

## Extrapolation de quelques règles forestières empiriques

RB Chevrou

*Inventaire forestier national, Antenne recherches et Cellule ressources, place des Arcades,  
BP 1, Maurin, 34970 Lattes, France*

(Reçu le 5 décembre 1988; accepté le 26 juin 1989)

**Résumé** — On rappelle, avec les démonstrations, 3 relations forestières empiriques établies pour les peuplements de futaie régulière équilibrée, pour lesquels la surface  $s(x)$  de la classe d'âge  $x$  est une constante  $s$  indépendante de l'âge  $x$ . On suppose que le volume moyen par hectare d'un peuplement d'âge  $x$  est proportionnel à l'âge  $x$ . 1<sup>re</sup> relation: règle des 5/3: volume des vieux bois / volume des bois d'âge moyen = 5/3. 2<sup>e</sup> relation: relation structurelle à l'équilibre:  $2 VT = AE DV (1-e)$ , où  $VT$  = volume total sur pied;  $AE$  = âge maximum ou âge d'exploitabilité;  $DV$  = accroissement total;  $e$  = taux d'éclaircie moyen = volume total prélevé en éclaircie divisé par  $DV$ . 3<sup>e</sup> relation: relation d'évolution du volume sur pied:

$$\frac{VT(t)}{VT} = \left[ 1 - \frac{t}{AE'} \right]^2 + \frac{t}{AE} \left[ 2 - \frac{t}{AE'} \right]$$

où  $AE'$  = nouvel âge d'exploitabilité;  $VT(t)$  = volume sur pied à la fin d'une période de durée  $t < AE'$ . Cette 3<sup>e</sup> relation exprime l'évolution du volume sur pied  $VT(t)$  avec le temps  $t$ , lorsqu'ayant donné à l'âge d'exploitabilité une nouvelle valeur  $AE'$ , on cherche à obtenir le nouvel état d'équilibre en une durée minimum égale à  $AE'$ , sans changer  $e$ . Des exemples d'application en sont donnés pour l'estimation des divers paramètres de ces relations et pour le calcul des coupes futures présumées.

**relation à l'équilibre / volume total sur pied / accroissement / taux d'éclaircie / âge d'exploitabilité**

**Summary – Extrapolation of some empirical forest management rules.** *Three empirical relationships are recalled and established, when applied to balanced forest regular stands, for which the area  $s(x)$  of the age class  $x$  has a constant value  $s$ . The volume per hectare of stands of age  $x$  is assumed to be proportional to the age  $x$ . 1st relationship = old stand volume / mean age stand volume = 5/3. 2nd relationship: balanced stand structural relationship:  $2 VT = AE DV (1-e)$ , where  $VT$  = total standing volume;  $AE$  = maximum age or exploitable age;  $DV$  = total volume growth;  $e$  = clearing proportion = clearing /  $DV$ . 3rd relationship: standing volume evolution relationship:*

$$\frac{VT(t)}{VT} = \left[ 1 - \frac{t}{AE'} \right]^2 + \frac{t}{AE} \left[ 2 - \frac{t}{AE'} \right]$$

where  $AE'$  = new maximum age;  $VT(t)$  = Total standing volume after  $t$  years ( $t < AE'$ ). This last relationship expresses the standing volume evolution  $VT(t)$  with time  $t$  when, a new value  $AE'$  being

*given to maximum age, the new balanced state of the stands can be reached in the shortest period of time equal to AE', with e remaining unchanged. Examples are given for estimations of the parameters used in these relationships, and to estimate future cut.*

**relationship for balanced stands / total standing volume / growth / thinning ratio / exploitable age**

## PRÉSENTATION

On se propose de rappeler ou établir, puis utiliser les relations globales existant, en futaie régulière équilibrée, entre la structure des volumes observés par grandes classes d'âges et les accroissements moyens qui ont conduit à cette structure.

Une première structure est celle des surfaces  $s(x)$  occupées par les peuplements des différents âges  $x$ , limités par une valeur maximum AE, par exemple l'âge d'exploitabilité fixé par l'aménagiste. La structure des surfaces est dite équilibrée lorsque les surfaces  $s(x)$  sont toutes égales à une même valeur  $s = S / AE$ ,  $S$  étant la surface totale occupée par l'ensemble des peuplements. Si les âges sont exprimés en classes d'âges de même largeur  $n$  années,  $s = S / (nAE)$ .

Une seconde structure est celle des volumes moyens par hectare,  $v(x)$ , des peuplements d'âges  $x$ . Le volume  $v(x)$  est la somme des productions annuelles par hectare (accroissement courant + recrutement) diminuées des prélèvements annuels par hectare (coupes d'éclaircie + mortalité) depuis l'âge 0 jusqu'à l'âge  $x$ . A l'âge  $x$ , le prélèvement annuel par hectare est  $c(x)$ , qu'il est commode de rapporter à la production annuelle par hectare,  $i(x)$ , au même âge  $x$ , ce qui définit un taux d'éclaircie  $e(x)$  à l'âge  $x$ :  $e(x) = c(x) / i(x)$ .

Les valeurs  $v(x)$  des volumes par hectare traduisent donc à la fois la production cumulée, ou une production moyenne, entre les âges 0 et  $x$ , et l'intensité moyenne des éclaircies sur la même période, donc des moyennes sur le moyen ou le

long terme pour les âges  $x$  supérieurs à 20 ans.

La conservation dans le temps de la structure des volumes  $v(x)$  suppose celle des intensités des éclaircies  $e(x)$  si la structure des productions  $i(x)$  reste stable, ou encore une adaptation de la structure des intensités des éclaircies aux fluctuations des productions. En pratique, la structure des volumes semble représenter celles des productions moyennes et des éclaircies sur le long terme, les productions annuelles  $i(x)$  pouvant fluctuer considérablement sur le court terme, notamment avec les conditions climatiques (Becker, 1987; Le Roy Ladurie, 1983).

Si AE, l'âge maximum, est l'âge auquel on procède à la dernière coupe, ou coupe définitive, le volume prélevé par hectare en coupe définitive est alors  $v(AE)$ . On peut noter ici que les données de l'inventaire forestier national aussi bien que certaines tables de production (Vannière, 1984) montrent que le volume  $v(AE)$  a souvent une valeur proche de la moitié de la production cumulée par hectare à l'âge AE. Il ne faut pas y voir une règle absolue, mais seulement un guide approximatif lorsque des données plus précises manquent.

Sur le long terme, qui permet d'annuler les fluctuations temporelles de la production et de l'intensité des éclaircies, de l'équilibre de la structure des surfaces et de la conservation de la structure des volumes par hectare, découle l'égalité entre la valeur moyenne de la production totale annuelle cumulée par hectare et celle du prélèvement total annuel (éclair-

cies + coupes définitives + mortalité naturelle).

Inversement, fixer la valeur moyenne du prélèvement total annuel et sa forme, par le choix des valeurs  $e(x)$  des taux d'éclaircie et, au moins implicitement, celui de la valeur AE de l'âge d'exploitabilité, conduit à obtenir, approximativement et globalement, l'équilibre des peuplements.

Le point important se trouve dans l'interdépendance entre des données biologiques (volumes et production) et des données humaines (décisions de l'aménagiste: âge d'exploitabilité, taux d'éclaircie) que l'on peut traduire par des relations de nature structurelle. Trois relations globales de ce type seront rappelées ou établies pour les peuplements équilibrés, ainsi que l'influence de déséquilibres sur ces résultats, puis leur utilisation sera illustrée par un exemple. Certaines de ces relations servent de base au calcul des disponibilités forestières pour un ensemble de massifs forestiers: ce sont les produits que l'on pourrait prélever annuellement sous certaines conditions sylvicoles et économiques, les unes ou les autres de ces conditions pouvant être privilégiées selon l'objectif visé (Chevrou *et al*, 1988).

La fiabilité des résultats d'un tel calcul dépend sans doute de l'état des peuplements concernés et de leur écart par rapport à «l'équilibre». Il est permis de penser que, en France et pour les produits issus de futaies, le marché a joué depuis suffisamment longtemps pour qu'un état d'équilibre puisse être présumé, au moins globalement. Ce n'est évidemment pas toujours le cas.

Certains déséquilibres découlent de ce que le marché n'a pas pu jouer sur le très long terme, des événements dont les effets ont été considérables étant survenus à une époque récente: création de nouveaux peuplements: reboisements FFN, colonisation naturelle; accidents, extension: exemple du massif landais; transformation avec accumulation du capi-

tal: conversion des TSF; évolution avec décapitalisation: surexploitation, dépérissement; évolution des techniques forestières: sylviculture, génétique.

Chevrou (1990) montre que les effectifs, et par conséquent les volumes et les accroissements, des arbres de même âge en futaie irrégulière équilibrée pourraient s'apparenter à ceux observés en futaie régulière équilibrée. Par suite, les résultats établis pour les futaies régulières sembleraient pouvoir être extrapolés au cas des futaies irrégulières. Pour l'illustrer, nombre des résultats présentés ci-après concerneront l'ensemble des arbres des futaies régulières et irrégulières, y compris les réserves feuillues des taillis-sous-futaie (tableau I) (voir pp. 00 et 00).

## HYPOTHÈSES

Soit une surface S contenant des peuplements réguliers, équiennes et monospécifiques, situés sur un seul et même type de station et de même fertilité. L'âge maximum, qui peut être ou non un âge d'exploitabilité, noté AE, est d'abord supposé unique. On suppose que la surface  $s(x)$  des peuplements ayant l'âge  $x$  est indépendante de  $x$ , et égale à  $s = S / AE$  pour toute valeur de  $x$ . On étudiera ultérieurement ce qui se produit lorsque cette hypothèse n'est pas vérifiée.

Le volume moyen par hectare,  $v(x)$ , des peuplements d'âge  $x$ , est l'intégration, entre l'âge 0 et l'âge  $x$  du produit  $i(y)[1 - e(y)]$ , c'est-à-dire la somme, pour les années  $y=0$  à  $y=x$ , des productions courantes,  $i(y)$ , diminuées des prélèvements,  $c(y) = e(y) i(y)$ .

On note:

- VT, le volume total sur pied, somme des  $s(x) v(x)$ ;
- DV, la production totale, somme des  $s(x) i(x)$ ;
- C, la coupe d'éclaircie totale, y compris la mortalité, somme des  $s(x) c(x)$ ;

– e, une certaine moyenne des taux  $e(x)$ .  
Voir ci-après.

Il vient alors:

$$v(x) = x DV (1-e) / S$$

(traduction de l'hypothèse H1) (2)

$$\text{et: } s(x) v(x) = x DV (1-e) / AE \quad (3)$$

**Hypothèse H1**

Le volume  $v(x)$  à l'âge  $x$  est proportionnel à l'âge  $x$ . L'hypothèse de base retenue ici est une règle fort ancienne, souvent utilisée: note de 1883, qui établit la règle des 5/3, reprise dans le *Manuel d'aménagement* de l'ONF (1970). Elle semble convenir pour établir des résultats globaux, bien qu'elle soit très approximative dans le détail (Assmann, 1970; Vannière, 1984). Elle se traduit par ce que d'aucuns nomment le triangle de de Liocourt, ou triangle de PD Kemp (US Forest Service, 1958) (Fig. 1).

Il en découle directement que la production par hectare  $i(x)$  à l'âge  $x$  diminuée du prélèvement par hectare  $c(x)$  à cet âge doit être constante donc le produit  $i(x) [1-e(x)]$  constant, et par suite il doit être égal à sa valeur moyenne pour l'ensemble des peuplements, soit  $DV (1-e) / S$ :

$$i(x) [1-e(x)] = DV (1-e) / S \quad (1)$$

**Hypothèse H2**

On supposera ultérieurement que le terme  $DV (1-e) / S$  a une valeur indépendante de l'âge maximum  $AE$ , c'est-à-dire que reste constant, quand  $AE$  varie, le coefficient de proportionnalité entre le volume  $v(x)$  et l'âge  $x$ , donc le rapport  $v(x) / x$ ;

**PREMIÈRE RELATION: RÈGLE DES 5/3**

Soient:

- $V (PB)$ , le volume des jeunes bois (PB), d'âge inférieur à  $AE/3$ ;
- $V (BM)$ , celui des bois d'âge moyen (BM), d'âges  $AE/3$  à  $2AE/3$ ;
- $V (GB)$ , celui des vieux bois (GB), d'âge supérieur à  $2AE/3$ .

Alors, on peut montrer, soit par le calcul, soit graphiquement (Fig. 1), que:

$$\frac{V(GB)}{V(BM)} = \frac{5}{3} \quad (4)$$

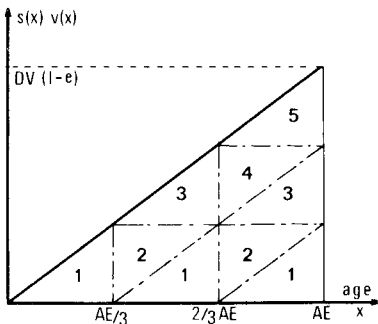


Fig. 1. Triangle de de Liocourt. Surface:  $s(x) = s = S / AE$ ; volume:  $s(x) v(x) = x DV (1-e) / AE$ ; VT = surface du triangle =  $1/2 AE DV (1-e)$ ; d'où:  $2 VT = AE DV (1-e)$ .

Cette première relation, dite règle des 5/3, établie dans la note de 1883, a longtemps été utilisée (ONF, 1970); elle est très sensible aux écarts entre l'état réel des peuplements et celui défini par les hypothèses du § 2 (voir p. 00). Cette relation n'est pas valide pour les volumes totalisés par catégories de dimensions: petits bois, bois moyens, gros bois; car la courbe représentative du volume en fonction de la catégorie de diamètre a une forme en cloche très éloignée de celle du triangle de de Liocourt (Chevrou, 1990).

## DEUXIÈME RELATION: RELATION STRUCTURELLE À L'ÉQUILIBRE

Sous les conditions de l'hypothèse H1, on peut montrer, soit par le calcul, soit graphiquement (Fig. 1), que le volume total VT, la production totale DV, le taux moyen des prélèvements en éclaircie e et l'âge maximum AE sont liés par une relation déduite de l'intégration des volumes sur pied de tous âges:

$$2 * VT = AE * DV * (1-e) \quad (5)$$

Cette relation structurelle montre et traduit l'interdépendance existant, à l'équilibre, entre les variables biologiques globales VT et DV, et les variables «humaines» globales e et AE. Elle permet d'estimer l'une de ces variables qui serait mal déterminée ou inconnue: c'est le cas pour AE, DV ou e, lorsque les données proviennent d'un inventaire forestier, pour DV, lorsque les données proviennent d'un aménagement. La relation doit alors être réécrite pour obtenir AE = , ou DV = , ou e = .

Elle permet aussi de vérifier la cohérence de l'ensemble des variables concernées, voire de juger l'état d'équilibre des peuplements. Si e est de l'ordre de 50% (voir p. 00), il vient:

$$4 * VT = AE * DV \quad (6)$$

La relation (5) est valable dans tous les cas où les peuplements ne sont pas trop déséquilibrés. (voir p. 00).

*Remarques.* Noter qu'ici AE est l'âge maximum des peuplements, s(x) étant constant et égal à S/AE. Ainsi, pour les boisements FFN effectués après 1945, la relation donne une valeur de AE de l'ordre de 30 à 40 ans. Diverses données IFN, et les sources extérieures à l'IFN, permettent souvent d'avoir une idée assez précise des divers éléments de la relation, c'est-à-

dire VT, DV, AE et e, et de l'état global d'équilibre éventuel des peuplements concernés.

La relation (5) permet de déterminer l'un des éléments de la relation, s'il est inconnu ou imprécis, ou de vérifier leur cohérence. Si, par exemple, l'estimation DV déduite d'un inventaire se trouve être affectée par les conditions climatiques ayant prévalu pendant la période de référence, on trouve alors une valeur de AE anormalement grande ou petite. Si, dans la relation ci-dessus, on remplace cette valeur AE par la valeur présumée correcte, on peut obtenir une estimation «corrigée» de DV, voire du taux moyen de prélèvement e.

Le tableau I, donne pour quelques départements et quelques essences, la valeur AE calculée par la relation (6). On y remarque les effets signalés plus haut: valeurs faibles de AE pour certaines essences introduites récemment hors de leur zone naturelle; valeurs anormalement fortes de AE lorsque l'année 1976, caractérisée par une forte sécheresse dans certaines régions, est comprise dans la période de 5 ans précédant le passage de l'inventaire forestier.

Les différences observées entre les forêts domaniales et communales d'une part, les autres forêts de l'autre, ne traduisent rien de plus que les choix des divers aménagistes (valeurs de AE) ou des gestionnaires (valeurs de e).

## TROISIÈME RELATION: RELATION D'ÉVOLUTION DU VOLUME SUR PIED

On décide de changer l'âge d'exploitabilité AE de peuplements à l'origine équilibrés et de le fixer à la nouvelle valeur AE' différente de AE, le coefficient de proportionnalité entre le volume v(x) et l'âge x étant inchangé selon hypothèse H2 de la p. 00.

Rappel de l'hypothèse H2: on suppose constant le terme DV (1-e) / S, c'est-à-dire

**Tableau I.** Estimation de l'âge d'exploitabilité moyen d'une essence dans un département par la relation structurelle à l'équilibre, avec  $e = 50\%$ .  $AE = 4 VT / DV$ . (6). Arbres de futaie et réserves de taillis-sous-futaie. Données (VT, DV) prises dans les tableaux 10 et 11 du tome I des publications IFN. D = forêt domaniale; C = forêt communale; P = forêt privée.

DEPARTEMENT (année d'inventaire)	CHENE PEDONCULE			CHENE ROUVRE			HETRE			PIN MARITIME			PIN SYLVESTRE			SAPIN PECTINE			EPICEA COMMUN			
	D	C	P	D	C	P	D	C	P	D	C	P	D	C	P	D	C	P	D	C	P	
AIN (1983)	-	-	-->	148	131	126	117	105	122	-	-	-	-	108	87	184	159	122	103	128	81	
ALLIER (1978)	289	-	184	233	246	163	207	-	186	-	-	104	161	-	87	-	-	115	-	-	58	
ARDENNES (1978)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	138	119	-	-	-->	92	86	66
AUBE (1983)	234	235	167	233	202	165	134	121	99	-	-	-	104	98	89	-	-	-	-	-	46	
AUDE (1978)	-	-	136	-	-	119	219	197	189	-	-	59	105	87	74	215	174	179	167	-	26	
DOUBS (1982)	-	248	154	-	230	149	135	130	131	-	-	-	-	142	101	150	152	123	135	128	97	
ILLE et VILAINE (1980)	242	-	181	155	-	229	227	-	146	97	-	79	123	-	120	-	-	125	-	-	-	
INDRE et LOIRE (1976)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	94	47	71	197	-	123	-	-	-	-	-	-	
ISERE (1984)	-	-	99	-	121	119	138	113	109	-	-	-	139	168	107	163	140	134	182	131	95	
JURA (1980)	269	253	183	223	226	202	140	153	168	-	-	-	103	121	77	136	134	144	131	138	101	
LANDES (1978)	-	233	137	-	-	-	-	-	-	62	57	59	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
LOIR et CHER (1982)	168	-	177	195	-	167	130	-	-	-	-	72	114	-	68	-	-	-	-	-	-	
LOIRE (1981)	-	-	125	-	104	134	-	-	116	-	-	-	-	122	101	-	130	105	-	93	60	
HAUTE-LOIRE (1979)	-	-	140	-	-	167	-	126	156	-	-	-	171	113	106	103	109	103	134	54	56	
LOIRE-ATLANTIQUE (1984)	177	-	146	233	-	145	140	-	143	45	-	79	114	-	114	-	-	-	-	-	-	
LOIRET (1979)	293	-	210	208	-	203	138	-	-	-	-	54	154	-	95	-	-	-	-	-	-	
LOZERE (1979)	-	-	-	-	-	171	226	191	144	72	-	62	104	111	84	104	-	77	92	108	62	
MAINE-et-LOIRE (1983)	216	-	154	209	-	176	155	-	-	34	39	63	58	-	90	-	-	-	-	-	-	
MARNE (1977)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	185	91	-	-	-	90	-	46	
MAYENNE (1983)	-	-	143	201	-	176	-	-	122	75	-	86	-	-	81	-	-	-	-	-	32	
MEURTHE-et-MOSELLE(1979)	317	316	240	285	305	268	157	190	170	-	-	-	144	236	109	232	206	171	132	73	75	
MEUSE (1980)	299	298	239	279	332	264	157	190	153	-	-	-	169	145	84	-	-	-	103	91	71	
MOSELLE (1982)	-	-	-->	258	329	236	139	164	134	-	-	-	161	131	138	179	144	153	104	48	75	
OISE (1976)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	104	143	109	-	-	-	95	-	-	
BAS-RHIN (1979)	204	239	206	227	220	199	154	153	166	-	-	-	173	210	147	309	317	246	145	124	94	
HAUT-RHIN (1978)	250	221	290	238	217	200	211	178	176	-	-	-	145	175	159	182	175	162	137	93	92	
HAUTE-SAONE (1984)	194	270	176	184	221	155	134	128	118	-	-	-	95	96	162	74	95	71	62	51		
SAONE-ET-LOIRE (1979)	293	194	201	260	146	182	187	175	134	-	-	-	113	67	121	150	45	88	97	-	54	
SARTHE (1984)	163	-	149	181	144	140	159	-	122	75	84	64	111	-	95	92	-	-	-	-	-	
SAVOIE (1975)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	180	222	156	143	229	154	
HAUTE-SAVOIE (1976)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	196	221	241	187	158	197	233	161	-	
SEINE-et-MARNE (1978)	296	343	247	363	-	252	181	-	-	-	-	-	137	-	119	-	-	-	-	-	-	
HAUTE-VIENNE (1981)	-	-	152	-	-	172	-	-	102	-	-	-	-	-	65	-	-	57	-	-	43	
VOSGES (1981)	-	-	-->	296	347	225	207	199	162	-	-	-	356	309	142	269	214	160	165	133	71	

que le coefficient de proportionnalité entre le volume  $v(x)$  et l'âge  $x$ , donc le rapport  $v(x) / x$ , est indépendant de l'âge maximum  $AE$ .

On prélève annuellement, en coupe rase dans les peuplements les plus âgés, une surface  $s' = S / AE'$ , ce qui conduit au nouvel état d'équilibre en une durée minimale égale à  $AE'$ .

Après une période de  $t$  années, le volume total sur pied est  $VT(t)$ .

Pour obtenir l'expression de  $VT(t)$  en fonction de  $t$ , on divise les peuplements en 2 blocs, et, compte tenu de l'hypothèse H2, on obtient successivement:

– un premier bloc formé de peuplements équilibrés:

• de surface  $s_1(x) = s$  pour l'âge  $x$ ,

- de surface totale  $S1 = S + t(s-s')$ ,
- et d'âge maximum  $AE1 = [S+t(s-s')] / s$ ,

où le volume à l'âge  $x$  est  $v1(x) = x DV1 (1-e1) / S1$ , donc, selon H2,  $v1(x) = x DV (1-e) / S$ ,

et de volume total égal, selon la 2<sup>e</sup> relation (5), à:

$$VT1 = (AE1/2) DV1 (1-e1) = (AE1/2) DV (1-e) S1/S;$$

– un deuxième bloc formé de peuplements équilibrés:

- de surface  $s2(x) = (s'-s)$ , positif ou négatif, pour l'âge  $x$

• de surface totale  $S2 = t(s'-s)$ ,

• d'âge maximum  $AE2 = t$ ,

où le volume à l'âge  $x$  est  $v2(x) = x DV2 (1-e2) / S2$ , donc, selon H2,  $v2(x) = x DV (1-e) / S$ ,

et de volume total égal, selon (5), à:

$$VT2 = (AE2/2) DV2 (1-e2) = (AE2/2) DV (1-e) S2/S.$$

On a alors: volume total =  $VT(t) = VT1 + VT2$ , et, en utilisant les relations  $AE = S/s$  et  $AE' = S/s'$  dans  $VT1$  et  $VT2$ , il vient (Fig. 2):

$$\frac{VT(t)}{VT} = \left[1 - \frac{t}{AE'}\right]^2 + \frac{t}{AE} \left[2 - \frac{t}{AE'}\right];$$

$t \in [0, AE'] \quad (7)$

Le rythme annuel de capitalisation ou de décapitalisation du volume sur pied est plus rapide en début de période; et pendant une durée de l'ordre de  $AE'/4$ , il est de l'ordre de:

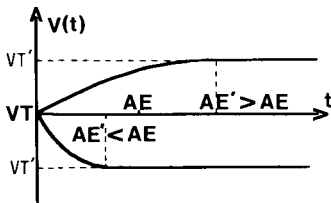


Fig. 2. Changement de l'âge d'exploitabilité: évolution du volume sur pied  $V(t)$  avec le temps  $t$ ;  $AE' > AE$ : Capitalisation du volume;  $AE' < AE$ : Décapitalisation du volume.

$$(1 - e) \left[1 - \frac{AE}{AE'}\right] DV \quad (8)$$

Le prélèvement total annuel (éclaircies + coupes définitives), égal à  $DV$  à l'origine ainsi qu'à long terme, est modifié au cours de la période, et plus particulièrement en début de période (pendant 20 ans environ ou plus si  $AE'$  est au moins égal à 80 ans) dans une proportion de:

$$100(1 - e) \left[\frac{AE}{AE'} - 1\right] \% \quad (9)$$

### SENSIBILITÉ DES RELATIONS À UN DÉSÉQUILIBRE

Soit un premier ensemble, supposé équilibré; soient  $S$  la surface totale,  $VT$  le volume total,  $DV$  la production totale et  $e$  le taux d'éclaircie moyen à l'âge d'exploitabilité, et maximum,  $AEo$ .

Il vient alors:

- pour les surfaces:  $S(PB) = S/3$ ;  $S(BM) = S/3$ ; et  $S(GB) = S/3$ ;
- pour les volumes:  $V(PB) = VT/9$ ;  $V(BM) = VT/3$ ; et  $V(GB) = 5 VT/9$ ;
- par suite:  $V(GB) / V(BM) = 5/3$ ;
- et:  $AEo = 2 VT / [DV (1-e)]$ .

Soit un deuxième ensemble, supposé déséquilibré, de même surface totale  $S$ , et de même production totale  $DV$ , ce qui suppose que l'âge moyen d'exploitabilité  $AE$  n'y soit pas trop différent de  $AEo$ , et de même taux d'éclaircie moyen  $e$ ; les paramètres  $\alpha$  et  $\beta$  expriment globalement le déséquilibre sous la forme suivante:

- $S(PB) = (S/3) (1+\alpha)$ ;  $S(BM) = (S/3) (1+\beta)$ ;  $S(GB) = (S/3) (1-\alpha-\beta)$ ;
- $V(PB) = (VT/9) (1+\alpha)$ ;  $V(BM) = (VT/3) (1+\beta)$ ;  $V(GB) = (5VT/9) (1-\alpha-\beta)$ ;
- par suite:  $R = V(GB) / V(BM) = (5/3) [(1-\alpha-\beta)/(1+\beta)]$ ;
- et: volume total =  $VT (1 - 4\alpha/9 - 2\beta/9)$ ;
- d'où:  $Q = AE/AEo = 1 - (4\alpha/9) - (2\beta/9)$ .

Les variations de  $R$  et de  $Q$  en fonction de  $\alpha$  et de  $\beta$  montrent la sensibilité des 3

relations établies plus haut au déséquilibre éventuel des peuplements concernés. Ces variations sont traduites graphiquement sur les figures 3 et 4. Les figures 3 et 4 mettent en relief les valeurs de  $\alpha$  et de  $\beta$  égales à +25% et à -25%, qui expriment déjà un fort déséquilibre.

Exemple numérique:  $S = 3\ 000$  ha et  $AE_0 = 100$  ans.

- Pour  $\alpha = 25\%$  et  $\beta = 25\%$ :  $S(PB) = 1\ 250$  ha;  $S(BM) = 1\ 250$  ha;  $S(GB) = 500$  ha; le rapport  $V(GB) / V(BM)$  est alors égal à  $2/3$ , soit inférieur de 60% à la valeur «normale»  $5/3$ , et l'estimation  $AE = 83$  ans ne diffère de  $AE_0 = 100$  ans que de -17%.

- Pour  $\alpha = -25\%$  et  $\beta = -25\%$ :  $S(PB) = 750$  ha;  $S(BM) = 750$  ha;  $S(GB) = 1500$  ha; le rapport  $V(GB) / V(BM)$  est alors égal à  $10/3$ , soit le double de la valeur «normale»  $5/3$ , et  $AE = 117$  ans ne diffère de  $AE_0 = 100$  que de +17%.

On pourrait montrer, de façon similaire, que l'approximation faite par l'hypothèse H1 touche plus la règle des 5/3 que les 2

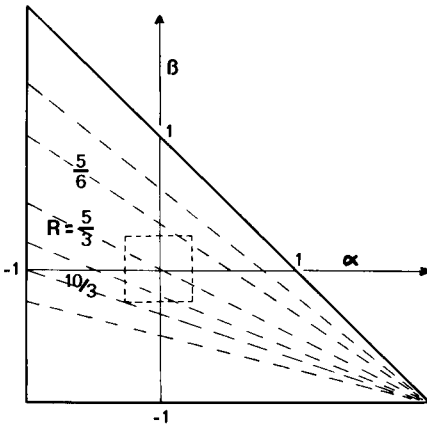


Fig. 3. Sensibilité de la règle des 5/3 à un déséquilibre.  $\alpha$  et  $\beta$  expriment le déséquilibre;  $S(PB) = (S/3)(1+\alpha)$ ;  $S(BM) = (S/3)(1+\beta)$ ;  $S(GB) = (S/3)(1-\alpha-\beta)$ ;  $R = V(GB) / V(BM) = (5/3) [(1-\alpha-\beta) / (1+\beta)]$ .

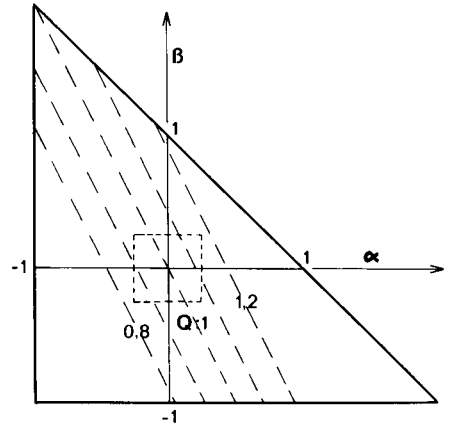


Fig. 4. Sensibilité de la relation structurelle à l'équilibre.  $\alpha$  et  $\beta$  expriment le déséquilibre;  $S(PB) = (S/3)(1+\alpha)$ ;  $S(BM) = (S/3)(1+\beta)$ ;  $S(GB) = (S/3)(1-\alpha-\beta)$ ;  $Q = AE/AE_0 = 1-4\alpha/9 - 2\beta/9$ .

autres relations. Cela vient essentiellement de l'approche globale adoptée ici qui lisse beaucoup la fonction  $s(x) v(x)$ .

En présence de peuplements d'âges d'exploitabilité  $AE_1, AE_2, \dots$ , variés et différents les uns des autres, et de surfaces variées  $S_1, S_2, \dots$ ;

- la règle des 5/3 semble inutilisable car les valeurs  $AE/3$  et  $2 AE/3$  qui séparent les PB, BM et GB, ne sont plus clairement définies;

- la relation structurelle à l'équilibre donne une valeur  $AE$  qui est une moyenne pondérée des  $AE_i$ ;

- la relation d'évolution du volume sur pied est utilisable avec cette valeur moyenne  $AE$  et son équivalent  $AE'$ .

En pratique, on se trouve toujours dans un tel cas d'âges d'exploitabilité variés, même lorsque l'aménagiste prétend le fixer unique.

La règle des 5/3 est beaucoup plus sensible à un déséquilibre des peuplements que ne le sont les 2 autres relations et bien qu'elle soit la plus souvent utilisée, elle paraît être la moins pertinente.



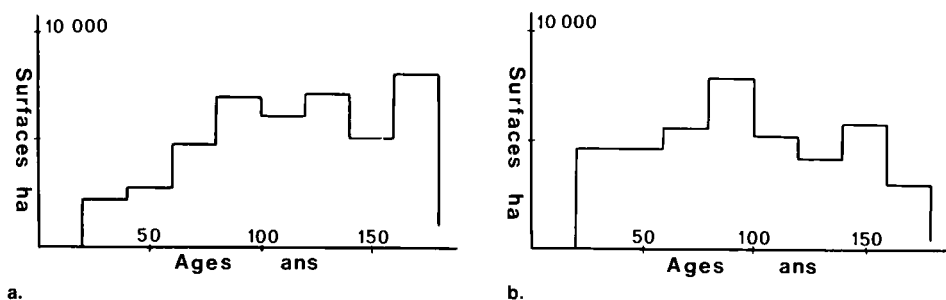


Fig. 5. Sapin pectiné en forêt domaniale dans le département des Vosges: surfaces par classes d'âges. a. 1<sup>er</sup> inventaire (1973): Futaie régulière, sapinières; b. 2<sup>e</sup> inventaire (1981): Futaie régulière, tous types.

**EXEMPLE D'APPLICATION: SAPIN PECTINÉ DES VOSGES EN FORÊT SOUMISE**

On utilise les données publiées par l'IFN, ici les volumes totaux VT et les accroissements totaux DV de l'essence dans les forêts domaniales et communales du département des Vosges (1973, 1981).

DV devrait être égal à la production totale de l'essence, c'est-à-dire la somme des accroissements des arbres qui ont vécu pendant la période de référence (5 années précédant le passage de l'inventaire), donc celui des arbres vifs à la date d'inventaire et celui des arbres disparus (coupés ou morts) pendant cette période, auquel s'ajoute le recrutement (ou passage à la futaie). En pratique, les valeurs utilisées sont celles publiées par l'IFN et certains de ces éléments peuvent manquer. On peut supposer que le massif est globalement en équilibre, car géré depuis très longtemps et aussi parce que le marché semble être équilibré, au moins approximativement.

Les surfaces par classes d'âges (1<sup>er</sup> inventaire et 2<sup>e</sup> inventaire) en futaie régulière (où se trouve environ les 3/4 du volume total) montrent que les peuplements ne sont pas trop déséquilibrés, avec un âge d'exploitabilité moyen d'au moins 160

ans (âge des arbres selon procédure IFN). La figure 5 montre ces surfaces. La classe 0-20 ans est omise, car elle est présumée se trouver sous de vieux peuplements, le sapin pectiné étant une essence d'ombre.

Il faut noter que les définitions adoptées par l'IFN peuvent conduire à donner un grand âge à des peuplements qui, du

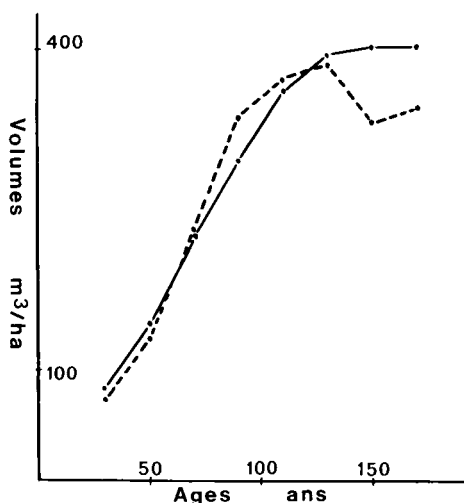


Fig. 6. Sapin pectiné en forêt domaniale dans le département des Vosges: Volumes/ha par classes d'âges. - - - 1<sup>er</sup> inventaire (1973); — 2<sup>e</sup> inventaire (1981).

point de vue de l'aménagiste, sont en régénération, voire même déjà régénérés.

La figure 6 montre les volumes par hectare pour les différentes classes d'âges de 20 ans en futaie régulière. Les volumes des peuplements âgés ne correspondent pas à l'hypothèse  $v(x)=x DV(1-e)/S$ , du fait sans doute des coupes progressives de régénération et de ce que les peuplements les moins productifs sont conservés seuls aux âges les plus élevés. L'exemple ne présente donc pas un cas des plus favorables!

On utilise l'indice 1 pour le 1<sup>er</sup> inventaire, l'indice 2 pour le second. On suppose d'abord que le taux d'éclaircie moyen est de 50%, les résultats obtenus permettant de considérer cette valeur comme cohérente.

**1<sup>er</sup> inventaire (IFN, 1973, p. 58-59):  
année 1972-1973**

$$VT_1 = 19\ 422\ 100\ m^3; DV_1 = 481\ 200\ m^3$$

(accroissement courant)

La relation structurelle à l'équilibre permet d'estimer un âge d'exploitabilité moyen par (6):

$$AE = 4 VT_1 / DV_1 = 161\ ans.$$

A la suite du premier inventaire (1973), il a été signalé que l'estimation IFN de l'accroissement moyen du massif pouvait surestimer d'environ 10% la valeur moyenne relative à une longue période. Cette remarque serait ici confirmée par le résultat précédent comparé à la figure 5. En fixant AE égal à 180 ans, on obtiendrait l'estimation corrigée:  $DV_1 = 431\ 602\ m^3 / an$ .

**2<sup>e</sup> inventaire (tableaux IFN 10 et 11, t. I,  
1981): année 1981**

$$VT_2 = 17\ 285\ 100\ m^3; DV_2 = 293\ 050\ m^3$$

(recrutement compris)

L'application de la relation structurelle à l'équilibre donne:

$$AE = 4 VT_2 / DV_2 = 236\ ans.$$

Cette valeur de AE laisse à penser que  $DV_2$  est anormal et, si l'on prenait la valeur  $AE = 160$ , calculée plus haut, et suggérée par la figure 5, la relation (6) donnerait:

$$DV_2 = 4 VT_2 / 160 = 432\ 128\ m^3$$

à comparer au résultat ( $DV_1$ ) du premier inventaire.

La valeur IFN de l'accroissement estimé en 1981 serait une sous-estimation de 32% de l'accroissement moyen (sur le long terme) qui a conduit à la structure des volumes observés. Il en est ainsi selon les comparaisons des accroissements radiaux observés par l'IFN au 1<sup>er</sup> et au 2<sup>e</sup> inventaires (IFN, 1981).

**Prévisions**

En supposant que le gestionnaire (ONF) décide de fixer un nouvel âge d'exploitabilité moyen de 120 ans, la décapitalisation du volume sur pied se fera, pendant les 30 premières années, au rythme de:

$$50 (160/120 - 1) DV\% = 50/3 DV\%$$

(soit environ 17% DV).

Le prélèvement passerait donc de la valeur corrigée de  $432\ 128\ m^3$  (prélèvement pris égal à la production dans l'état initial approximativement équilibré: voir ci-dessus) à la valeur de  $504\ 149\ m^3$  par an.

**EPICÉA COMMUN DES VOSGES EN  
FORÊT SOUMISE**

Mêmes années de référence et même suite de calculs.

**1<sup>er</sup> inventaire: publication IFN, p. 61 et 62**

$VT_1 = 4\ 085\ 100\ m^3$ ;  $DV_1 = 168\ 100\ m^3$   
(sans recrutement)

AE = 97 ans (soit environ 100 ans).

**2<sup>e</sup> inventaire: publication IFN, tableaux 10 et 11, t. I**

$VT_2 = 4\ 783\ 500\ m^3$ ;  $DV_2 = 133\ 800\ m^3$   
(avec recrutement)

AE = 143 ans;  $DV = 4\ V / 100 = 191\ 340\ m^3$ , et la valeur IFN DV2 serait une sous-estimation de 30% de l'accroissement moyen sur le long terme qui a conduit à la structure des volumes observés.

**DISPONIBILITÉS FORESTIÈRES ET PRÉLÈVEMENT**

Si l'on conserve les âges d'exploitabilité moyens de 160 ans pour le sapin pectiné et 100 pour l'épicéa commun, les disponibilités forestières totales annuelles seraient de  $432\ 128 + 191\ 340 = 623\ 468\ m^3/an$ . Le prélèvement serait actuellement de l'ordre de  $556\ 448\ m^3/an$ , soit de 11% inférieur aux disponibilités.

Si l'on conserve cet âge d'exploitabilité de 100 ans pour l'épicéa commun, et si l'on passe de 160 à 120 ans pour le sapin pectiné, le prélèvement total moyen des 30 prochaines années devraient être, pour l'ensemble sapin pectiné + épicéa commun, de:

$$504\ 149 + 191\ 340 = 695\ 489\ m^3/an.$$

Comment expliquer cet écart entre les données ONF et les disponibilités forestières ainsi calculées ? L'écart provient pour partie des approximations introduites, dans l'établissement des relations d'une part, dans la précision des données utilisées de l'autre. On peut aussi noter que

l'état d'équilibre n'est pas exactement vérifié. Certains suggèrent que la perte serait d'environ 10% et ils l'attribuent à la disparition naturelle d'arbres non inventoriés dans le prélèvement par les gestionnaires.

On peut aussi douter que l'ONF ait déjà pu mettre partout en œuvre des aménagements fixant des âges d'exploitabilité très inférieurs aux précédents, même si la décision de principe est déjà prise effectivement.

On peut enfin penser que les volumes annoncés par l'ONF diffèrent quelque peu de ceux estimés par l'IFN pour des motifs divers:

- découpe terminale supérieure à la découpe terminale IFN (qui est, en principe de 7 cm);
- réfaction du volume tenant compte du rebut (tares, défauts) qui serait plus grand que celui estimé par l'IFN et inclus dans les données ci-dessus;
- utilisation de tarifs de cubage encore désuets pour quelques coupes;
- motifs d'ordre commercial.

**RÉFÉRENCES**

- Assmann E (1970) *The Principles of Forest Yield Study*. Pergamon Press, Oxford
- Becker M (1987) Bilan de santé actuel et rétrospectif du sapin dans les Vosges. Etude écologique et dendrochronologique. *Ann Sci For* 44, 4, 379-402
- Chevrou RB, Guero MC, Houllier F (1988) *Utilisation des résultats et des données brutes de l'Inventaire Forestier National*. IFN
- Chevrou RB (1989) La loi tronquée de De Liocourt. *Ann Sci For* (à paraître)
- Inventaire Forestier National: Résultats de l'inventaire des Vosges (1973). Résultats de l'inventaire des Vosges (1981)
- Le Roy Ladurie E (1983) Histoire du climat depuis l'an Mil. «Champs», Flammarion, Paris
- Ministère de l'Agriculture (1983) Note du 17 juillet 1883: Détermination de la possibilité des futaies jardinées
- Office National des Forêts (1970) Manuel d'aménagement. 2<sup>e</sup> édition, ministère de l'Agriculture, Paris
- Vannière B (1984) *Tables de production pour les forêts françaises*. 2<sup>e</sup> éd. Engref, Nancy