

## **Effet de l'intensité de l'éclaircie sur l'extinction du rayonnement solaire en jeunes futaies de *Picea abies* (L.) Karst.**

F. FRANÇOIS, P. ANDRÉ et F. DEVILLEZ

Unité des Eaux et Forêts, Faculté des Sciences agronomiques  
Université Catholique de Louvain  
Place Croix-du-Sud 2, B.P. 4, B-1348 Louvain-La-Neuve

### **Résumé**

Dans le cadre des recherches menées sur les éventuels effets physiologiques des éclaircies des peuplements de *Picea abies* (L.) Karsten, les modifications quantitatives et qualitatives du rayonnement solaire reçu sous le couvert de deux pessières âgées de 28 ans et maintenues à des densités de 13 et 24 m<sup>2</sup>/ha ont été étudiées. Les principaux résultats montrent que, si la densité diminue de 46 p. 100, l'éclaircie (de 0,3 à 0,78  $\mu$ ) augmente de 185 p. 100, alors que l'irradiance (de 0,3 à 3  $\mu$ ) s'accroît seulement de 96 p. 100. Il apparaît ainsi que le supplément de rayonnement pénétrant dans le peuplement le moins dense est proportionnellement plus riche en radiations visibles.

Ces modifications du climat de rayonnement en sous-bois sont de nature à influencer directement ou indirectement certains facteurs responsables de la croissance des arbres. Sans avoir analysé ceux-ci en détail, on peut penser que l'augmentation de l'accroissement en circonférence constatée dans les peuplements d'épicéas fortement éclaircis résulte en partie des modifications qualitatives et quantitatives du rayonnement pénétrant à l'intérieur de l'écosystème.

### **1. Introduction**

L'augmentation de croissance individuelle constatée chez *Picea abies* (L.) Karsten à la suite d'une éclaircie forte (ANDRÉ, 1976 ; BRYNDUM, 1976 ; BONDUELLE, 1975) résulte de deux phénomènes distincts : la diminution de la compétition et les modifications du milieu de croissance. Le cadre général de nos activités de recherche ne traite que de cette deuxième composante.

Après avoir abordé certains aspects du bilan hydrique dans des peuplements de densités différentes (FRANÇOIS *et al.*, 1984), nous étudierons ici les variations qualitatives et quantitatives du rayonnement solaire reçu au niveau du sol, sous le couvert de peuplements traités selon deux intensités d'éclaircie sélective différentes.

## 2. Matériel et méthodes

### 2.1. Matériel expérimental

Plusieurs placeaux expérimentaux ont été installés dans le bois de Lauzelle en 1977. Situées à une altitude de 110 mètres sur un sol limoneux de type Aba (classification pédologique belge), deux parcelles d'épicéas âgés de 28 ans ont été éclaircies sélectivement et maintenues à des surfaces terrières constantes de 13 m<sup>2</sup>/ha (parcelle A) et 24 m<sup>2</sup>/ha (parcelle B). Les mesures du rayonnement ont été effectuées l'année suivant le premier passage en éclaircie. Profitant de trois journées estivales, nous avons étudié successivement le rayonnement global ou irradiance (de 0,3 à 3  $\mu$ ) exprimé en cal . cm<sup>-2</sup> . min<sup>-1</sup> et la partie visible du spectre ou éclairnement (de 0,3 à 0,78  $\mu$ ) exprimé en lux. Les deux types d'appareils utilisés étaient respectivement la pile de Volochine et le luxmètre de Langhe. Les cellules sensibles de ces deux appareils ont été placées à 20 cm au-dessus du sol, sur un plan horizontal.

Outre ces mesures réalisées au niveau du sol, sous le couvert des peuplements, un poste climatologique a été installé sur une pelouse située à quelque 50 mètres du dispositif. Par hypothèse et en vue d'éviter un investissement en matériel assez considérable, ces données enregistrées à découvert ont été assimilées à celles du rayonnement incident aux peuplements forestiers.

### 2.2. Modèle d'extinction

Dès son entrée dans l'écosystème forestier, le rayonnement global subit des modifications quantitatives et qualitatives. Sur le plan quantitatif, il existe plusieurs modèles qui caractérisent l'extinction en fonction du type de couvert forestier (ALEXANDRE, 1982 ; ANDERSON, 1966 ; DUTHIL, 1973). Sur le plan qualitatif, les modifications spectrales subies par le rayonnement incident ont déjà fait l'objet de nombreux travaux (BRASSEUR & DE SLOOVER, 1973 ; ROUSSEL, 1953 ; VEZINA, 1961).

La décomposition du rayonnement solaire incident (G) atteignant une futaie équienne peut être présentée de la manière schématique suivante (fig. 1) :

- une partie du rayonnement est réfléchiée par l'interface supérieure cime-atmosphère (Gr) ;

- une fraction est absorbée par les cimes et surtout par les masses chlorophylliennes (Ga) ;

- la dernière partie atteint le sol [G]. Celle-ci est d'abord composée du rayonnement transmis par le feuillage (Gt) et qui est de nature diffuse. Mais il faut y ajouter la part de rayonnement incident qui percole par les espaces laissés libres entre les cimes et qui comprend, en proportions variables suivant les caractéristiques générales de l'atmosphère, un rayonnement diffus ([Rdi]) et un rayonnement incident direct ([RID]). Enfin, selon l'inclinaison du feuillage et la disposition des trouées, une partie du rayonnement incident est réfléchiée, souvent en plusieurs étapes, vers le bas.

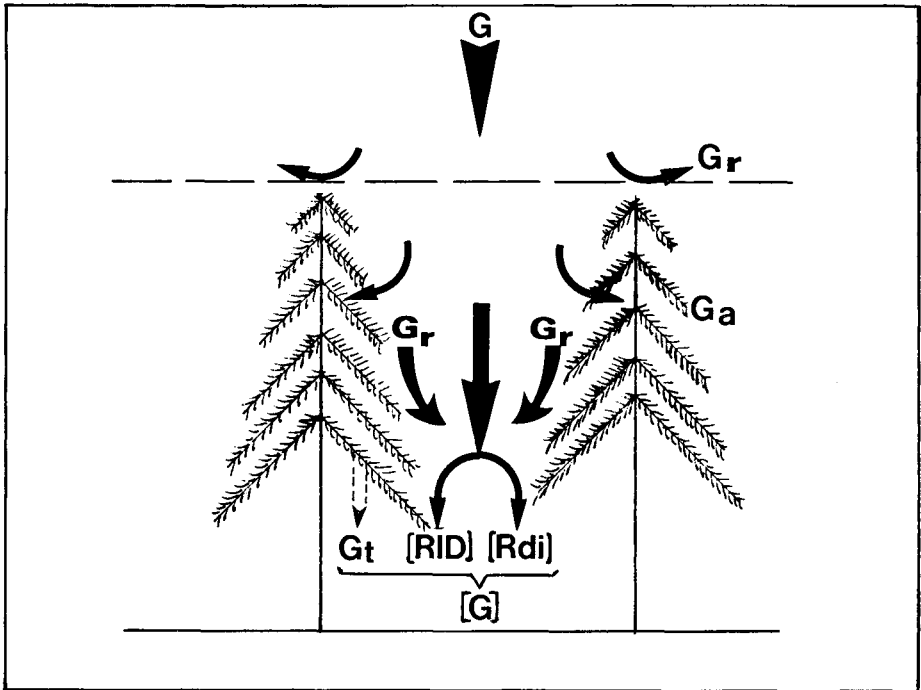


FIG. 1

*Schéma illustrant la décomposition du rayonnement solaire incident atteignant une futaie équienne.*

*Schematic draft showing the partition of solar radiation dropping on an uniform high forest.*

- $G$  : Rayonnement solaire incident.  
*Solar radiation.*
- $Ga$  : Rayonnement absorbé.  
*Absorbed radiation by the canopy.*
- $Gr$  : Rayonnement réfléchi.  
*Reflected radiation by the canopy.*
- $Gt$  : Rayonnement transmis.  
*Transmitted radiation through the canopy.*
- $[RID]$  : Partie du rayonnement solaire incident direct atteignant le sous-bois.  
*Part of the direct solar radiation observed beneath the canopy.*
- $[Rdi]$  : Partie du rayonnement solaire diffus atteignant le sous-bois.  
*Part of the indirect solar radiation observed beneath the canopy.*
- $[G]$  : Rayonnement sous le couvert des arbres.  
*Total solar radiation observed beneath the canopy.*

Le rayonnement ([G]) mesuré au niveau du sol, sous le couvert forestier, est égal à :

$$[G] = G_t + [RID] + [Rdi]$$

ou encore :

$$G = RID + Rdi - Gr - Ga$$

L'extinction est définie comme étant la différence entre le rayonnement incident (G) et le rayonnement perçu au niveau du sol ([G]).

La fraction de rayonnement atteignant le sol est exprimée par le rapport  $[G]/G \cdot 100$ .

Du point de vue qualitatif, rappelons que la réflexion ( $Gr$ ) se réalise essentiellement dans le vert et l'infra-rouge solaire et que le rayonnement transmis ( $G_t$ ) se caractérise par un maximum d'intensité dans le vert.

### 2.3. Méthode de mesures

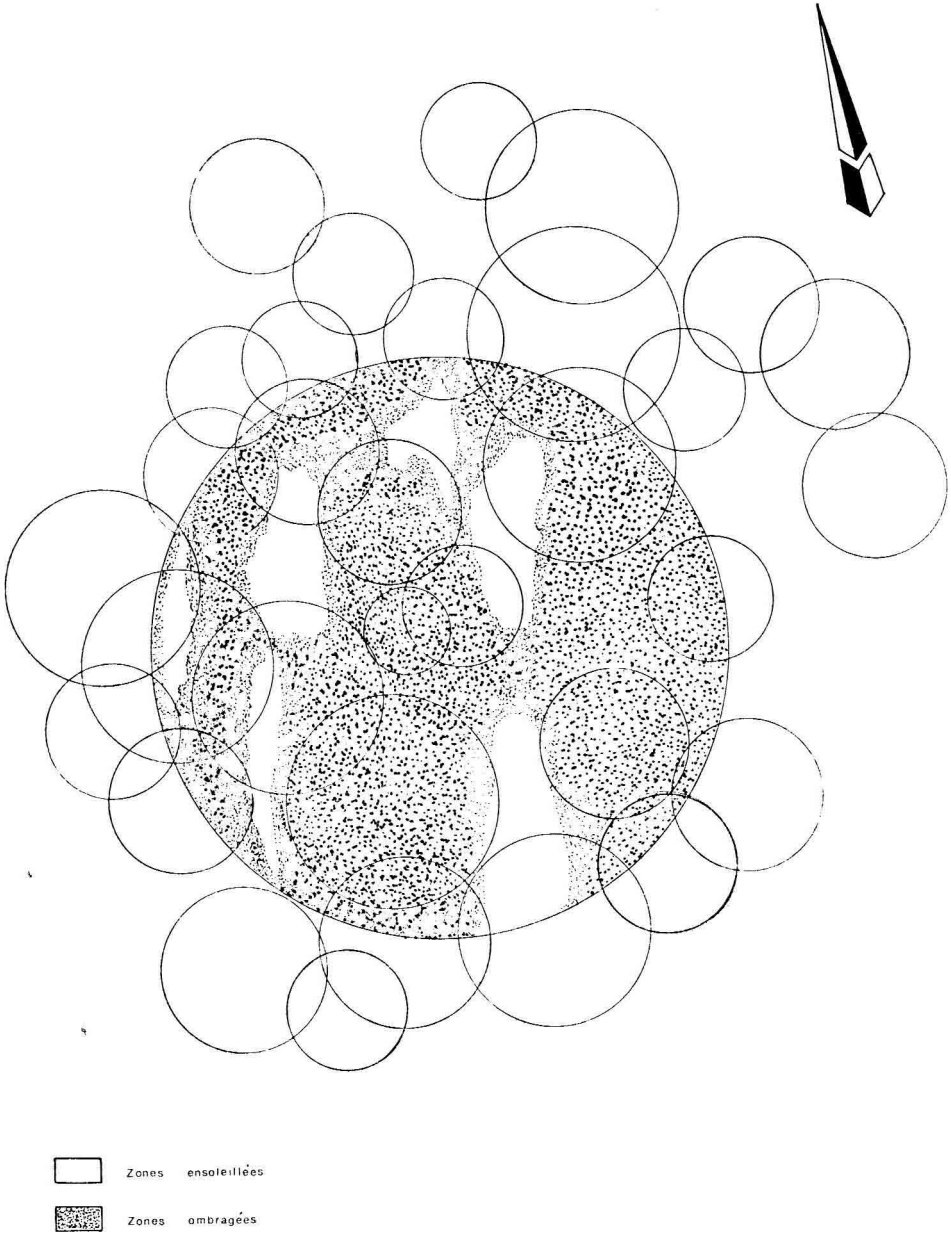
Les mesures ont été effectuées lors de trois journées estivales par ciel serein, les 13 et 25 juillet et le 19 août 1978.

### 2.4. Traitement des données

Les modalités d'extinction du rayonnement solaire à travers les cimes déterminent le dessin au sol d'une mosaïque de taches d'ombre et de taches de lumière. Les premières ne disposent que d'un rayonnement diffus et/ou transmis, tandis que les secondes bénéficient en plus d'un rayonnement incident direct. Cette répartition varie au cours de la journée et des saisons. Le calcul de moyennes arithmétiques au départ de données enregistrées dans une parcelle à un moment déterminé ne serait exact que si la répartition spatiale des surfaces ombragées et ensoleillées était proportionnelle au nombre de mesures effectuées dans chacune d'elles. Ce qui n'est pas réalisable dans notre dispositif expérimental, étant donné que nous avons choisi de manière aléatoire 10 points fixes de mesures. Le récent travail de PECH (1983) souligne bien cette difficulté.

Nous avons dès lors été amenés à calculer des moyennes pondérées qui tiennent compte des surfaces réellement occupées au sol, à un moment précis, par les taches d'ombre et de lumière. L'établissement de ces moyennes pondérées peut être scindé en deux phases :

1. La première opération consiste à décrire la distribution spatiale des surfaces ensoleillées en fonction de l'inclinaison solaire. Pour chaque journée de travail et à chaque heure de mesures, il a été dressé un plan à l'échelle des taches de lumière à l'intérieur d'un cercle de 5 mètres de rayon prévu pour ces observations. Ce dernier est localisé au centre des placeaux expérimentaux d'une superficie de 8 ares chacun. Un de ces relevés cartographiques est présenté à titre d'exemple à la figure 2. Sur toutes les cartes ainsi établies, les surfaces soumises à un rayonnement incident direct ont été planimétrées. Il est ainsi possible de connaître heure par heure et pour chaque journée d'observation les surfaces ensoleillées ou non. A titre d'exemple, le tableau 1 montre l'évolution horaire des surfaces ensoleillées (exprimées en  $m^2$  ou en pour cent de la surface totale d'observation) sous le couvert des parcelles A et B, pour la journée du 13 juillet.

**FIG. 2**

*Plan des zones ensoleillées et ombragées sous le couvert de la parcelle B,  
le 13 juillet à 12 heures.*

*Map of the sunned and shaded surfaces beneath the canopy of stand B,  
on July 13 at 12 o'clock*

TABLEAU 1

*Evolution horaire des surfaces ensoleillées exprimées en valeur absolue (m<sup>2</sup>) et relative (p. 100) sous le couvert des parcelles A et B en date du 13 juillet.*

*Horary evolution of the sunned surfaces in absolute (m<sup>2</sup>) and relative (p. 100) values beneath the canopies of stands A and B, on July 15.*

Heures	Parcelles	Surfaces m <sup>2</sup>	Pourcentages de la surface totale (%)
10 h	A	16,34	21
	B	11,62	15
11 h	A	20,40	26
	B	12,83	16
12 h	A	24,30	31
	B	14,05	18
14 h	A	26,70	34
	B	14,22	18
15 h	A	24,82	32
	B	13,13	17
16 h	A	22,56	29
	B	12,14	15

2. La seconde étape a trait au calcul proprement dit des moyennes pondérées. Les différentes opérations réalisées sont présentées schématiquement au tableau 2.

Dès le départ, les mesures d'irradiation et d'éclairement sont notées séparément selon qu'elles ont été observées dans une tache d'ombre ou de lumière. On établit ainsi une moyenne horaire séparée pour chacun des deux cas. Ces moyennes spécifiques sont ensuite multipliées par des coefficients pondérateurs faisant intervenir la proportion entre surfaces ensoleillées ou ombragées.

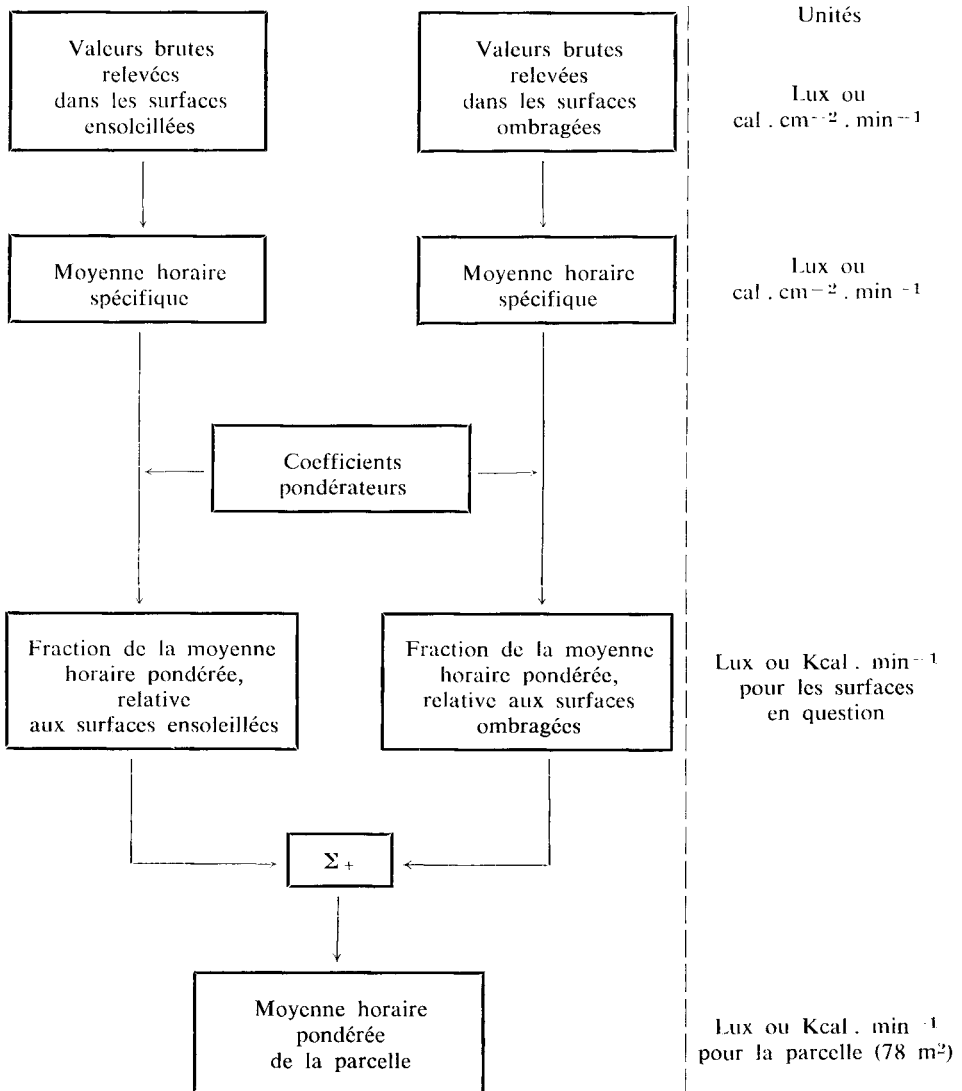
En ce qui concerne les mesures de l'irradiance, nous avons tout simplement multiplié les moyennes spécifiques (cal. cm<sup>-2</sup>. m<sup>-1</sup>) par les superficies correspondantes de façon à obtenir l'irradiance totale sur ces dernières (cal. m<sup>-1</sup> pour la superficie en question). Pour l'éclairement, les moyennes horaires spécifiques exprimées en lux ont été multipliées par les pourcentages respectifs des superficies ensoleillées ou ombragées par rapport à la surface du périmètre d'observation.

Dans les deux cas, nous parlerons, à ce stade, de la fraction de la moyenne horaire pondérée de la parcelle. Les fractions relatives aux surfaces ombragées et ensoleillées sont additionnées pour fournir la valeur moyenne horaire pondérée du rayonnement reçu sous le couvert des cimes à une heure déterminée de la journée.

TABLEAU 2

Présentation schématique des étapes du calcul de la moyenne horaire pondérée de l'irradiance ( $\text{cal} \cdot \text{min}^{-1}$ ) ou de l'éclairement (lux) pour le périmètre d'observation.

Diagram draft showing the calculation steps of horary balanced mean of solar radiation ( $\text{cal} \cdot \text{min}^{-1}$ ) or illumination (lux) for an observation stand.



### 3. Résultats et interprétation

#### 3.1. L'éclairciment

Le tableau 3 reprend les principales données de l'évolution de l'éclairciment horaire moyen perçu au niveau du sol dans les deux parcelles expérimentales et au poste climatologique à découvert, au cours de la journée du 13 juillet. Cette évolution journalière est comparable à celles enregistrées pendant les deux autres journées de mesures, et dès lors, seuls les résultats complets de la première journée sont présentés.

TABLEAU 3

*Evolution de l'éclairciment horaire moyen exprimé en  $10^3$  lux, sous le couvert des parcelles A et B, ainsi qu'à découvert (T) au cours de la journée du 13 juillet.*

*Evolution of the horary mean illumination ( $10^3$  lux) beneath the canopies of stands A and B, and in open field (T), on July 15.*

Heures	Parcelles	Moyennes spécifiques des surfaces ensoleillées	Moyennes spécifiques des surfaces ombragées	Fractions de la moyenne pondérée relative aux surfaces ensoleillées	Fractions de la moyenne pondérée relative aux surfaces ombragées	Moyennes pondérées de la parcelle
10 h	T	45,19	—	45,19	—	45,19
	A	—	1,79	—	1,79	1,79
	B	—	0,74	—	0,74	0,74
11 h	T	51,19	—	51,19	—	51,19
	A	3,35	2,70	0,87	2,00	2,87
	B	2,18	0,58	0,35	0,49	0,84
12 h	T	84,20	—	84,20	—	84,20
	A	24,40	4,68	7,56	3,23	10,79
	B	10,20	1,15	1,84	0,94	2,78
14 h	T	104,80	—	104,80	—	104,80
	A	33,73	4,15	11,47	2,74	14,21
	B	14,10	1,02	2,54	0,84	3,38
15 h	T	94,47	—	94,47	—	94,47
	A	31,10	3,99	9,95	2,71	12,66
	B	11,80	0,95	2,01	0,79	2,80
16 h	T	68,37	—	68,37	—	68,37
	A	24,52	3,61	7,11	2,56	9,67
	B	9,95	0,88	1,49	0,75	2,24



Dans les deux parcelles éclaircies comme au poste climatologique, l'évolution journalière de l'éclairement présente un maximum aux environs de 14 heures, mais l'amplitude de la variation journalière dépend de la densité du peuplement : plus celle-ci diminue, plus l'amplitude de variation augmente. A tout moment de la journée, l'éclairement mesuré dans la parcelle B est inférieur à celui reçu sous le couvert de la parcelle A. Cette différence est d'abord à mettre en relation avec le fait que les surfaces ensoleillées, où parvient un éclairement plus important, sont plus fréquentes sous un couvert clairsemé (tabl. 1). D'autre part, les résultats du tableau 3 montrent que, dans la parcelle fortement éclaircie, les valeurs enregistrées sont toujours plus élevées aussi bien pour les surfaces ensoleillées que pour les surfaces ombragées. C'est d'abord parce que l'intensité du rayonnement diffus dépend essentiellement de l'épaisseur du couvert (BINKLEY & MERITT, 1977). En outre, l'espacement des cimes augmente la proportion de rayonnement incident réfléchi vers le bas.

Les valeurs moyennes journalières de l'éclairement pour les trois journées de mesures sont présentées au tableau 4. Elles confirment les principales conclusions dégagées ci-dessus. La quantité relative de lumière atteignant le sol par rapport au flux lumineux incident est exprimée par la fraction d'éclairement ( $[I]/I$ ) que nous avons défini en 2.

TABLEAU 4

*Eclaircissements journaliers ( $[I]$  exprimés en  $10^3$  lux)  
et fractions d'éclairement correspondantes ( $[I]/I$  en p. 100)  
dans le sous-bois des parcelles A et B pour chacune des 3 journées d'observation.*

*Daily mean illumination ( $[I]$  :  $10^3$  lux)  
and corresponding illumination ratio ( $[I]/I$  : p. 100)  
beneath the canopies of stands A and B for each three observation days.*

Date		I		II		III		T
		A	B	A	B	A	B	
13 juillet	[I]	2,51	0,76	6,16	1,37	8,67	2,13	74,70
	[I]/I	3,35	1,02	8,25	1,84	11,60	2,85	100
25 juillet	[I]	3,31	1,03	11,60	3,92	14,91	4,95	70,66
	[I]/I	4,68	1,46	16,42	5,55	21,10	7,01	100
19 août	[I]	1,50	0,50	10,70	4,97	12,20	5,47	67,53
	[I]/I	2,22	0,74	15,84	7,36	18,07	8,10	100
Moyenne des 3 jours	[I]	2,44	0,76	9,49	3,42	11,93	4,18	70,96
	[I]/I	3,44	1,07	13,37	4,82	16,81	5,89	100

**I** Fraction de la moyenne pondérée relative aux surfaces d'ombre.  
*Part of the balanced mean concerning the shady surfaces.*

**II** Fraction de la moyenne pondérée relative aux surfaces ensoleillées.  
*Part of the balanced mean concerning the sunned surfaces.*

**III** Moyenne pondérée de la parcelle (= I + II).  
*Balanced mean for the stand.*

**T** Eclairement à découvert.  
*Illumination in open field.*

En moyenne, on constate que l'extinction de la lumière passe de 94,1 p. 100 à 83,2 p. 100 sous l'effet d'une réduction de la densité de 46 p. 100. Pour une pessière âgée de 59 ans, BRASSEUR & DE SLOOVER (1973) citent une valeur d'extinction (98,9 p. 100) supérieure à celle que nous avons constatée pour la parcelle la moins éclaircie (B); ce qui s'explique d'une part par le caractère récent de la coupe d'éclaircie, et d'autre part, par le jeune âge de notre pessière. Il convient aussi de rappeler que la densité appliquée à cette parcelle (24 m<sup>2</sup>/ha) est nettement inférieure à celles généralement proposées par les tables de production de l'épicéa. DAGNELIE *et al.* (1976) renseignent une valeur de 38,2 m<sup>2</sup>/ha à 25 ans en 4<sup>e</sup> classe de fertilité.

### 3.2. L'irradiance

L'évolution journalière du rayonnement global énergétique relevé sous le couvert des parcelles A et B, ainsi qu'au poste climatologique (T), est reprise au tableau 5 pour la journée du 13 juillet.

TABLEAU 5

*Evolution de l'irradiance horaire moyenne exprimée en cal. min<sup>-1</sup> sous le couvert des parcelles A et B, ainsi qu'à découvert (T), au cours de la journée du 13 juillet.*

*Evolution of the horary mean solar radiation (cal. min<sup>-1</sup>) beneath the canopies of stands A and B, and in open field (T) on July 13.*

Heures	Parcelles	Moyennes spécifiques des surfaces ensoleillées	Moyennes spécifiques des surfaces ombragées	Fractions de la moyenne pondérée relative aux surfaces ensoleillées	Fractions de la moyenne pondérée relative aux surfaces ombragées	Moyennes pondérées de la parcelle pour la parcelle (78 m <sup>2</sup> )
		cal. cm <sup>-2</sup> . min <sup>-1</sup>		Kcal. min <sup>-1</sup> pour la surface en question		
10 h	T	0,698	—	548,21	—	548,21
	A	0,179	0,089	29,25	55,36	84,61
	B	—	0,064	—	50,27	50,27
11 h	T	0,702	—	551,35	—	551,35
	A	—	0,112	—	87,96	87,96
	B	0,206	0,049	26,43	32,20	58,63
12 h	T	1,010	—	793,25	—	793,25
	A	0,746	0,151	181,28	81,90	263,18
	B	0,320	0,025	44,96	16,12	61,08
14 h	T	1,092	—	857,65	—	857,65
	A	0,564	0,210	150,59	108,56	259,45
	B	0,530	0,038	75,37	24,44	99,81
15 h	T	0,984	—	772,00	—	772,83
	A	0,517	0,171	128,32	91,86	220,18
	B	0,321	0,036	42,15	23,55	65,70
16 h	T	0,794	—	623,61	—	623,61
	A	0,385	0,125	86,86	69,97	156,83
	B	0,341	0,047	41,40	31,21	72,61

Globalement, les variations de l'irradiance correspondent à celles enregistrées pour l'éclairement, à savoir :

- une évolution journalière parallèle dans les deux parcelles et à découvert ;
- des valeurs maximales observées vers 14 heures, sauf dans la parcelle A, où le maximum se manifeste un peu plus tôt ;
- une quantité d'irradiance favorablement influencée par une réduction du couvert forestier, tant dans les zones ensoleillées que dans les zones ombragées.

Il convient néanmoins de remarquer que l'écart entre les valeurs extrêmes est inférieur à celui observé pour l'éclairement. La réduction de la densité du peuplement semble donc avoir un effet sur la qualité du rayonnement transmis au sol. Cette modification qualitative sera analysée dans le chapitre suivant.

Regroupées sous forme de moyennes pour les trois journées de mesures, les valeurs de l'irradiance ( $[G]$ ) et de la fraction d'irradiance ( $[G]/G$ ) sont reprises au tableau 6.

TABLEAU 6

*Irradiances journalières moyennes ( $[G]$  exprimé en  $Kcal \cdot min^{-1}$ )  
et fractions d'irradiance correspondantes ( $[G]/G$  en p. 100)  
dans le sous-bois des parcelles A et B, pour chacune des 3 journées d'observation.*

*Daily mean solar radiation ( $[G]$  :  $Kcal \cdot min^{-1}$ )  
and corresponding solar radiation ratio ( $[G]/G$  : p. 100)  
beneath the canopies of stands A and B for each three observation days.*

Date		I		II		III		T
		A	B	A	B	A	B	
13 juillet	[G]	87,89	29,63	96,05	38,39	183,94	68,02	691,15
	[G]/G	12,72	4,29	13,90	5,55	26,61	9,84	100
25 juillet	[G]	106,50	40,30	122,30	86,60	228,80	126,90	778,80
	[G]/G	13,67	5,17	15,70	11,12	29,38	16,29	100
19 août	[G]	83,30	51,80	122,10	68,80	205,40	120,60	743,50
	[G]/G	11,20	6,97	16,42	9,25	27,63	16,22	100
Moyenne des 3 jours	[G]	92,56	40,58	113,48	64,60	206,05	105,17	737,81
	[G]/G	12,55	5,50	15,38	8,76	27,93	14,25	100

**I** Fraction de la moyenne pondérée relative aux surfaces d'ombre.  
*Part of the balanced mean concerning the shady surfaces.*

**II** Fraction de la moyenne pondérée relative aux surfaces ensoleillées.  
*Part of the balanced mean concerning the sunned surfaces.*

**III** Moyenne pondérée de la parcelle (= I + II).  
*Balanced mean for the stand.*

**T** Rayonnement incident direct à découvert.  
*Solar radiation in open field.*

La réduction de surface terrière opérée en parcelle A entraîne une augmentation de la quantité d'irradiance de 96 p. 100 par rapport à la parcelle B ; en effet, l'extinction passe de 85,7 p. 100 en parcelle B à 72,1 p. 100 en parcelle A. Une analyse plus détaillée montre que cet accroissement de l'irradiance constaté en parcelle A se répartit de manière équilibrée entre les zones ensoleillées et ombragées. A titre de comparaison, BRASSEUR & DE SLOOVER (1973) citent des pourcentages d'extinction de l'irradiance de 94,3 p. 100 pour une pessière âgée de 59 ans. L'écart existant avec nos valeurs tient essentiellement aux raisons déjà invoquées pour l'éclairement.

### 3.3. La relation « Lux-calorie »

La comparaison des valeurs de l'éclairement et de l'irradiance permet d'évaluer les modifications qualitatives du rayonnement solaire après son passage à travers les cimes. GRU LOIS & VYNCKE (1969) ont établi la relation suivante entre le lux et la calorie :

$$I \text{ lux} = k \cdot 10^{-5} \text{ calorie} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{min}^{-1}$$

où  $k$  représente le facteur d'équivalence, dont la valeur est d'autant plus élevée que la proportion de radiations visibles dans le spectre énergétique global est faible.

Pour faciliter l'interprétation des résultats, nous appellerons  $k$  le facteur d'équivalence calculé pour les valeurs observées au poste climatologique à découvert ( $T$ ), et  $k'$  celui établi pour les données recueillies à l'intérieur des deux parcelles boisées. Ainsi, l'effet sélectif des masses chlorophylliennes sur la qualité du rayonnement pourra être apprécié par le rapport d'équivalence  $k'/k$  déjà utilisé par GRU LOIS & VYNCKE (1969). Le tableau 7 résume ces données pour la première journée de mesures.

A découvert, la proportion de lumière dans le spectre global augmente jusqu'à 14 heures pour diminuer ensuite. Ce qui est classique pour une journée sereine.

Avant de discuter les résultats relatifs aux deux peuplements éclaircis, il convient de faire une remarque à propos de certaines valeurs du coefficient d'équivalence. En effet, dans la parcelle A, à 10 heures et 11 heures, les relevés de l'irradiance et de l'éclairement n'ont pas été pris exactement au même endroit en raison des difficultés d'organisation inhérentes à la méthode suivie. Aussi, à 10 heures, aucune mesure de l'éclairement n'a été prise dans une zone ensoleillée ; ce qui a pour conséquence de surestimer la valeur moyenne du facteur d'équivalence notée au tableau 7. A 11 heures, c'est au contraire l'irradiance qui manque pour les zones ensoleillées ; le coefficient d'équivalence est ici sous-estimé. On peut néanmoins penser qu'au niveau de la moyenne journalière, l'impact de cette erreur est négligeable. Heureusement, pour les deux autres journées de mesure, le problème ne s'est pas posé. Il n'empêche que l'obligation de réaliser simultanément des mesures en un même point avec deux appareils qu'il faut déplacer manuellement ne va sans poser des problèmes d'ordre technique.

Sous le couvert des cimes, le facteur d'équivalence ( $k'$ ) diminue jusqu'à 16 heures en parcelle A et 12 heures en parcelle B. En général, le rayonnement qui atteint le sol de la parcelle A est plus riche en radiations visibles que celui enregistré dans le peuplement B. La plus grande proportion de surfaces ensoleillées observées en parcelle A contribue certainement à favoriser ce phénomène. Les cimes absorbent, en

effet, préférentiellement les radiations visibles (ROUSSEL, 1966 ; VEZINA & BOULTER, 1966 ; GRULOIS, 1968). Exprimés en termes de rapports d'équivalence ( $k'/k$ ), les résultats traduisent mieux encore l'importance du filtre sélectif que constituent les cimes sur le rayonnement solaire global.

TABLEAU 7

*Evolution du facteur d'équivalence moyen horaire au cours de la journée du 13 juillet, sous le couvert des parcelles A et B ( $k'$ ) et à découvert ( $T : k$ ).*

*Evolution of horary mean equivalence factor beneath the canopies ( $k'$ ) of stands A and B, and in open field ( $k$ ), on July 13.*

Heures du relevé	k		k'		k'/k	
	T		A	B	A	B
10 h	1,54		6,02	8,65	3,91	5,62
11 h	1,37		3,90	8,89	2,85	6,49
12 h	1,20		3,11	2,80	2,59	2,33
14 h	1,04		2,32	3,76	2,23	3,62
15 h	1,04		2,21	2,99	2,13	2,88
16 h	1,16		2,06	4,13	1,78	3,56

Les valeurs moyennes journalières des facteurs et rapports d'équivalence sont reprises au tableau 8 pour chacune des trois journées d'observation. La pureté de l'air a été sensiblement différente au cours des trois journées, ainsi qu'en témoignent les variations du facteur d'équivalence calculé à découvert ( $k$ ). A titre de comparaison, DOGNIAUX (1960) cite une valeur de 1,53 pour la Moyenne Belgique et BRASSEUR & DE SLOOVER (1973) signale un facteur de 1,29 au cours d'observations réalisées en Haute-Ardenne le 22-9-1970. TRANQUILLINI (1960) trouve des valeurs oscillant entre 1,16 et 1,48 pour des hauteurs solaires variant de 10 à 50 p. 100.

TABLEAU 8

*Facteurs d'équivalence moyens journaliers sous le couvert des parcelles A et B ( $k'$ ) et à découvert ( $T : k$ ) pour chaque journée d'observation.*

*Daily mean equivalence factor beneath the canopies ( $k'$ ) of stands A and B, and in open field ( $T : k$ ) for each three observation days.*

	13 juillet			25 juillet			19 août		
	T	A	B	T	A	B	T	A	B
k . . . . .	1,23	—	—	1,28	—	—	1,44	—	—
k' . . . . .	—	3,27	5,20	—	2,36	5,84	—	2,74	4,55
k'/k . . . .	—	2,66	4,23	—	1,84	4,57	—	1,90	3,16

En moyenne pour les trois journées, le facteur d'équivalence passe de 5,2 à 2,8 lorsque la densité est réduite de 24 à 13 m<sup>2</sup>/ha. La première valeur est très proche de celle signalée par BRASSEUR & DE SLOOVER (1973) sous le couvert d'une pessière de 56 ans en Haute-Ardenne, éclaircie d'une manière classique : 5,80 le 23-7-1970. GRULOIS & VYNCKE (1969) ont trouvé des valeurs de 12,05 sous le couvert d'une chênaie mélangée de l'Entre-Sambre-et-Meuse pour le mois de septembre. Il paraît donc évident que le desserrement sélectif intense augmente la proportion des radiations visibles dans le rayonnement reçu en sous-bois. Cette assertion est encore mieux soulignée si l'on considère que les valeurs moyennes du rapport d'équivalence calculées sur les 3 journées passent de 3,99 en parcelle B à 2,13 en parcelle A.

D'autres observations qui feront l'objet d'une prochaine publication tendent à montrer que l'élément déterminant réside dans une augmentation de la température de la litière et de celle des premiers horizons pédologiques, avec pour conséquence, une augmentation de l'activité biologique et du turn-over de la matière organique. La disponibilité en éléments minéraux s'en trouverait donc accrue et l'on peut penser que le taux d'assimilation de ces éléments minéraux par les racines pourrait être influencé favorablement.

En résumé, il apparaît que si la surface terrière des peuplements d'épicéas âgés de 28 ans passe de 24 m<sup>2</sup>/ha à 13 m<sup>2</sup>/ha, le rayonnement mesuré au niveau du sol augmente, surtout dans le visible : l'éclairement s'accroît de 185 p. 100 contre 96 p. 100 seulement pour le rayonnement global.

Il reste à savoir dans quelle mesure cette modification qualitative et quantitative du rayonnement incident provoquée par une plus forte ouverture du peuplement, contribue à augmenter la croissance individuelle des arbres.

On peut bien sûr penser à une amélioration globale du micro-climat forestier dont dépend la croissance en général. Le rayonnement, facteur primaire, exerce en effet une action sur tout l'environnement.

Il est aussi évident que les cimes bien espacées disposent de plus de radiations photosynthétiquement actives.

*Reçu le 12 avril 1984.*

*Accepté le 12 octobre 1984.*

### Summary

#### *Influence of thinning intensity on extinction coefficient of solar radiation in young stands of spruce (Picea abies (L.) Karst.)*

As part of a program aimed at studying the influence of thinnings on the physiology conifer trees (*P. abies*), the authors have recorded the qualitative and quantitative modifications of solar radiation under stands of 13 and 24 m<sup>2</sup>/ha basal area.

Upon a 46 p. 100 stand density reduction, the illumination (0.3 - 0.78  $\mu$ ) increases by 185 p. 100 while the solar radiation (0.3 - 3  $\mu$ ) increases by 96 p. 100. The increased radiation is thus enriched in the visible part of the spectrum. It is suggested that these modifications of the radiation beneath the uniform high forest can influence the growth rate of trees. It has been observed that substantial increases in tree diameter are obtained in stands intensely thinned.

## Références bibliographiques

- ALEXANDRE D.Y., 1982. Pénétration de la lumière au niveau du sous-bois d'une forêt tropicale. *Ann. Sci. For.*, **39**, 419-438.
- ANDERSON M.C., 1966. Stand structure and light penetration. II - A theoretical analysis. *J. Appl. Ecol.*, **3**, 41-54.
- ANDRÉ P., 1976. Premières éclaircies en peuplements résineux. *Bull. Soc. R. For. de Belgique*, **83**, 1-19.
- BINKLEY S.F., MERITT C.V.B., 1977. Sampling light intensity in a young pine plantation. *Canadian Journal Forest Sciences*, **7**, 700-702.
- BRASSEUR F., DE SLOOVER J.R., 1973. L'extinction de l'irradiance et de l'éclairement dans deux peuplements forestiers de Haute-Ardenne. *Bull. Soc. R. Bot. de Belgique*, **106**, 219-236.
- BRINDUM H., 1976. Preliminary results from some new Danish thinning experiments with Norway spruce on Fertile soils. In : *Aspects of thinning*, HAMILTON G.P., *Forestry Commission Bulletin*, **55**, 22-36.
- BONDUELLE P., 1975. Première éclaircie de l'épicéa et production. A.F.O.C.E.L., Paris, 409-463.
- DAGNELIE P., RONDEUX J., THILL A., 1976. Tables dendrométriques. *Les Presses Agronomiques de Gembloux*, 128 p.
- DOGNIAUX R., 1960. *Données météorologiques concernant l'ensoleillement et l'éclairage naturel*. Institut Royal Météorologique de Uccle, Contr. N° 60, 25 p.
- DUTHIL J., 1973. *Eléments d'écologie en agronomie*. J.-P. Ballière et Fils, Paris, tome 3, 654 p.
- FRANÇOIS F., MERTENS P., ANDRÉ P., DEVILLEZ F., 1984. Egouttement en jeunes pessières et intensité de la première éclaircie. *Ann. Sci. For.*, **41**, 439-448.
- GRUOIS J., 1968. La chênaie mélangée de Virelles-Blaimont : réflexion, interception et transmission du rayonnement de courtes longueurs d'onde ; variations au cours d'une année. *Bull. Soc. R. Bot. de Belgique*, **102**, 13-25.
- GRUOIS J., VYNCKE G., 1969. Relation entre les éclaircissements lumineux et énergétique en chênaie calcaire (phénophases feuillée et défeuillée). *Oecologia plantarum*, **5**, 395-409.
- PECH G., 1983. *Mobile sampling of solar radiation under conifers*. 16th Conference on Agriculture and Forest Meteorology, Ft Collins, April 25-29 ; published by the American Meteorological Society, Boston, 216-217.
- ROUSSEL L., 1953. Recherches théoriques et pratiques sur la répartition en quantité et en qualité de la lumière dans le milieu forestier, influence sur la végétation. *Annales Ecoles Nationales des Eaux et Forêts*, Nancy, **13**, 295-400.
- ROUSSEL L., 1966. Les radiations naturelles et la forêt (Eléments de photologie forestière). *Bulletin trimestriel de la Société forestière de Franche-Comté*, **1**, 4-79.
- TRANQUILLINI W., 1960. Das Lichtklima wichtiger Pflanzengesellschaften. *Encyclopedia of Plant Physiology*, Springer-Verlag, Berlin, Tome 5, 304-338.
- VEZINA P.E., 1961. Variation in total solar radiation in three Norway spruce plantations. *Forest Sciences*, **7**, 257-264.
- VEZINA P.E., BOULTER D.W.K., 1966. The spectral composition of near ultraviolet and visible radiation beneath forest canopies. *Can. J. Bot.*, **44**, 1267-1284.