FORÊT
•NATURE

OUTILS POUR UNE GESTION
RÉSILIENTE DES ESPACES NATURELS

Tiré à part de la revue
Forêt.Nature

La reproduction ou la mise en ligne totale ou partielle des textes
et des illustrations est soumise à l'autorisation de la rédaction

foretnature.be

Rédaction : Rue de la Plaine 9, B-6900 Marche. info@foretnature.be. T +32 (0)84 22 35 70

Abonnement à la revue Forêt.Nature :
librairie.foretnature.be

Abonnez-vous gratuitement à Forêt.Mail et Forest.News :
foretnature.be

Retrouvez les anciens articles de la revue
et d'autres ressources : **foretnature.be**

© P. Balleux

Modalité F

© P. Balleux

Modalité C

© P. Balleux

Modalité E

DISPOSITIF D'ÉCLAIRCIE EN ÉPICÉA, PRINCIPAUX ENSEIGNEMENTS DE TRENTE ANNÉES D'EXPÉRIENCE

PASCAL BALLEUX – QUENTIN PONETTE

Cet article fait la synthèse d'une expérience entamée il y a trente ans. Elle visait à évaluer l'impact du niveau d'éclaircie de peuplements réguliers d'épicéa sur une série de caractéristiques dendrométriques, écologiques et économiques.

En 1969, à l'initiative de l'Administration des Eaux et Forêts, fut lancée une expérience nationale sur l'éclaircie des pessières. Elle poursuivait plusieurs objectifs[1-2-3]. Il s'agissait en premier lieu de quantifier l'impact de traitements contrastés sur l'accroissement des individus et des peuplements, et d'évaluer les conséquences en termes de rentabilité suite à la modification attendue des produits délivrés lors des éclaircies successives et de l'âge d'exploitabilité. Il s'agissait ensuite d'étudier les effets sur le fonctionnement écologique des écosystèmes. Cette synthèse concerne principalement les volets dendrométriques et économiques de cette expérience.

LE FONCTIONNEMENT DU DISPOSITIF

Les dispositifs d'éclaircie en futaies résineuses pour *Picea abies* étudient cinq modalités d'éclaircies, par intensité croissante (A, B, C, D, E) et par comparaison à un témoin non éclairci (F). Chaque dispositif est constitué de trois blocs dans lesquels les niveaux d'éclaircie sont disposés aléatoirement. Chacune des modalités est appliquée sur

des placettes de 10 ares, divisées en deux zones : une zone de mesures centrale de 5 ares où tous les arbres sont numérotés et ceinturés à 1,50 m de hauteur, et une bande d'isolement de 5 ares également.

Le présent article s'attache aux données issues d'un des cinq dispositifs (Libin) et fournit les principales statistiques dendrométriques relatives aux onze premières rotations de 3 ans, soit 30 ans d'expérience. À l'issue des 20 premières années, un premier bilan avait déjà été dressé.[4]

L'expérience du site de Libin a débuté en 1970, le peuplement était alors âgé de 23 ans. À la plantation, il présentait une densité élevée de 4 444 tiges par hectare ; les écartements de plantation étaient de 1,50 m en tous sens.

Les principales caractéristiques du site expérimental de Libin sont : altitude de 420 m, sol de type Gbbfi, Gbbr, Gbfr à charge schisto-gréseuse, sol limoneux peu caillouteux à horizon B structural[5] ; la classe de fertilité est de II.[6]

Dès la première éclaircie, les sujets d'avenir (élites) ont été repérés de façon définitive sur base de leurs caractéristiques phénotypiques et d'un critère d'espacement : les élites constituent le peuplement final au terme de l'expérience. Ces sujets sont, en moyenne, distants de 3,6 m pour le traitement A, 4,2 m pour le B, 4,9 m pour le C, 5,7 m pour le D et 6,0 m pour le traitement E.

Ces distances supposent, pour le peuplement principal, un rapport *diamètre de cime/diamètre de fût* de 15 et un accroissement annuel moyen en circonférence (cm/an), durant la période expérimentale, de 1,50 (A) ; 1,75 (B) ; 2,00 (C) ; 2,25 (D) et 2,50 (E).

Ces données d'accroissement et de densité ont été définies en 1969 au départ des diverses tables de production existantes par la comparaison graphique entre la densité (nb/ha) et les accroissements en circonférence qui en découlaient (niveaux A et B). Par analogie graphique, l'évolution des traitements C, D et E a été définie.

LES ÉCLAIRCIES

Avant la première éclaircie

Comme attendu, la pessière équienne du dispositif de Libin a subi, dès la formation du massif, une concurrence qui a éliminé naturellement les arbres les plus faibles, généralement les plus surcimés et dominés, en laissant un étage supérieur de dominants et codominants. La diminution naturelle de tiges vivantes atteint en moyenne 18 % par rapport au nombre initial de 4 444 tiges par hectare.

La première éclaircie

Le prélèvement en première éclaircie, exprimé en nombre d'arbres délivrés, passe de 30 % pour le traitement A à près de 79 % pour le traitement E.

L'intensité de la première éclaircie caractérisée par la réduction en surface terrière confirme également les différentes intensités de prélèvement programmées par le protocole : ces réductions atteignent des valeurs proches de 15 % dans le traitement A et bien supérieures dans les traitements D (52 %) et E (62 %).

La nature de l'éclaircie, par le haut, par le bas ou mixte, peut être définie par le rapport entre le volume de l'arbre moyen éclairci (v_2) et le volume de l'arbre moyen du peuplement principal avant l'éclaircie

(v_1). Si v_2/v_1 est inférieur à 0,6, l'éclaircie est nettement par le bas ; un rapport de 0,8 témoigne d'une éclaircie à tendance mixte, 1,0 d'une éclaircie par le haut et 1,2 d'une éclaircie fortement par le haut.[14]

Alternativement, la spécificité de l'éclaircie peut être quantifiée par le rapport entre la surface terrière moyenne de l'arbre éclairci (g_2) et la surface terrière moyenne de l'arbre non éclairci (g_1). À Libin, le rapport g_2/g_1 varie de 0,51 (A) à 0,79 (E) ; la première éclaircie a donc délivré davantage d'arbres intermédiaires et codominants que l'intensité du prélèvement était croissante de A vers E. Le prélèvement A est donc typiquement par le bas, tandis que la première éclaircie E a délivré des arbres de dimensions moyennes supérieures.

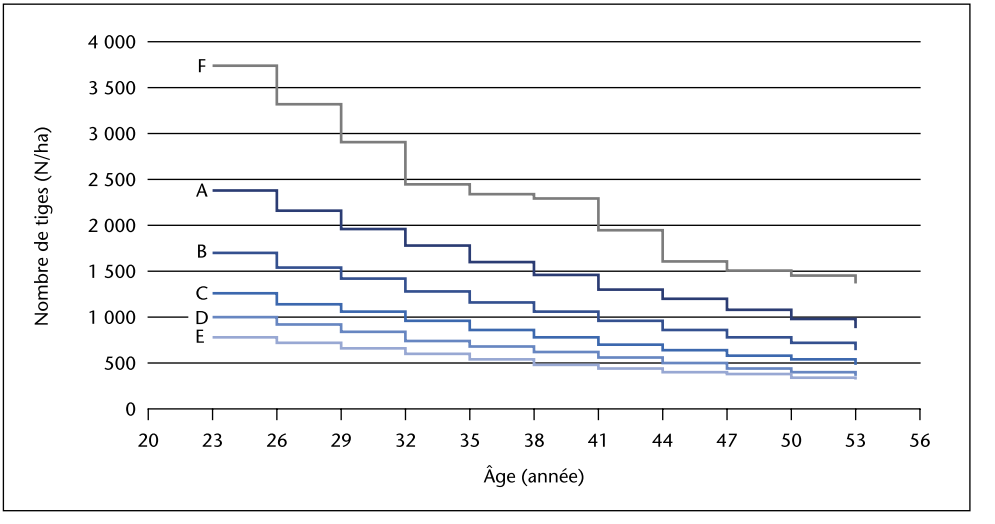
Les dix éclaircies suivantes

Si la première éclaircie a délivré 30 % des arbres pour le traitement A et 79 % pour le traitement E, les 10 éclaircies suivantes ont prélevé entre 2 et 17 % des tiges sur pied à chaque passage en coupe (figure 1).

Globalement, les éclaircies pratiquées à chaque rotation évoluent du type par le bas vers le type mixte pour les traitements A, B, C, D et E : à la onzième rotation, les valeurs g_2/g_1 tendent vers des rapports de 0,5 à 1. Par rapport aux différents traitements d'éclaircie, le témoin (F) subit des pertes par mortalité naturelle traduites par un rapport g_2/g_1 proche de 0,4 ; les tiges éliminées sont donc nettement dominées.

Les traitements C à E enregistrent des valeurs g_2/g_1 supérieures aux modalités A et B. Comme le nombre d'arbres élite varie inversement avec l'intensité d'éclaircie pratiquée, il est logique que la spécificité moyenne des éclaircies augmente progressivement vers les éclaircies fortes : en effet, le nombre plus restreint d'arbres élite désignés en E dans l'étage dominant implique *de facto* que l'éclaircie délivre plus d'arbres

Figure 1 – Évolution des densités des peuplements pour les différents traitements et le témoin (dispositif de Libin, 1970 à 2000, 23 à 53 ans).



dominants et codominants non répertoriés comme élites.

SYNTHÈSE DES RÉSULTATS

Les données mesurées à chaque rotation d'éclaircie ont permis d'estimer, pour chaque modalité d'éclaircie, des résultats pouvant être présentés sous forme de tables de production classiques.

Les tableaux 1 à 6 traduisent le développement au cours du temps des parcelles expérimentales de Libin : toutes les statistiques caractérisent de trois en trois ans l'évolution des peuplements entre 1970 et 2000, âgés de 23 à 53 ans, et soumis aux traitements d'éclaircie de A à E. Le traitement témoin F est également repris.

Plusieurs paramètres sont calculés à partir de ces informations de base, à savoir : les productions totales en surfaces terrières et en volumes et différents accroissements techniques, courants et moyens annuels en circonférence, en surface terrière et en volume.

Ces tableaux peuvent, en fait, constituer des modèles de gestion que le sylviculteur peut appliquer en fonction des intensités d'éclaircie qu'il souhaite atteindre[6] : les densités renseignées permettent de guider les consignes de martelage voulues.

Une série d'interprétations et de commentaires issus des enseignements tirés de ces tableaux sont possibles.

Évolution des surfaces terrières

La surface terrière des peuplements sur pied augmente progressivement pour atteindre, durant les trois à quatre dernières rotations, 42 m^2/ha en A (éclaircie faible) et 30 m^2/ha en E (éclaircie forte). Dans le témoin, le capital sur pied augmente sensiblement à chaque rotation et enregistre 53 m^2/ha à 53 ans.

Évolution des circonférences

Les circonférences moyennes du peuplement principal, des arbres élites et des ar-

Les abréviations utilisées dans les tableaux 1 à 6 ont les significations suivantes :

N/ha, densité exprimée en nombre d'arbres par hectare.

Cmoy, circonférence moyenne réelle en cm des arbres du peuplement.

G, surface terrière en m^2/ha.

Vol., volume en m^3/ha obtenu au départ des tarifs de cubage construits dans le cadre de cette recherche.

Vm, volume moyen de l'arbre éclairci ou de l'arbre élite, en m^3.

GCUM et **VCUM**, somme des surfaces terrières et des volumes des éclaircies, en m^2/ha et m^3/ha.

ATC, accroissement technique en circonférence, en cm/an, calculé en début de rotation par la différence entre la circonférence moyenne du peuplement après et avant éclaircie et divisée par la durée de la rotation.

ACC, accroissement biologique annuel courant en circonférence, en cm/an, c'est-à-dire, la différence entre les valeurs de la circonférence moyenne entre deux passages successifs en éclaircie (après éclaircie en t_1, avant éclaircie en t_2), divisée par la durée de la rotation.

AMC, accroissement moyen en circonférence des arbres du peuplement principal en cm/an calculé en divisant la circonférence moyenne par l'âge.

ACG et **ACV**, accroissements annuels courants en surface terrière et volume, en m^2/ha/an et m^3/ha/an.

AMG et **AMV**, accroissements moyens en surface terrière et volume du peuplement, en m^2/ha/an et m^3/ha/an, calculés en divisant la production totale en surface terrière ou en volume par l'âge.

GTOT et **VTOT**, productions totales en surface terrière et en volume provenant de la somme de la production du peuplement principal après la coupe et des éclaircies cumulées, en m^2/ha et m^3/ha.

Tableau 1 – Synthèse des données statistiques du traitement A. Nombre d'élites : 880/ha (dispositif de Libin, 1970 à 2000, 23 à 53 ans).

Année	Âge	AVANT ÉCLAIRCIE				ÉCLAIRCIE						
		N/ha	Cmoy cm	G m²/ha	Vol. m³/ha	N/ha	Cmoy cm	G m²/ha	Vol. m³/ha	Vm m³	GCUM m²/ha	VCUM m³/ha
1970	23	3 393	34,6	35,7	233	1 013	24,7	5,4	27	0,027	5,4	27
1973	26	2 380	41,5	34,7	249	220	36,6	2,5	16	0,073	7,9	43
1976	29	2 160	44,0	35,7	272	200	29,3	1,4	7	0,035	9,3	50
1979	32	1 960	47,3	37,3	322	180	30,9	1,4	8	0,044	10,7	58
1982	35	1 780	51,6	40,3	367	193	36,9	2,1	16	0,083	12,8	74
1985	38	1 587	55,7	41,6	403	127	36,5	1,4	9	0,071	14,1	83
1988	41	1 460	59,5	43,5	456	160	45,3	2,8	27	0,169	17,0	110
1991	44	1 300	63,6	44,1	482	100	43,8	1,5	13	0,130	18,5	123
1994	47	1 200	67,5	45,7	532	120	49,6	2,4	25	0,208	20,9	148
1997	50	1 080	71,4	45,9	544	100	55,2	2,5	28	0,280	23,4	176
2000	53	980	75,5	46,5	574	107	68,4	4,1	50	0,467	27,5	226

Année	Âge	APRÈS ÉCLAIRCIE				ÉLITES			
		N/ha	Cmoy cm	G m²/ha	Vol. m³/ha	Cmoy cm	G m²/ha	Vol m³/ha	Vm m³
1970	23	2 380	38,9	30,3	206	46,5	15,3	111	0,126
1973	26	2 160	42,0	32,2	233	50,3	17,9	135	0,153
1976	29	1 960	45,5	34,3	265	53,4	20,3	163	0,185
1979	32	1 780	49,0	35,9	314	56,0	22,3	206	0,234
1982	35	1 587	53,5	38,1	351	59,7	25,6	240	0,273
1985	38	1 460	57,3	40,2	394	62,5	28,3	284	0,323
1988	41	1 300	61,2	40,6	429	65,3	30,9	329	0,374
1991	44	1 200	65,2	42,5	469	68,0	33,7	370	0,420
1994	47	1 080	69,4	43,3	507	70,3	36,3	423	0,481
1997	50	980	73,0	43,4	516	72,3	38,6	453	0,515
2000	53	873	76,4	42,4	524	76,4	42,4	524	0,595

Année	Âge	ACCROISSEMENTS							PRODUCTION	
		ATC cm/an	ACC cm/an	AMC cm/an	ACG m²/ha/an	AMG m²/ha/an	ACV m³/ha/an	AMV m³/ha/an	GTOT m²/ha	VTOT m³/ha
1970	23			1,50		1,55		10,1	35,7	233
1973	26	0,17	0,86	1,59	1,47	1,54	14,3	10,6	40,1	276
1976	29	0,50	0,69	1,52	1,16	1,50	13,0	10,9	43,6	315
1979	32	0,56	0,60	1,48	0,99	1,45	19,0	11,6	46,6	372
1982	35	0,60	0,88	1,48	1,45	1,45	17,7	12,1	50,9	425
1985	38	0,56	0,74	1,46	1,16	1,43	17,3	12,6	54,4	477
1988	41	0,58	0,71	1,45	1,08	1,41	20,7	13,1	57,6	539
1991	44	0,55	0,80	1,45	1,14	1,39	17,7	13,5	61,1	592
1994	47	0,66	0,74	1,44	1,05	1,37	21,0	13,9	64,2	655
1997	50	0,55	0,65	1,43	0,87	1,34	12,3	13,8	66,8	692
2000	53	0,29	0,82	1,42	1,04	1,32	19,3	14,2	69,9	750

Tableau 2 – Synthèse des données statistiques du traitement B. Nombre d'élites : 640/ha (dispositif de Libin, 1970 à 2000, 23 à 53 ans).

Année	Âge	AVANT ÉCLAIRCIE				ÉCLAIRCIE						
		N/ha	Cmoy cm	G m²/ha	Vol. m³/ha	N/ha	Cmoy cm	G m²/ha	Vol. m³/ha	Vm m³	GCUM m²/ha	VCUM m³/ha
1970	23	3 747	33,1	36,1	229	2 047	27,0	12,8	67	0,033	12,8	67
1973	26	1 700	44,3	27,9	205	160	38,3	1,9	13	0,081	14,7	80
1976	29	1 540	48,3	30,2	240	120	33,1	1,1	7	0,058	15,8	87
1979	32	1 420	52,3	32,5	297	140	35,5	1,4	10	0,071	17,2	97
1982	35	1 280	57,8	35,5	340	127	43,1	1,9	16	0,126	19,1	113
1985	38	1 153	62,2	37,0	378	93	44,6	1,5	13	0,139	20,6	126
1988	41	1 060	66,5	38,8	420	100	50,7	2,1	22	0,220	22,7	148
1991	44	960	71,2	40,1	453	100	51,4	2,1	21	0,210	24,9	169
1994	47	860	76,5	41,2	491	80	63,1	2,6	29	0,363	27,4	198
1997	50	780	80,4	41,3	498	60	71,9	2,5	29	0,483	30,0	227
2000	53	713	84,8	42,0	527	80	78,7	4,0	50	0,625	34,0	277

Année	Âge	APRÈS ÉCLAIRCIE				ÉLITES			
		N/ha	Cmoy cm	G m²/ha	Vol. m³/ha	Cmoy cm	G m²/ha	Vol m³/ha	Vm m³
1970	23	1 700	40,6	23,3	162	47,5	11,8	86	0,134
1973	26	1 540	44,9	25,9	192	52,6	14,5	110	0,172
1976	29	1 420	49,6	29,1	233	57,3	17,2	140	0,219
1979	32	1 280	54,1	31,1	287	60,9	19,3	185	0,289
1982	35	1 153	59,4	33,6	324	65,7	22,5	214	0,334
1985	38	1 060	63,8	35,5	365	69,0	24,9	256	0,400
1988	41	960	68,2	36,7	398	72,4	27,4	297	0,464
1991	44	860	73,5	38,0	432	75,8	30,0	337	0,527
1994	47	780	77,8	38,6	462	78,9	32,6	387	0,605
1997	50	720	81,1	38,8	469	81,5	34,8	416	0,650
2000	53	633	85,6	38,0	477	85,6	38,0	477	0,745

Année	Âge	ACCROISSEMENTS							PRODUCTION	
		ATC cm/an	ACC cm/an	AMC cm/an	ACG m²/ha/an	AMG m²/ha/an	ACV m³/ha/an	AMV m³/ha/an	GTOT m²/ha	VTOT m³/ha
1970	23			1,44		1,57		10,0	36,1	229
1973	26	0,21	1,22	1,70	1,51	1,56	14,3	10,5	40,7	272
1976	29	0,43	1,14	1,67	1,42	1,55	16,0	11,0	44,9	320
1979	32	0,62	0,89	1,63	1,11	1,51	21,3	12,0	48,3	384
1982	35	0,54	1,21	1,65	1,50	1,51	17,7	12,5	52,8	437
1985	38	0,52	0,94	1,64	1,14	1,48	18,0	12,9	56,2	491
1988	41	0,55	0,92	1,62	1,09	1,45	18,3	13,3	59,4	546
1991	44	0,77	1,00	1,62	1,13	1,43	18,3	13,7	62,8	601
1994	47	0,46	1,00	1,63	1,08	1,41	19,7	14,0	66,1	660
1997	50	0,23	0,85	1,61	0,88	1,37	12,0	13,9	68,7	696
2000	53	0,26	1,24	1,60	1,08	1,36	19,3	14,2	72,0	754

Tableau 3 – Synthèse des données statistiques du traitement C. Nombre d'élites : 480/ha (dispositif de Libin, 1970 à 2000, 23 à 53 ans).

Année	Âge	AVANT ÉCLAIRCIE				ÉCLAIRCIE						
		N/ha	Cmoy cm	G m²/ha	Vol. m³/ha	N/ha	Cmoy cm	G m²/ha	Vol. m³/ha	Vm m³	GCUM m²/ha	VCUM m³/ha
1970	23	3 600	33,7	36,2	234	2 340	28,5	16,3	91	0,039	16,3	91
1973	26	1 260	47,8	24,1	182	120	43,7	1,8	13	0,108	18,2	104
1976	29	1 140	53,0	26,9	218	80	38,6	1,0	7	0,088	19,1	111
1979	32	1 060	57,6	29,4	285	100	44,3	1,6	14	0,140	20,8	125
1982	35	960	63,7	32,6	318	113	47,9	2,1	19	0,168	22,9	144
1985	38	847	69,3	33,7	347	67	49,0	1,3	11	0,165	24,2	155
1988	41	780	74,2	35,4	388	80	56,6	2,1	22	0,275	26,3	177
1991	44	700	79,7	36,5	419	60	67,9	2,2	26	0,433	28,5	203
1994	47	640	84,2	37,3	451	60	76,1	2,8	36	0,600	31,3	239
1997	50	580	88,2	36,9	445	33	77,2	1,7	20	0,600	32,9	259
2000	53	540	92,6	38,0	477	60	88,3	3,8	48	0,800	36,7	307

Année	Âge	APRÈS ÉCLAIRCIE				ÉLITES			
		N/ha	Cmoy cm	G m²/ha	Vol. m³/ha	Cmoy cm	G m²/ha	Vol m³/ha	Vm m³
1970	23	1 260	43,5	19,9	143	50,1	9,9	74	0,154
1973	26	1 140	48,3	22,2	169	55,4	12,1	93	0,194
1976	29	1 060	54,1	25,9	211	61,3	14,8	122	0,254
1979	32	960	59,0	27,8	271	65,6	16,9	170	0,354
1982	35	847	65,9	30,4	299	71,2	20,0	191	0,398
1985	38	780	71,0	32,4	336	75,0	22,2	232	0,483
1988	41	700	76,2	33,3	366	78,4	24,2	266	0,554
1991	44	640	80,8	34,3	393	82,0	26,5	302	0,629
1994	47	580	85,1	34,5	415	85,5	28,8	345	0,719
1997	50	547	88,9	35,3	425	88,3	30,8	369	0,769
2000	53	480	93,1	34,1	429	93,1	34,1	429	0,894

Année	Âge	ACCROISSEMENTS							PRODUCTION	
		ATC cm/an	ACC cm/an	AMC cm/an	ACG m²/ha/an	AMG m²/ha/an	ACV m³/ha/an	AMV m³/ha/an	GTOT m²/ha	VTOT m³/ha
1970	23			1,47		1,58		10,2	36,2	234
1973	26	0,15	1,43	1,84	1,39	1,55	13,0	10,5	40,4	273
1976	29	0,37	1,56	1,83	1,54	1,55	16,3	11,1	45,0	322
1979	32	0,47	1,18	1,80	1,18	1,52	24,7	12,4	48,6	396
1982	35	0,71	1,58	1,82	1,60	1,52	15,7	12,7	53,4	443
1985	38	0,58	1,14	1,82	1,09	1,49	16,0	12,9	56,6	491
1988	41	0,67	1,05	1,81	0,98	1,45	17,3	13,2	59,6	543
1991	44	0,37	1,18	1,81	1,07	1,43	17,7	13,5	62,8	596
1994	47	0,28	1,14	1,79	1,00	1,40	19,3	13,9	65,8	654
1997	50	0,22	1,04	1,76	0,82	1,36	10,0	13,7	68,2	684
2000	53	0,18	1,24	1,75	0,91	1,34	17,3	13,9	70,9	736

Tableau 4 – Synthèse des données statistiques du traitement D. Nombre d'élites : 360/ha (dispositif de Libin, 1970 à 2000, 23 à 53 ans).

Année	Âge	AVANT ÉCLAIRCIE				ÉCLAIRCIE						
		N/ha	Cmoy cm	G m²/ha	Vol. m³/ha	N/ha	Cmoy cm	G m²/ha	Vol. m³/ha	Vm m³	GCUM m²/ha	VCUM m³/ha
1970	23	3 713	32,7	35,7	221	2 713	28,2	18,4	97	0,036	18,4	97
1973	26	1 000	50,5	21,4	167	80	39,6	1,0	7	0,088	19,5	104
1976	29	920	57,2	25,2	205	80	42,8	1,2	9	0,113	20,7	113
1979	32	840	62,6	27,3	274	100	47,7	1,8	15	0,150	22,5	128
1982	35	740	70,2	30,0	292	60	55,4	1,5	14	0,233	24,0	142
1985	38	680	75,3	31,6	340	60	58,5	1,7	17	0,283	25,7	159
1988	41	620	80,6	32,9	369	60	74,2	2,7	30	0,500	28,3	189
1991	44	560	85,3	33,3	384	60	74,0	2,6	31	0,517	31,0	220
1994	47	500	90,8	33,6	405	60	79,2	3,1	38	0,633	34,1	258
1997	50	440	96,0	33,0	401	40	90,7	2,6	31	0,775	36,7	289
2000	53	400	101,2	33,4	419	40	99,0	3,2	40	1,000	39,9	329

Année	Âge	APRÈS ÉCLAIRCIE				ÉLITES			
		N/ha	Cmoy cm	G m²/ha	Vol. m³/ha	Cmoy cm	G m²/ha	Vol m³/ha	Vm m³
1970	23	1 000	45,3	17,3	124	53,6	8,6	65	0,181
1973	26	920	51,4	20,4	160	60,0	10,7	84	0,233
1976	29	840	58,6	23,9	196	66,8	13,2	109	0,303
1979	32	740	64,6	25,5	259	71,0	14,9	154	0,428
1982	35	680	71,5	28,5	278	77,2	17,5	168	0,467
1985	38	620	77,0	30,0	323	81,3	19,4	206	0,572
1988	41	560	81,3	30,2	339	85,2	21,3	237	0,658
1991	44	500	86,6	30,6	353	89,1	23,3	267	0,742
1994	47	440	92,4	30,6	367	93,3	25,5	307	0,853
1997	50	400	96,5	30,3	370	96,7	27,5	330	0,917
2000	53	360	101,5	30,2	379	101,5	30,2	379	1,053

Année	Âge	ACCROISSEMENTS							PRODUCTION	
		ATC cm/an	ACC cm/an	AMC cm/an	ACG m²/ha/an	AMG m²/ha/an	ACV m³/ha/an	AMV m³/ha/an	GTOT m²/ha	VTOT m³/ha
1970	23			1,42		1,55		9,6	35,7	221
1973	26	0,32	1,71	1,94	1,38	1,53	14,3	10,2	39,8	264
1976	29	0,46	1,93	1,97	1,60	1,54	15,0	10,7	44,6	309
1979	32	0,67	1,34	1,96	1,12	1,50	26,0	12,1	48,0	387
1982	35	0,44	1,86	2,01	1,53	1,50	11,0	12,0	52,6	420
1985	38	0,55	1,27	1,98	1,03	1,46	20,7	12,7	55,7	482
1988	41	0,23	1,22	1,97	0,97	1,43	15,3	12,9	58,6	528
1991	44	0,45	1,32	1,94	1,01	1,40	15,0	13,0	61,6	573
1994	47	0,53	1,40	1,93	1,01	1,38	17,3	13,3	64,6	625
1997	50	0,18	1,20	1,92	0,80	1,34	11,3	13,2	67,0	659
2000	53	0,08	1,57	1,91	1,02	1,32	16,3	13,4	70,1	708

Tableau 5 – Synthèse des données statistiques du traitement E. Nombre d'élites : 320/ha (dispositif de Libin, 1970 à 2000, 23 à 53 ans).

Année	Âge	AVANT ÉCLAIRCIE				ÉCLAIRCIE						
		N/ha	Cmoy cm	G m^2/ha	Vol. m^3/ha	N/ha	Cmoy cm	G m^2/ha	Vol. m^3/ha	Vm m^3	GCUM m^2/ha	VCUM m^3/ha
1970	23	3 760	33,2	36,4	235	2 980	29,9	22,7	131	0,044	22,7	131
1973	26	780	52,4	17,6	136	60	47,8	1,1	8	0,133	23,8	139
1976	29	720	60,2	21,4	179	73	47,4	1,4	11	0,150	25,1	150
1979	32	647	67,4	24,0	251	47	49,8	0,9	8	0,171	26,1	158
1982	35	600	75,9	28,1	274	73	69,9	2,9	29	0,395	29,0	187
1985	38	527	81,0	28,1	300	47	67,6	1,7	19	0,407	30,7	206
1988	41	480	86,5	29,1	332	40	74,5	1,8	21	0,525	32,5	227
1991	44	440	91,7	30,0	345	40	78,2	2,0	23	0,575	34,4	250
1994	47	400	97,8	31,0	375	20	86,3	1,2	15	0,750	35,7	265
1997	50	380	102,0	32,0	390	33	87,6	2,1	26	0,788	37,7	291
2000	53	340	108,4	32,3	404	20	109,3	1,9	24	1,200	39,6	315

Année	Âge	APRÈS ÉCLAIRCIE				ÉLITES			
		N/ha	Cmoy cm	G m^2/ha	Vol. m^3/ha	Cmoy cm	G m^2/ha	Vol m^3/ha	Vm m^3
1970	23	780	46,3	13,7	104	51,9	7,0	53	0,166
1973	26	720	52,8	16,5	128	58,9	9,0	71	0,222
1976	29	647	61,7	20,1	168	67,5	11,8	99	0,309
1979	32	600	68,8	23,1	243	73,8	14,1	148	0,463
1982	35	527	76,7	25,2	245	81,4	17,1	164	0,513
1985	38	480	82,4	26,4	281	86,1	19,2	203	0,634
1988	41	440	87,6	27,3	311	90,5	21,2	238	0,744
1991	44	400	93,1	28,1	322	94,9	23,3	269	0,841
1994	47	380	98,4	29,8	360	99,6	25,7	309	0,966
1997	50	347	103,4	29,9	364	103,2	27,5	331	1,034
2000	53	320	108,4	30,4	380	108,4	30,4	380	1,188

Année	Âge	ACCROISSEMENTS							PRODUCTION	
		ATC cm/an	ACC cm/an	AMC cm/an	ACG m^2/ha/an	AMG m^2/ha/an	ACV m^3/ha/an	AMV m^3/ha/an	GTOT m^2/ha	VTOT m^3/ha
1970	23			1,44		1,58		10,2	36,4	235
1973	26	0,13	2,03	2,02	1,29	1,55	10,7	10,3	40,3	267
1976	29	0,49	2,47	2,08	1,65	1,56	17,0	11,0	45,2	318
1979	32	0,46	1,92	2,11	1,31	1,54	27,7	12,5	49,1	401
1982	35	0,27	2,35	2,17	1,67	1,55	10,3	12,3	54,1	432
1985	38	0,44	1,45	2,13	0,99	1,50	18,3	12,8	57,1	487
1988	41	0,36	1,37	2,11	0,91	1,46	17,0	13,1	59,8	538
1991	44	0,45	1,39	2,09	0,89	1,42	11,3	13,0	62,5	572
1994	47	0,20	1,56	2,08	0,97	1,39	17,7	13,3	65,4	625
1997	50	0,46	1,20	2,04	0,74	1,35	10,0	13,1	67,6	655
2000	53	-0,02	1,69	2,05	0,79	1,32	13,3	13,1	70,0	695

Tableau 6 – Synthèse des données statistiques du traitement F (témoin). Nombre d'élites : 0 (dispositif de Libin, 1970 à 2000, 23 à 53 ans).

Année	Âge	AVANT ÉCLAIRCIE				MORTALITÉ NATURELLE						
		N/ha	Cmoy cm	G m²/ha	Vol. m³/ha	N/ha	Cmoy cm	G m²/ha	Vol. m³/ha	Vm m³	GCUM m²/ha	VCUM m³/ha
1970	23	3 740	33,3	37,0	237	0	-	-	0	-	-	0
1973	26	3 740	35,0	41,2	276	420	16,7	0,9	2	0,005	0,9	2
1976	29	3 320	38,4	43,1	310	413	22,3	2,5	7	0,017	3,4	9
1979	32	2 907	42,0	44,3	363	460	26,7	2,6	12	0,026	6,1	21
1982	35	2 447	46,7	45,6	404	107	32,8	1,0	7	0,066	7,1	28
1985	38	2 340	49,0	48,3	446	47	32,8	0,4	3	0,064	7,5	31
1988	41	2 293	50,9	51,4	513	347	35,7	3,6	28	0,081	11,1	59
1991	44	1 947	55,3	51,2	533	340	36,8	3,7	28	0,082	14,8	87
1994	47	1 607	61,1	50,8	576	100	43,0	1,6	19	0,190	16,4	106
1997	50	1 507	63,7	51,7	599	53	42,8	0,8	5	0,094	17,2	111
2000	53	1 453	66,4	54,4	653	87	46,9	1,5	16	0,184	18,7	127

Année	Âge	APRÈS ÉCLAIRCIE				ÉLITES			
		N/ha	Cmoy cm	G m²/ha	Vol. m³/ha	Cmoy cm	G m²/ha	Vol m³/ha	Vm m³
1970	23	3 740	33,4	37,0	237	-	-	-	-
1973	26	3 320	37,3	40,3	274	-	-	-	-
1976	29	2 907	40,7	40,6	303	-	-	-	-
1979	32	2 447	44,9	41,7	351	-	-	-	-
1982	35	2 340	47,3	44,6	397	-	-	-	-
1985	38	2 293	49,4	47,9	443	-	-	-	-
1988	41	1 947	53,6	47,8	485	-	-	-	-
1991	44	1 607	59,2	47,5	505	-	-	-	-
1994	47	1 507	62,3	49,2	557	-	-	-	-
1997	50	1 453	64,5	50,9	594	-	-	-	-
2000	53	1 367	67,7	52,9	637	-	-	-	-

Année	Âge	ACCROISSEMENTS							PRODUCTION	
		ATC cm/an	ACC cm/an	AMC cm/an	ACG m²/ha/an	AMG m²/ha/an	ACV m³/ha/an	AMV m³/ha/an	GTOT m²/ha	VTOT m³/ha
1970	23			1,45		1,61		10,3	37,0	237
1973	26	0,78	0,53	1,35	1,43	1,59	13,0	10,6	41,2	276
1976	29	0,77	0,36	1,32	0,92	1,52	12,0	10,8	44,0	312
1979	32	0,96	0,43	1,31	1,26	1,49	20,0	11,6	47,8	372
1982	35	0,21	0,60	1,33	1,30	1,48	17,7	12,1	51,7	425
1985	38	0,11	0,57	1,29	1,25	1,46	16,3	12,5	55,4	474
1988	41	0,91	0,51	1,24	1,15	1,44	23,3	13,3	58,9	544
1991	44	1,31	0,55	1,26	1,12	1,41	16,0	13,5	62,2	592
1994	47	0,40	0,62	1,30	1,11	1,39	23,7	14,1	65,6	663
1997	50	0,26	0,48	1,27	0,84	1,36	14,0	14,1	68,1	705
2000	53	0,41	0,65	1,25	1,16	1,35	19,7	14,4	71,6	764

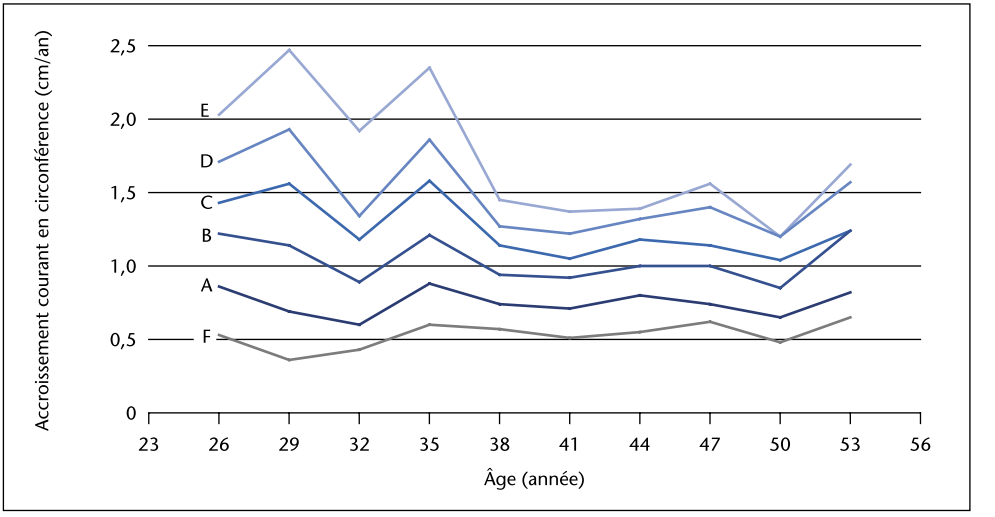


Figure 2 – Évolution de l'accroissement courant annuel en circonférence (cm/an) du peuplement principal en fonction du traitement appliqué et du témoin (dispositif de Libin, 1970 à 2000, 23 à 53 ans).

bres abattus augmentent avec l'intensité des éclaircies.

À 53 ans, la circonférence moyenne du peuplement principal est multipliée par 1,8 en passant du niveau d'éclaircie A à E. L'augmentation de la croissance en circonférence dans les peuplements fortement éclaircis résulte principalement de la réduction de la densité et par conséquent d'une diminution de la concurrence entre les arbres. L'effet technique des fortes éclaircies y contribue également.

L'accroissement courant annuel en circonférence des arbres du peuplement principal augmente avec l'intensité d'éclaircie mais tend à diminuer avec l'âge dans les modalités plus intenses (figure 2). Notons que la réduction manifeste de la croissance entre 29 et 32 ans est à imputer à la sécheresse de 1976 qui a sérieusement affaibli les arbres.

Les circonférences les plus remarquables des arbres élites sont observées dans les niveaux d'éclaircie non traditionnels D et E ; celles-ci sont, à la dernière rotation, deux fois plus élevées que les circonférences observées au début de l'expérience (figure 3).

Les circonférences moyennes des arbres abattus sont nettement supérieures dans les niveaux D et E, du fait d'une croissance individuelle plus importante des arbres fortement éclaircis (figure 3).

Évolution des hauteurs

La hauteur dominante des peuplements (hauteur moyenne des 100 plus gros arbres par hectare) – qui caractérise la productivité d'une station – n'est pas influencée par le type d'éclaircie, même dans le cas des parcelles amenées à des seuils de densité assez faibles. La hauteur dominante est en effet beaucoup moins influencée par les opérations culturales que la hauteur moyenne : les éclaircies touchent fort peu aux arbres dominants, qui sont la plupart du temps les phénotypes les plus intéressants.

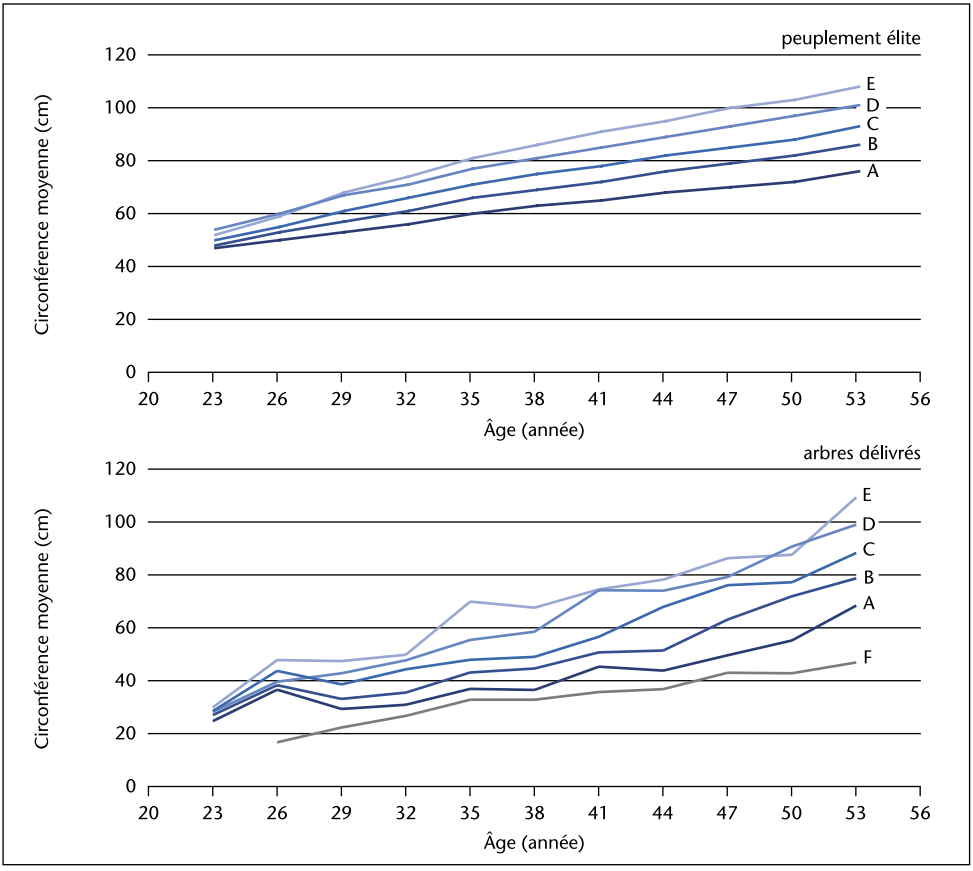
La stabilité des arbres du peuplement sur pied peut être estimée par le facteur d'élancement h/d (*h* et *d* représentent respectivement la hauteur totale et le diamètre à hauteur d'homme). Des valeurs inférieures à 80 caractérisent des peuplements stables, plus résistants à d'éventuels vents forts tandis que des valeurs supérieures à 100 témoignent de peuplements très sensibles vis-à-vis du vent.[7]

Pour les arbres délivrés dans le dispositif de Libin entre 24 et 48 ans, le facteur d'élancement moyen pour les traitements D et E montre des valeurs inférieures aux traitements A et B : respectivement 99 et 90 contre 114 et 110. Cette diminution provient essentiellement de l'augmentation de la circonférence moyenne des arbres délivrés.[8]

Production en surface terrière

La production totale en surface terrière est quasiment identique pour tous les niveaux d'éclaircie : à 53 ans, elle atteint environ 70 m²/ha et les écarts entre les niveaux d'éclaircie ne dépassent pas 3 %. Par conséquent, les fortes coupes n'occasionnent que peu de diminution de cette production

Figure 3 – Évolution de la circonférence moyenne (cm) du peuplement élite et des arbres délivrés en fonction du traitement appliqué et du témoin (dispositif de Libin, 1970 à 2000, 23 à 53 ans).



C_{150} (cm)	H_{C22} (m)					
	5	10	15	20	25	30
30	0,029	0,055				
35	0,039	0,072				
40	0,049	0,092	0,132			
45	0,061	0,113	0,163			
50	0,074	0,137	0,197	0,255		
55		0,162	0,234	0,303		
60		0,190	0,273	0,354		
65			0,315	0,408		
70			0,360	0,466	0,570	
75			0,408	0,528	0,645	
80			0,458	0,593	0,724	
85			0,510	0,661	0,807	
90			0,565	0,732	0,894	
95				0,806	0,985	
100				0,884	1,080	1,272
105				0,965	1,179	1,388
110				1,049	1,281	1,509
115					1,388	1,634
120					1,498	1,764
125					1,612	1,898
130					1,729	2,036
135						2,179
140						2,326
145						2,477
150						2,632

Tableau 7 – Tabulation du tarif de cubage à deux entrées (dispositif de Libin, 1970 à 2000, 23 à 53 ans).

malgré une réduction importante du matériel sur pied au début de l'essai.

Outre la tendance à long terme liée à l'âge des peuplements, l'accroissement courant en surface terrière peut varier de rotation en rotation en raison des conditions climatiques. Ainsi, la rotation caractérisée par l'année 1976 accuse-t-elle une chute sensible de l'accroissement en surface terrière, et cela quel que soit le traitement d'éclaircie appliqué. À Libin, la production maximale en surface terrière est atteinte dans le niveau d'éclaircie B, 72 m²/ha, soit un accroissement annuel moyen de 1,36 m²/ha/an.

Production en volume

Au départ des volumes bois fort réels calculés par la formule de Simpson (V_{C22}) sur les arbres éclaircis durant la période de 1985 à 1997 (peuplement âgé de 38 à 50 ans), un tarif de cubage à deux entrées[9] a été construit sous la forme $Ln\ V_{C22} = a + b\ Ln\ (C_{150}^2.H_{C22})$, avec pour entrées la circonférence à 1,50 mètre (C_{150}) et la hauteur recoupe (H_{C22}) (tableau 7). Les

	Niveau d'éclaircie					
	F	A	B	C	D	E
1. Volume sur pied avant la première éclaircie (m^3/ha)	237	233	229	234	221	235
2. Volume sur pied après la première éclaircie (m^3/ha)	237	206	162	143	124	104
3. Volume de la première éclaircie (m^3/ha)	0	27	67	91	97	131
4. Volume cumulé des éclaircies sur 11 rotations (m^3/ha)	127	226	277	307	329	315
5. Volume cumulé des éclaircies entre la 2ème et 11ème rotation (m^3/ha)	127	199	210	216	232	184
6. Volume moyen de l'arbre éclairci à la 11ème rotation (m^3)	0,184	0,467	0,625	0,800	1,000	1,200
7. Volume sur pied après 11 rotations (m^3/ha)	637	524	477	429	379	380
8. Volume moyen de l'arbre sur pied après 11 rotations (m^3)	0,466	0,595	0,745	0,894	1,053	1,188
9. Production totale en volume (m^3)	764	750	754	736	708	695
10. Accroissement annuel périodique sur 11 rotations (m^3/an/ha)	17,6	17,2	17,5	16,7	16,2	15,3

Tableau 8 – Influence du niveau d'éclaircie sur certains volumes caractérisant les peuplements (dispositif de Libin, 1970 à 2000, 23 à 53 ans). Pour la modalité F, en auto-éclaircie, le terme « éclaircie » désigne la mortalité naturelle des arbres du peuplement.

hauteurs des arbres sur pied ont été déduites des circonférences par la fonction de Chapman-Richards.[10]

La répartition du volume entre le peuplement principal et celui éclairci est très révélatrice du dynamisme des peuplements soumis à une sylviculture intensive induite par de fortes éclaircies. Les résultats du tableau 8 relatifs à la période allant de 1970 à 2000 (23 à 53 ans) du dispositif de Libin confirment cette tendance. Ils mettent en valeur le rôle des fortes éclaircies sur l'augmentation sensible du volume moyen de l'arbre éclairci et de l'arbre restant sur pied.

Le tableau 8 appelle plusieurs commentaires. La première ligne du tableau décrit la situation des différents peuplements avant toute intervention. La première éclaircie préleva un volume dont l'importance est signalée à la troisième ligne. Une différence de prélèvement de 104 m^3/ha existe entre les niveaux A et E. Le volume restant sur pied après la première éclaircie est deux fois moindre pour les parcelles de type E par rapport à celles de type A.

Le volume cumulé des arbres abattus durant les onze rotations analysées (ligne 4), soit sur une période de 30 ans, est maximum en D avec 45 % de plus qu'en A. Dans le cas du peuplement témoin (F), ce volume cumulé provient des arbres morts. Si l'on ne tient pas compte des volumes retirés lors de la première éclaircie, les différences entre les types A et E deviennent minimes (ligne 5) : 199 m^3/ha pour le niveau A contre 184 m^3/ha pour le niveau E. À la onzième rotation, le volume moyen de l'arbre éclairci (ligne 6) augmente avec l'intensité de l'éclaircie : + 257 % pour le volume moyen des arbres délivrés dans les parcelles fortement éclaircies (E) par rap-

port au volume moyen des bois abattus dans les parcelles faiblement éclaircies (A).

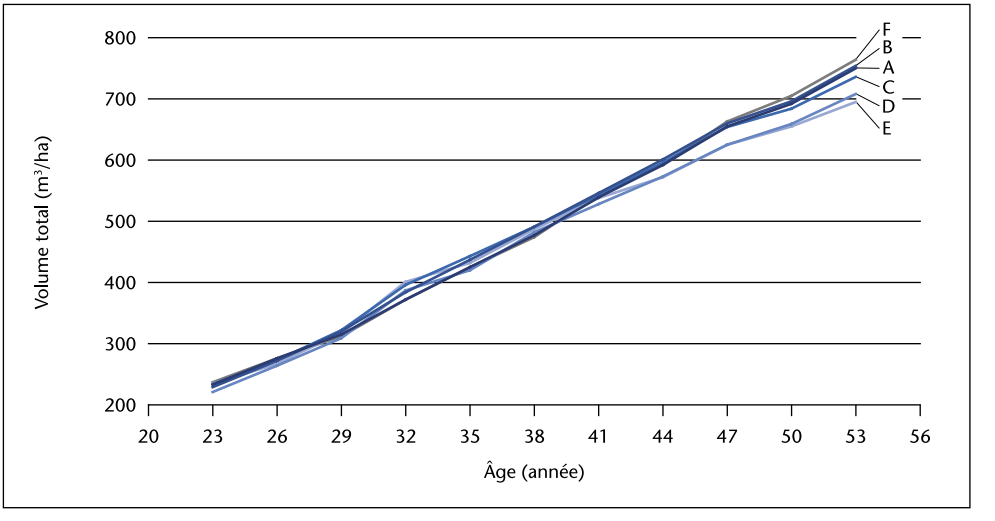
Le volume sur pied après onze rotations est présenté à la ligne 7. Ce volume, divisé par le nombre d'arbres du peuplement principal à la dernière rotation, exprime le volume moyen individuel de l'arbre sur pied. Celui du peuplement E est deux fois supérieur à celui du A.

La production totale en volume (ligne 9) reprend le volume cumulé des éclaircies et le volume sur pied après onze rotations : le niveau d'éclaircie n'influence pas sensiblement les quantités produites.

Finalement, l'accroissement annuel périodique sur les onze rotations (ligne 10) est calculé par la différence entre la production totale en volume et le volume avant la première éclaircie, divisée par la durée de la période (30 ans). Ces résultats expriment la faible influence des éclaircies sur l'accroissement en volume : en effet, on peut remarquer que le prélèvement initial d'un volume trois fois supérieur dans le traitement E par rapport aux éclaircies faibles (traitements A et B), engendre un accroissement légèrement inférieur à la fin de la onzième rotation. En définitive, le potentiel de production de la station s'est distribué sur un nombre plus faible d'arbres dans le cas du niveau E.

L'évolution de la production totale en volume des différents traitements du dispositif de Libin est représentée à la figure 4. Malgré la très forte réduction de volume initial lors de la première éclaircie dans les types D et E, ceux-ci suivent les mêmes tendances de production que les peuplements A et B conduits par une sylviculture classique : à ce stade de l'expérience (30 ans), des pertes inférieures à 7 % sont observées. La sélection d'arbres de phénotypes supérieurs régulièrement répartis au sein de la parcelle par élimination brutale de deux tiers du volume du peuplement sur pied conserve quasi intacte la potentialité du

Figure 4 – Évolution de la production totale en volume (m³/ha) des différents traitements et du témoin (dispositif de Libin, 1970 à 2000, 23 à 53 ans).



milieu vue sous l'angle de la production lorsque cette sélection est appliquée avant la phase de grand accroissement des arbres en peuplement.

En définitive, l'intensité des éclaircies n'altère pas la production totale en volume mais augmente significativement les volumes moyens de l'arbre sur pied et de l'arbre éclairci.

Valeur marchande des peuplements

L'évolution de la valeur marchande des différents peuplements a été analysée dans le cadre du contexte économique de l'hiver 1999-2000 et sans inflation, soit, en euros constants par hectare. Elle a été calculée par rotation, à laquelle s'ajoute le revenu capitalisé (taux de 3,2 %) des éclaircies précédentes.

Dans le dispositif de Libin, au cours des rotations successives, l'application de fortes intensités d'éclaircie produit des volumes individuels supérieurs, tant pour le peuplement principal que pour l'éclaircie. Au cours des rotations successives, les écarts de volumes moyens pour les arbres sur pied et délivrés s'accentuent entre peuplements fortement et faiblement éclaircis. Ainsi, le volume individuel moyen de 0,6 m^3 en peuplement principal est atteint à 53 ans en traitement A contre 40 ans en traitement E. De ce fait, les éclaircies plus intensives fournissent des produits de valeur marchande plus élevée par rapport à la valeur des bois délivrés par des traitements plus classiques.

De façon générale, la valeur marchande des peuplements s'accroît avec l'intensité de l'éclaircie, mais le degré de cette influence varie avec l'âge. Ainsi, à certains moments, la valeur du peuplement du type E est le double de celle du peuplement type A, mais l'écart entre ces deux modèles de peuplement a tendance à se réduire avec leur vieillissement.

En prenant la valeur marchande du peuplement A comme référence et exprimée en pour cent (100 %), la valeur marchande du volume sur pied à 53 ans augmentée de la valeur cumulée des éclaircies est sensiblement plus élevée pour les traitements C, D et E (tableau 9), respectivement de 24, 30 et 32 %. Seul le peuplement témoin accuse une moins-value de 12 %. Le peuplement principal affiche, à l'issue des 30 années d'expérience, la valeur la plus élevée pour la modalité B. Par contre, les fortes et très fortes éclaircies (D et E) cumulent des valeurs marchandes de bois délivrés plus de quinze fois supérieures aux produits délivrés par les faibles éclaircies (A).

La figure 5 illustre l'évolution des valeurs des peuplements principaux (valeurs marchandes) et des éclaircies (valeurs capita-

Tableau 9 – Valeurs marchandes relatives (en %) des peuplements principaux, des éclaircies et de l'ensemble en fonction de l'intensité d'éclaircie, l'éclaircie A étant considérée comme référence (100) (dispositif de Libin, 1970 à 2000, 23 à 53 ans).

Niveau d'éclaircie	F	A	B	C	D	E
Peuplement principal à 53 ans	89	100	110	109	103	107
Éclaircies cumulées	-3	100	440	954	1 708	1 571
Peuplement principal et éclaircies	88	100	116	124	130	132

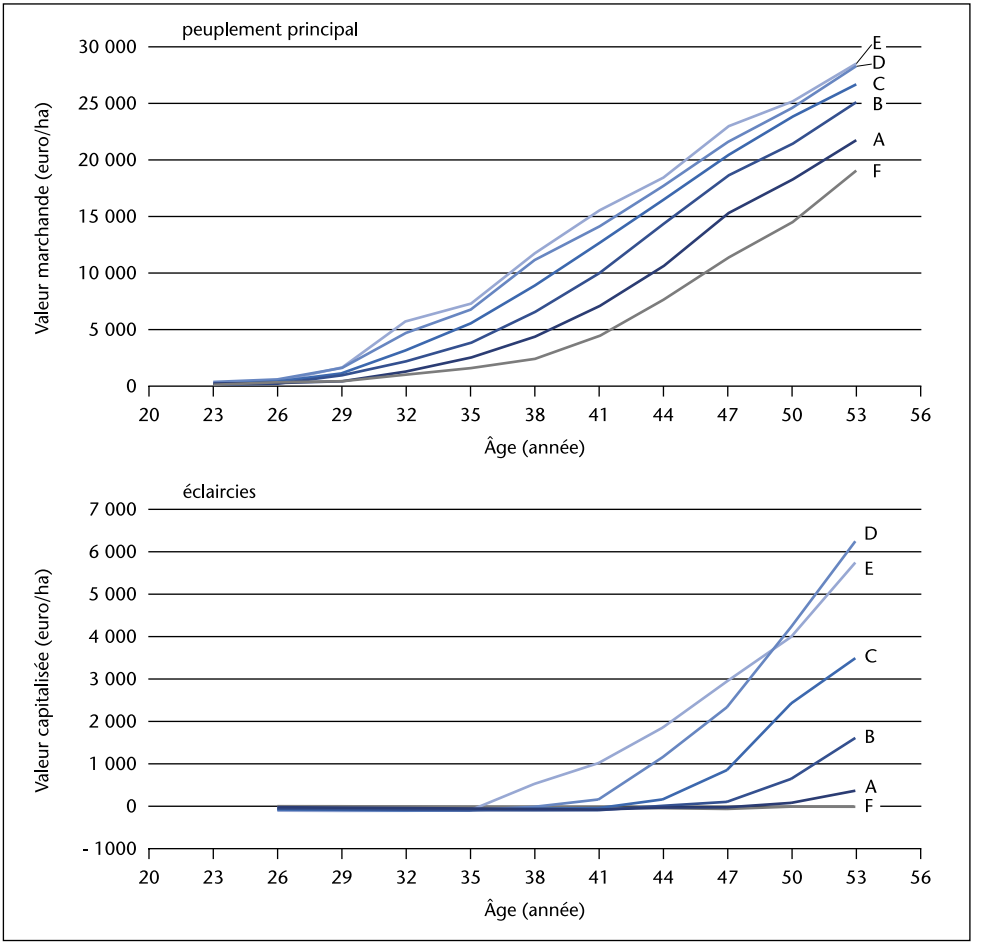


Figure 5 – Valeurs marchandes du peuplement principal et des éclaircies (dispositif de Libin, 1970 à 2000, 23 à 53 ans).

lisées) délivrées durant les trente années écoulées pour chacun des cinq traitements appliqués et le témoin. La figure 6 présente les valeurs, en l'an 2000, du peuplement principal (valeurs marchandes) et des dix premières éclaircies (valeurs capitalisées et cumulées). En toute logique, l'auto-éclaircie du témoin F enregistre des valeurs négatives (bois morts) ; au contraire, les éclaircies de fortes intensités et leurs peuplements respectifs (C, D et E) affichent des recettes nettement plus élevées.

Les fortes éclaircies augmentent donc significativement les revenus principaux et accessoires.[11]

CONCLUSIONS

Après trente années de suivi, les résultats ont confirmé plusieurs avantages sylvicoles de l'éclaircie forte : production plus rapide de bois de grosses dimensions, réduction du terme d'exploitabilité, meilleure stabi-

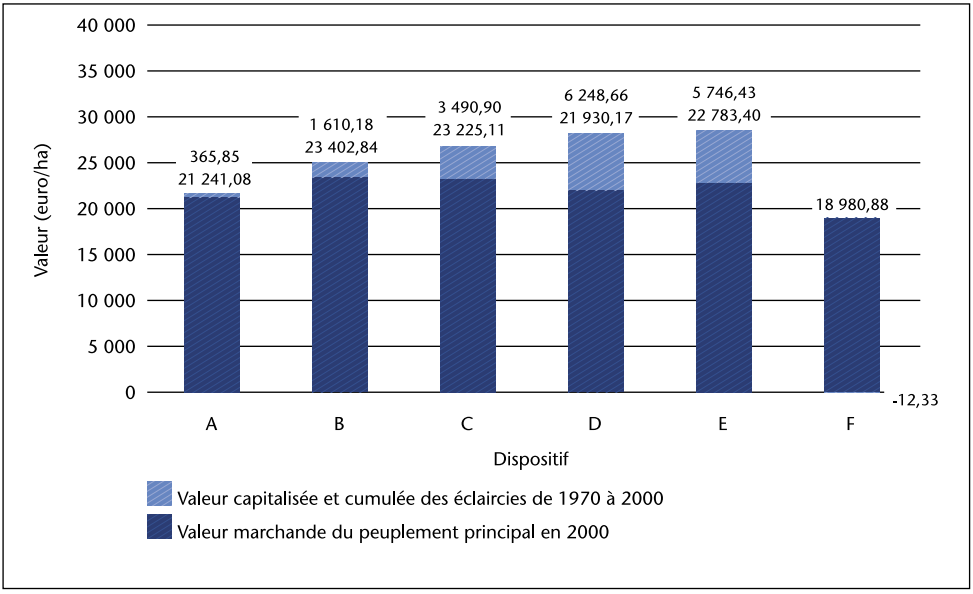


Figure 6 – Valeurs marchandes du peuplement principal et valeurs capitalisées et cumulées des dix premières éclaircies pour l'an 2000 (dispositif de Libin, 1970 à 2000, 23 à 53 ans).

lité des peuplements éclaircis énergiquement, maintien des productions totales en surface terrière et réduction très modérée des productions totales en volume, augmentation de la valeur marchande des produits délivrés et du peuplement final.

Par ailleurs, plusieurs indicateurs du fonctionnement des écosystèmes – comme l'activité de la pédofaune ou le développement de la végétation herbacée et arbustive – sont influencés positivement par les éclaircies plus fortes. L'incidence de celles-ci sur la nutrition minérale[15], notamment en phosphore, mérite toutefois des recherches complémentaires.

Enfin, l'avis des technologues est aussi déterminant : des cernes de 4 mm (soit un accroissement de 2,5 cm/an en circonférence) n'implique pas une chute importante des propriétés technologiques du bois. Concrètement, cet objectif est rencontré en maintenant la surface terrière des pessières entre les valeurs de 35 m²/ha avant éclaircie et 30 m²/ha après éclaircie.[13] ■

REMERCIEMENTS

Cet article de synthèse est le fruit d'un travail collectif de longue haleine.

P. Reginster et L. Wauthoz (Directeurs honoraires DNF) nous ont apporté de précieux éclairements. Nous tenons à remercier la Province de Luxembourg (propriétaire de la pessière au lieu-dit Les Loches à Libin), les responsables locaux de la Division de la Nature et des Forêts : C. Crispiels (attaché honoraire) et tout spécialement B. Déom (attaché au cantonnement de Libin) pour la relecture approfondie du rapport et l'Agent technique

titulaire du triage de Smuid, P. Otjacques, lesquels ont contribué directement à l'application des protocoles et aux récoltes de données sur le terrain.

Nos plus vifs remerciements s'adressent aussi à P. André (Professeur émérite Unité EFOR, UCL), P. Lhoir (technicien Unité EFOR, UCL) et T. Trucios (Docteur Sc. Ag., Ing. Bio., UCL).

BIBLIOGRAPHIE

[1] ANDRÉ P. [1976]. Premières éclaircies en peuplements résineux. *Bull. Soc. Roy. For. de Belgique* **83**(6) : 312-331.

[2] ANDRÉ P., BLEROT Ph. [1978]. Normes d'éclaircies en futaie régulière résineuse. *Bull. Soc. Roy. For. de Belgique* **85**(1) : 1-19.

[3] ANDRÉ P. [1979]. Principales conclusions d'un essai d'éclaircie. *Bull. Soc. Roy. For. de Belgique* **86**(2) : 75-80.

[4] ANDRÉ P., BUCHET V., DEFAYS E., LHOIR P., REGINSTER P. [1994]. *Éclaircie en futaie résineuse. Fiche technique n° 3*. MRW-DGRNE-DNF, UCL-EFOR, 36 p.

[5] AVRIL P. [1981]. Légende de la Carte des Sols de Belgique. Faculté des Sciences agronomiques de l'État. Service de la Science du Sol, 15 p.

[6] DAGNELIE P., PALM R., RONDEUX J., THILL A. [1988]. *Tables de production relatives à l'épicéa commun (*Picea abies *Karst.)*. Les presses agronomiques de Gembloux, Gembloux, Belgique, 123 p.

[7] BECQUEY J. [1986]. Hauteur et facteur d'élancement : un équilibre à respecter. *Forêt-entreprise* **34** : 14-21.

[8] BECQUEY J. [1986]. Adapter les éclaircies aux caractéristiques des peuplements. *Forêt-entreprise* **34** : 22-27.

[9] PALM R. [1988]. Calcul et choix des équations de cubage des arbres. *Bull. Rech. Agron. Gembloux* **16**(4) : 351-370.

[10] TRUCIOS T. [1999]. *Croissance de l'épicéa (Picea abies (L) Karsten) en structure équienne en fonction de l'intensité d'éclaircie*. Thèse de Doctorat, Faculté des Sciences agronomiques, UCL, 293 p. + annexes.

[11] WAUTHOZ L. [1990]. *De l'estimation des forêts et de leur valeur patrimoniale : application au rendement financier de monocultures d'épicéas en Ardenne*. 61 p.

[12] SCOHY J.P. [1989]. Peuplements résineux. Éclaircie et élagage. *Silva Belgica* **96**(1) : 7-47.

[13] HÉBERT J., HERMAN M., JOUREZ B. [2002]. *Sylviculture et qualité du bois de l'épicéa en Région wallonne*. Éd. Asbl Forêt Wallonne, 157 p.

[14] LANIER L. [1986]. *Précis de sylviculture*. Éditions ENGREF, Nancy, 468 p.

[15] JONARD M., MISSON L., PONETTE Q. [à paraître]. Effects of repeated thinning operations on foliage and forest floor properties in Norway spruce stands in the Belgian Ardennes. *Canadian Journal of Forest Research*.

Cet article est publié dans le contexte de l'Accord cadre de recherche et de vulgarisation forestières 2005-2009 financé par le Ministère de la Région wallonne.

PASCAL BALLEUX
cdaf@skynet.be
Centre de Développement Agroforestier de Chimay
Route de la Fagne, 34
B-6460 Chimay

QUENTIN PONETTE
ponette@efor.ucl.ac.be
Unité des Eaux et Forêts, Université catholique de Louvain
Place Croix du Sud, 2 bte 9
B-1348 Louvain-la-Neuve