taxe foncière)

Si on suppose les recettes et dépenses annuelles comme étant fixes, le terme $\sum_{i=0}^{\infty} (\rho - \delta)(1+r)^{-i}$ peut s'écrire $\frac{\rho - \delta}{r}$ ⁽¹⁾, terme invariable donc n'intervenant pas dans la maximisation du BASI. D'autre part, si le peuplement est équilibré (sa surface terrière est comprise dans une fourchette définie). Ce peuplement se reproduit à l'identique toutes les ρ années, ρ étant la rotation des coupes. De même, les travaux interviennent à période régulière que nous noterons ω ⁽²⁾. Le montant des travaux (D^{occ}) et la recette (R^{occ}) des coupes peuvent être estimés comme étant constants. Maximiser le BASI reviendra alors à maximiser la formule suivante :

$$\frac{R^{occ}}{(1+r)^{\rho}} - \frac{D^{occ}}{(1+r)^{\omega}} \quad (\text{BASI partiel})$$

Il convient alors de rechercher la structure de peuplement qui maximise cette expression partielle du BASI, un peuplement clair entraînant une augmentation de la vitesse de croissance, donc des recettes, mais provoque des travaux plus nombreux (notamment dégagements et élagage) alors qu'un peuplement trop fermé, s'il n'induit que peu de travaux, provoque une baisse de la croissance individuelle mais à contrario une augmentation de la production en masse.

A l'aide d'un modèle qui lie la croissance individuelle, et donc collective, à la quantité de matériel, le gestionnaire sera en mesure de rechercher le peuplement optimal maximisant le BASI partiel ⁽¹⁾.

V.4.2. Le diamètre d'exploitabilité

Homologue de l'âge d'exploitabilité pour la futaie régulière, le diamètre d'exploitabilité est celui auquel l'arbre doit être coupé pour maximiser le critère choisi (accumulation, productivité ou rentabilité). Dans le cas présent nous retiendrons le critère du BASI, ce qui nous conduit à raisonner à taux fixé.

⁽¹⁾ Voir chapitre III "somme des termes d'une suite géométrique"

⁽²⁾ Comme "works", signifiant travaux en anglais, le t étant généralement utilisé pour indiquer le temps.

⁽¹⁾ La recherche opérationnelle est particulièrement adaptable à ce type d'optimisation.

Le prélèvement au diamètre d'exploitabilité est plutôt adapté aux peuplements feuillus de plaine lorsque les qualités et les essences (donc les courbes de prix unitaires) sont diversifiées ⁽²⁾.

L'optimum de ce diamètre est obtenu lorsque le BASI propre à l'arbre est maximal, c'est à dire lorsque la relation suivante est vérifiée ⁽³⁾ :

$$\frac{\text{Accroissement annuel de } vc}{vc} = r \left(\frac{BASI_{\text{arbre}}}{vc} \right)$$

avec vc : valeur de consommation de l'arbre

$BASI_{\text{arbre}}$: BASI propre à l'arbre, c'est à dire la part de la valeur du fonds affectée à l'arbre (pour r fixé, $BASI = F$).

Le taux étant fixé, il est nécessaire de connaître les deux autres termes de la relation à vérifier :

- $\frac{\text{Accroissement annuel de } vc}{vc}$, qui n'est autre que le taux de fonctionnement annuel de l'arbre ⁽⁴⁾ (augmentation relative du prix au cours du temps)
- $\frac{BASI_{\text{arbre}}}{vc}$

Rappelons avant tout la définition de la valeur de consommation d'un arbre :

$$vc = \text{vol.} \cdot \text{pu} - \text{frais de consommation}$$

avec vol : volume grume unitaire de l'arbre (le houppier étant négligé)

pu : prix unitaire d'un mètre cube de grumes de cet arbre

Afin de simplifier notre présentation, nous supposons que les frais de consommation ont été pris en compte dans le prix unitaire ; ainsi :

$$vc = \text{vol.} \cdot \text{pu}$$

Taux de fonctionnement annuel d'un arbre (ta)

Avertissement : Pour simplifier la présentation, nous utiliserons la symbolique mathématique de la variation, à savoir la lettre d ; ainsi $\frac{dvc}{dt}$ signifie variation (ou

⁽²⁾ Max BRUCIAMACCHIE, cours FIF

⁽³⁾ La démonstration de cette égalité est présentée en annexe

⁽⁴⁾ Max BRUCIAMACCHIE, 1991, Les différentes valeurs d'un arbre, Lettre de Prosilva N°2

accroissement) annuelle de la valeur de consommation ; de même $\frac{dVol}{dD}$ représente la variation de volume par suite de diamètre.

Ainsi, nous savons que :

$$ta = \frac{dvc}{vc.dt} = \frac{d(pu.Vol)}{pu.Vol.dt}$$

Les variations du prix unitaire et du volume unitaire étant indépendants, on peut écrire :

$$ta = \frac{dpu}{pu.dt} + \frac{dVol}{Vol.dt}$$

En multipliant par $\frac{dD}{dD}(=1)$, on obtient la relation suivante :

$$ta = \left[\frac{dpu}{pu.dD} + \frac{dVol}{Vol.dD} \right] . dD$$

Signification des différents membres de cette relation.

- $\frac{dpu}{pu.dD}$: variation relative de la courbe de prix unitaire (p.u. en fonction du diamètre).
- $\frac{dVol}{Vol.dD}$: variation relative du tarif de cubage
- $\frac{dD}{dt}$: accroissement annuel du diamètre

L'utilisation de cette relation suppose donc connus :

- la courbe des prix unitaires des bois en fonction du diamètre : $pu = f(D)$
- le tarif de cubage utilisé : $vol = f(D)$
- l'accroissement annuel en diamètre selon la catégorie de diamètre ⁽¹⁾ : $I_D = f(D)$

Cependant, les termes de la relation ci-avant sont donnés sous forme continue alors que nous ne disposons que de valeurs discrètes (en effet, le prix d'un arbre de diamètre 40 cm est connu, ou celui d'un diamètre 41 cm ne l'est pas et on lui affecte le prix d'un arbre de diamètre 40 en vertu du diamètre compensé). Aussi, les mathématiciens ont trouvé un remède à ceci :

⁽¹⁾ voir chapitre III

$$\frac{dpu}{pu \cdot dD} = \ln \left(\frac{pu_{D+5}}{pu_D} \right) \cdot \frac{1}{D+5-D}^1$$

avec pu_D , prix unitaire d'un arbre de diamètre D ; ainsi

$$\frac{dVol}{Vol \cdot dD} = \ln \left(\frac{Vol_{D+5}}{Vol_D} \right) \cdot \frac{1}{D+5-D}$$

Exemple : considérons un arbre de diamètre compensé 45 cm ; l'accroissement annuel sur le diamètre est de 0.5 cm/an ; le prix unitaire pour le diamètre 45 est de 300 F/m³ et de 400 F/m³ pour le diamètre 50 ; le tarif de cubage utilisé est le SL 9 (3)/

Calculons chacun des trois termes :

- $\frac{dvol}{pu \times dD} = \ln \left(\frac{400}{300} \right) \times \frac{1}{5} = 0.0575$
- $\frac{dvol}{pu \times dD} = \ln \left(\frac{2.125}{1.700} \right) \times \frac{1}{5} = 0.0446$
- $\frac{dD}{dt} = 0.5 \text{ cm/an}$

$$ta = (0.075 + 0.0446) \cdot 0.5 = 0.051, \text{ soit } ta = 5.1\%$$

Terme $\frac{BASI_{\text{arbre}}}{vc}$

A taux fixé, le BASI est égal à la valeur du fonds calculé, leurs formules étant identiques. Aussi, le terme $\frac{BASI_{\text{arbre}}}{vc}$ peut-il représenter le coût d'immobilisation du fonds ; le négliger retarderait la coupe de l'arbre interdisant ainsi pendant un temps aux arbres voisins et aux semis sous-jacents l'accès à un espace nécessaire à leur croissance.

La part du fonds occupée par cet arbre est liée à sa surface terrière :

$$BASI_{\text{arbre}} = \frac{g_{\text{arbre}}}{G} \cdot BASI$$

Ce BASI (pour le peuplement) sera aisément calculable si les recettes et dépenses sont régulières ; si tel n'est pas le cas, il convient alors de remplacer la valeur du BASI par une valeur du fonds qui soit la plus proche

¹ ln : logarithme népérien

(3) tarif de cubage SL x : vol = $\frac{5}{90000} \times (8+x) \times (D-5) \times D$ avec D en cm et x numéro du tarif.

possible d'un BASI supposé cohérent avec le peuplement : l'erreur induite sera insignifiante.

Exemple : soit notre arbre de diamètre 45 cm, sa valeur de consommation est de $300 \times 1.7 = 510$ F ; sa surface terrière est de 0.16 m² et il fait partie d'un peuplement dont la surface terrière est de 17.4 m²/ha ; ainsi il occupe $\frac{0,16}{17,4} = 0,9\%$ du fonds. Le taux d'actualisation est de 2%. Si l'erreur entre le BASI et la valeur du fonds proposée est de 2 000F/ha, l'erreur absolue sur le taux à comparer au taux de fonctionnement de l'arbre sera de $\frac{2000 \times 0.009}{510} \times 0.02 = 0,07\%$ erreur qui paraît faible en comparaison des 2% du taux d'actualisation.

De plus, les diamètres étant pris de façon compensée, le taux de fonctionnement d'un arbre varie de façon bien supérieure à 0.07% et le gestionnaire ne peut se tromper quant au devenir de l'arbre.

Mise en oeuvre sur un exemple : recherche du diamètre d'exploitabilité des hêtres de la parcelle 3

Les données à l'hectare de la parcelle 3 sont les suivantes :

Diam	TP	ID	Vol	PU	Prix	G	gG	Effectif
20	14	0.36	0.28	30	9	0.03	0.2%	26
25	14	0.36	0.47	50	24	0.05	0.2%	26
30	13	0.38	0.71	120	85	0.07	0.4%	24
35	13	0.38	0.99	200	198	0.10	0.5%	24
40	13	0.38	1.32	280	370	0.13	0.6%	24
45	10	0.50	1.70	370	629	0.16	0.8%	18
50	10	0.50	2.13	420	893	0.20	1.0%	18
55	10	0.50	2.60	460	1195	0.24	1.2%	18
60	11	0.45	3.12	490	1527	0.28	1.4%	0
65	12	0.42	3.68	520	1915	0.33	1.7%	0
70	13	0.38	4.30	550	2363	0.38	1.9%	0
75	14	0.36	4.96	580	2876	0.44	2.2%	0
80	15	0.33	5.67	600	3400	0.50	2.5%	0
85	16	0.31	6.42	600	3853	0.57	2.8%	0

Tableau V-8 : Données de la parcelle 3

avec TP : le temps de passage dans une catégorie de diamètre (1)

$$\text{ID : l'accroissement sur le diamètre calculé par } \text{ID} = \frac{5}{\text{TP}}$$

$\frac{g}{G}$: le rapport entre la surface terrière de l'arbre et celle du peuplement.

Ainsi, on peut calculer le taux de fonctionnement d'un arbre :

⁽¹⁾ voir chapitre IV

$$ta = \frac{ID}{5} \times \left(\ln \left(\frac{vol_{D+5}}{vol_D} \right) + \ln \left(\frac{pu_{D+5}}{pu_D} \right) \right)$$

et le deuxième terme de la relation :

$$seuilD = r \times \left(1 + \frac{F^8/G}{Prix_D} \right)$$

Les résultats sont les suivants ; pour un taux $r = 2\%$

Diam	taux fonct.	relation	seuil
20	7.30%	>	3.85%
25	9.15%	>	3.04%
30	6.52%	>	2.42%
35	4.80%	>	2.24%
40	4.08%	>	2.17%
45	3.50%	>	2.13%
50	2.92%	>	2.11%
55	2.46%	>	2.10%
60	2.06%	<	2.09%
65	1.75%	<	2.09%
70	1.51%	<	2.08%
75	1.20%	<	2.08%
80	0.83%	<	2.07%
85			

Tableau V-9 :

Résultats du critère du BASI : seuil de rentabilité et taux de fonctionnement d'un arbre (ta) selon son diamètre.

Ainsi le taux de fonctionnement de l'arbre est supérieur au seuil jusqu'au diamètre 55, puis il est inférieur à partir du diamètre 60, ce qui signifie que l'arbre devra être coupé si son diamètre est supérieur ou égal à 60 cm. Ce résultat peut être visualisé sous forme graphique.

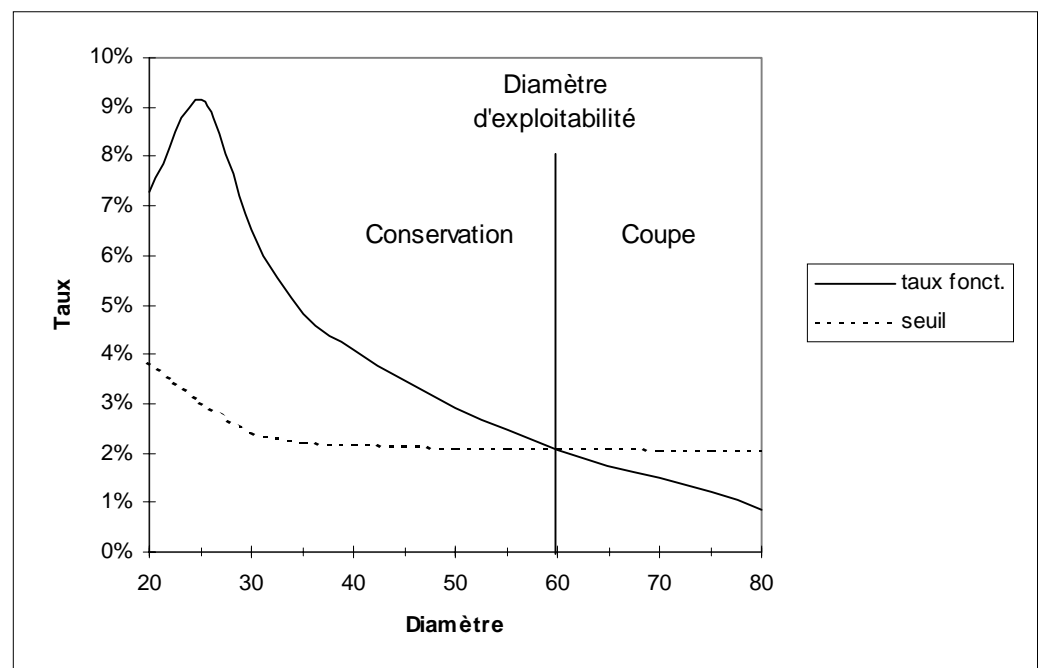


Figure V-6 : Résultats du critère du BASI : seuil de rentabilité et taux de fonctionnement d'un arbre selon son diamètre.

En outre, il est possible de calculer le gain (ou la perte) annuelle induit par la conservation de l'arbre sur pied (ou sa coupe prématurée ou tardive). En effet, il est nécessaire de couper l'arbre lorsque :

$$\frac{dvc}{vc} = r \cdot \left(1 + \frac{BASI_{arbre}}{vc} \right)$$

ou encore :

$$\frac{dvc}{r} - (vc + BASI_{arbre}) = 0$$

Le gain est alors nul.

Si l'arbre est conservé plus longtemps, ce gain devient négatif, le différer de la coupe induit un sacrifice d'exploitabilité ; d'autre part, si l'arbre est coupé prématurément, il privera le propriétaire d'un gain positif.

Illustrons ces propos sur notre exemple de la parcelle 3 :

Diam	taux fonct.	relation	seuil	destin de l'arbre	gain de conservatio n
20	7.30%	>	3.85%	conservé	15
25	9.15%	>	3.04%	conservé	72
30	6.52%	>	2.42%	conservé	174
35	4.80%	>	2.24%	conservé	254
40	4.08%	>	2.17%	conservé	353
45	3.50%	>	2.13%	conservé	432
50	2.92%	>	2.11%	conservé	360
55	2.46%	>	2.10%	conservé	212
60	2.06%	<	2.09%	coupé	-26
65	1.75%	<	2.09%	coupé	-320
70	1.51%	<	2.08%	coupé	-676
75	1.20%	<	2.08%	coupé	-1267
80	0.83%	<	2.07%	coupé	-2107
85					

Tableau V-10 : Gain ou perte attendu en fonction du diamètre si un arbre est laissé sur pied.

ainsi, un arbre de diamètre 40 représente un gain attendu de 353 F si on suppose qu'il sera coupé au diamètre 60 ; de même un arbre de diamètre 70 a induit une perte de 676 F par rapport à sa rentabilité qui aurait voulu qu'il soit coupé au diamètre 60.

V.5. Coût d'une révolution différente de la révolution optimale

Il peut arriver que le gestionnaire décide que la récolte à un âge différent que l'âge d'exploitabilité maximal proposé par la maximisation d'un critère de rentabilité. La récolte peut être anticipée du fait d'un besoin de trésorerie du propriétaire ; à contrario, cette récolte peut être reculée par le soucis de

conserver ce peuplement sur pied plus longtemps. Dans les deux cas, la récolte à un âge différent de l'optimum induit un sacrifice d'exploitabilité.

Dans le cas d'une récolte anticipée qui serait occasionnelle et donc non liée à une volonté de gestion à long terme (accident non reconduit les révolutions futures), ce sacrifice d'exploitabilité est égal à la perte d'avenir du peuplement ⁽¹⁾.

A contrario, si cette récolte, anticipée ou retardée, est une décision de gestion résultant d'un choix pour le long terme, le coût de cette gestion peut être calculée par la différence entre le BASI maximum, auquel correspond l'âge d'exploitabilité optimal, et le BASI correspondant à l'âge auquel les bois seront réellement exploités, c'est à dire la diminution de la valeur du fonds due à cette gestion différente de l'optimum de rentabilité.

Exemple de la parcelle 1

Supposons que pour des raisons de protection du bassin versant, M. Dubois se voit obligé par un arrêté de différer la coupe rase de la parcelle 1 à l'âge du peuplement pour lequel le volume total est maximal (139 ans) alors que le maximum du BASI proposait un âge d'exploitabilité optimal de 125 ans ⁽¹⁾, pour un taux d'actualisation $r = 1.5\%$.

	Age d'exploitabilité	Valeur du BASI
Gestion au BASI _{max}	125 ans	20 529 F/ha
Gestion au VT _{max}	139 ans	18 310 F/ha

Tableau V-11 : Résultat de l'allongement de la durée de révolution

Le coût de l'allongement de la révolution est de $20\,529 - 18\,310 = 2\,219$ F/ha

Ce coût s'étendant à l'infini, le coût annuel de ce changement de gestion est de $2\,219 \times r = 2\,219 \times 0.015 = 33$ F/ha/an.

Ainsi, si on suppose le propriétaire en droit de demander une indemnité compensatrice, celle-ci devra être de :

- soit 2 219 F/ha en un seul versement,
- soit d'une rente annuelle de 33 F/ha/an.

V.6. Les erreurs à ne pas commettre

La première source d'erreur que l'on peut citer est le choix d'un critère de gestion qui ne soit pas adapté à l'objectif du propriétaire : si le BASI semble être le mieux adapté à la recherche de la rentabilité maximale, l'utiliser pour une forêt de protection exposerait le propriétaire à certaines déconvenues.

⁽¹⁾ voir chapitre I

⁽¹⁾ voir paragraphe V.2

Lors de la publication du critère de volume moyen (VM) par Duhamel du Monceau en 1764, celui-ci a été mal interprété. En effet, Duhamel du Monceau préconisait à l'époque de récolter les taillis au maximum du revenu moyen annuel, qui, en termes purement physiques, serait le maximum d'accroissement moyen annuel sur le volume. Il semble cependant que ses contemporains n'aient pas complètement saisi sa théorie ; ainsi Buffon déclare que « *cet âge [d'exploitabilité] est celui où l'accroissement [courant] du bois commencera à diminuer* », auquel Tèllès d'Accosta fait écho en 1780 : « *Il serait souhaitable qu'on suivît un principe pour la coupe annuelle des taillis, qui est de ne les couper qu'à l'âge où l'accroissement commence à diminuer, parce que dans les premières années, le bois croît de plus en plus, c'est à dire que la production de la seconde année est plus considérable que celle de la première et ainsi de suite jusqu'à un certain âge, après quoi il diminue ; c'est ce point du maximum qu'il faut saisir ...* ».

Ces deux auteurs semblent avoir eu quelques difficultés à distinguer accroissement annuel et accroissement courant. Dans ces conditions, on comprend qu'il ait semblé nécessaire à Varenne de F. de faire une mise au point : « *Continuez chaque année les mesurages jusqu'à ce que le calcul prouve qu'il n'y a plus de différence entre le dernier accroissement [courant] et l'accroissement moyen, pris sur toutes les années précédentes* ».

Ainsi l'accroissement moyen en volume (VM) d'un peuplement équienne culmine lorsqu'il est égal à l'accroissement courant ce qui se représente aujourd'hui graphiquement de la façon suivante :

L'emploi des critères de rentabilité est intimement lié à l'estimation de la valeur des forêts ; aussi, face à un peuplement à estimer, dont l'âge a dépassé l'optimum d'exploitabilité, la valeur à retirer est la valeur de consommation car utiliser la valeur d'avenir (qui serait donc inférieure) reviendrait à sous-estimer la valeur du peuplement. En effet, si la perte d'avenir est positive avant l'optimum et nulle à l'optimum, elle est négative après cet âge optimum.