

Etude comparative de deux écosystèmes forestiers feuillu et résineux des Ardennes primaires françaises

II. - Biomasse aérienne d'une plantation équienne d'Épicéa commun (*Picea abies* Karst.)

D. RANGER, C. NYS, J. RANGER

avec la collaboration technique de

C. BRECHET, J. DOUDOU, D. GELHAYE, Y. LEFEVRE

*I.N.R.A., Station de Recherches sur les Sols forestiers et la Fertilisation
Centre de Recherches forestières de Nancy,
Champenoux, F 54280 Seichamps*

Résumé

Cette deuxième contribution à l'étude comparative du fonctionnement des deux écosystèmes forestiers (feuillu et résineux) des Ardennes primaires, rend compte du résultat de la biomasse du peuplement d'Épicéa commun (*Picea abies* Karst.).

Des tarifs de biomasse, globaux (arbre total) et compartimentés (feuilles, branches, troncs) ont été établis à partir d'un échantillonnage stratifié par classe de surface terrière.

Ces tarifs permettent d'évaluer les biomasses à l'hectare d'un tel peuplement. Elle s'élève à 182 tonnes par hectare (t/ha) de matière sèche dans les arbres vivants (âgés de 48 ans). La production courante est de 11,4 t/ha/an, comparable à celle d'une pessière un peu plus âgée (55 ans) située en Ardennes luxembourgeoises qui est de 13,8 t/ha/an.

La production moyenne de la pessière étudiée est cependant plus élevée que celle du taillis-sous-futaie voisin (3,8 contre 2,1 t/ha/an).

Un premier article dans cette revue (RANGER *et al.*, 1980) rendait compte de l'évaluation de la biomasse aérienne du peuplement feuillu : un taillis-sous-futaie. Cette deuxième contribution porte sur celle de la pessière.

Nous présentons ici la biomasse aérienne de la plantation d'épicéa ainsi que les tarifs compartimentés servant à son évaluation.

1. - Ecologie et caractéristiques du peuplement

1.1. La station

Le peuplement d'épicéa est situé dans la parcelle du taillis-sous-futaie située en forêt de Château-Regnault et étudiée dans le premier rapport. Il s'agit d'une

plantation d'enrichissement local après coupe (dégats de guerre). Ces peuplements ont été choisis pour l'analogie de leur situation écologique permettant ainsi la comparaison au niveau de la circulation des éléments minéraux dans ces deux écosystèmes.

Les caractéristiques écologiques (climat, sol...) sont identiques à celles du peuplement feuillu aux modifications près dues à la présence d'un peuplement résineux : l'humus est de type moder, le sol a une tendance ocreuse, la végétation au sol est inexistante.

1.2. Le peuplement

Il est décrit dans le tableau 1. C'est un peuplement dense issu d'une plantation serrée (1,5 m × 1,5 m) réalisée en 1931 et non éclaircie depuis, excepté le nettoyage des arbres morts en 1976. Il est cependant représentatif des pessières rencontrées dans cette région.

TABLEAU I

Caractéristiques dendrométriques du peuplement d'épicéa (données rapportées à l'hectare)
Forest mensuration data of the spruce stand (data per ha.)

	Nombre de tiges par hectare	C 130 (mm) *	σ C 130	\bar{g} (cm ²) **	σ g	\bar{h} (m) ***
Arbres vivants	1 386	553.7	158.3	263.7	152.7	16.5
Arbres morts	343	266.8	60.1	59.4	25.7	11.0
Total	1 729					

* : C 130 de l'arbre moyen (moyenne arithmétique des circonférences à 1.3 m de la placette)

** : \bar{g} de l'arbre moyen (moyenne arithmétique des surfaces terrières de la placette)

*** : hauteur de l'arbre de C 130 moyen

2. - Méthodologie de détermination de la biomasse

2.1. Plan d'échantillonnage

L'inventaire de tous les arbres est effectué sur la surface expérimentale de 0,07 hectare. La figure 1 donne la distribution des surfaces terrières.

L'échantillonnage, globalement basé sur le même principe que pour les feuillus, a été effectué fin 1977. Il s'agit d'un échantillon stratifié par classe de surface terrière ; 8 classes de 100 cm² sont définies. Les arbres échantillons sont les termes médians des classes. Dans chaque classe, l'intensité d'échantillonnage est faite au prorata du nombre de tiges. En pratique, les arbres retenus sont ceux dont la surface terrière se rapproche le plus du terme médian.

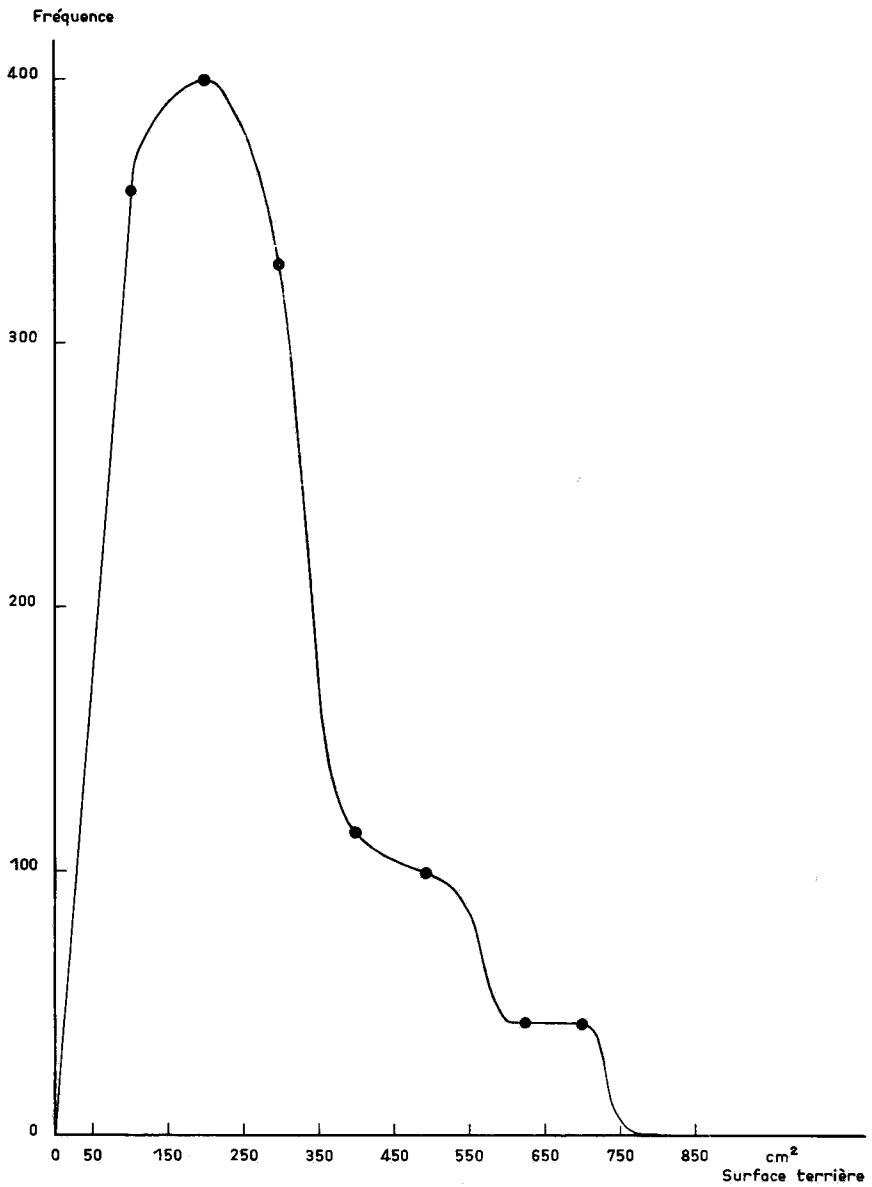


FIG. 1

Structure du peuplement d'épicéa (données à l'hectare)
Spruce stand structure (data per ha.)

23 arbres ont été échantillonnés (ces arbres ont été pris à proximité immédiate de la placette expérimentale qui ne pouvait être détruite).

Remarque : L'architecture verticillée des résineux fait qu'en particulier pour la détermination de la masse foliaire, il est indispensable de tenir compte de la position de la branche dans la couronne (RIEDACKER, 1969). Nous avons pu vérifier cette affirmation pour le pin laricio de Corse (RANGER, 1977). De plus, pour la détermination des minéralomasses, certains auteurs ont montré que les concentrations en bioéléments varient pour un organe donné avec sa position dans la couronne (WELLS & METZ, 1963 ; WELLS & JØRGENSEN, 1968 ; RANGER, 1980).

Pour tenir compte de ces différentes remarques, nous avons divisé la couronne en niveaux correspondant chacun à 5 verticilles. Pour les branches vivantes 3 à 4 niveaux sont définis en fonction de la taille des arbres. Pour les branches mortes, 2 niveaux ont été séparés.

Les mesures de terrain et l'échantillonnage diffèrent de ceux des feuillus par la seule détermination du nouveau paramètre : position des branches dans la couronne.

Sont relevés :

- pour les troncs : circonférence à 1,30 m (C 130), hauteur totale h ; une rondelle est prélevée tous les mètres, la masse humide de chaque unité est mesurée ;
- pour les branches vivantes : tous les diamètres à 10 centimètres de l'insertion (D 10) sont mesurés ; 3 branches par niveau et par arbre sont prélevées et conditionnées en sacs plastique ;
- pour les branches mortes : tous les diamètres (D 10) sont mesurés ; 2 branches par arbre et par niveau sont prélevées.

2.2. Méthodes de calcul

2.2.1. Les tarifs

Le même modèle que celui utilisé pour les feuillus a été retenu : il s'agit du modèle allométrique avec transformation logarithmique des données et correction du biais, utilisé par BASKERVILLE (1972).

2.2.1.1. Les tarifs intermédiaires

Ces tarifs sont indispensables pour calculer la biomasse d'une branche en fonction de son diamètre (D 10) et de sa position dans la couronne.

2.2.1.2. Les tarifs définitifs

Les biomasses individuelles de chaque branche, calculées à partir des tarifs intermédiaires, sont sommées par compartiment (aiguilles ; écorce + bois) et par niveau. Nous obtenons ainsi de nouvelles variables que nous mettons en relation avec un paramètre d'usage courant en foresterie : la circonférence de l'arbre à 1,30 m (C 130).

2.2.2. Calcul de la biomasse du peuplement

Le même principe de calcul que pour les feuillus est utilisé :

Les tarifs permettent de calculer la biomasse compartimentée du terme médian de chaque classe de surface terrière. Il suffit ensuite de multiplier la valeur obtenue par la fréquence à l'hectare de la classe puis de sommer les différentes classes.

2.23. Mesure de la productivité du peuplement

En 1977, nous avons déterminé les tarifs et la biomasse de la pessière. La productivité courante d'un peuplement représente la vitesse de production de biomasse. Elle a été déterminée à partir de la mesure de l'accroissement moyen du tronc à 1,30 m, pendant les 5 dernières années de végétation, obtenue par la lecture de l'épaisseur des cernes sur des carottes de sondage (prélevées à la tarière de Pressler en mars 1980). A partir de ces mesures d'épaisseur de cernes, nous avons effectué deux types de calcul conduisant à l'évaluation de la productivité courante :

1. Si on considère que les tarifs établis en 1977 restent applicables dans un laps de temps assez court (ce qui représente une certaine approximation) on les applique au nouvel inventaire du peuplement de l'année $n + 1$. La différence de biomasse entre les années n et $n + 1$ représente la productivité courante du peuplement en biomasse.

2. Le tarif de biomasse utilisé est le suivant :

$$\log(\text{matière sèche}) = A + B \log(C_{130})$$

La quantité de matière sèche (MS) est obtenue, après correction du biais liée à la transformation logarithmique des données, par la formule :

$$MS = 10 \left[A + B \log(C_{130}) + \frac{\sigma^2}{2} \right] \quad (\text{RANGER } et \text{ al.}, 1980).$$

La productivité courante de biomasse est la dérivée de l'expression (1) soit :

$$d[MS] = MS \times \frac{B \times d[C 130]}{C 130}$$

où $d[C 130]$ est l'accroissement de circonférence entre les années n et $n + 1$.

Les résultats des deux types de calcul seront comparés.

3. - Les résultats

3.1. Les tarifs

3.11. Les tarifs intermédiaires

Il s'agit d'un outil de calcul qui présente un certain intérêt ; c'est pourquoi nous le présentons dans le tableau 2.

Remarque sur la spécificité des tarifs donnant la biomasse d'une branche en fonction de son diamètre pour un niveau donné :

La couronne des arbres a été divisée en niveaux de 6 verticilles. Cette découpe est arbitraire et nous vérifions si la stratification adoptée se justifie et si les tarifs de biomasse des branches sont spécifiques ou non. Pour cela nous testons l'égalité des coefficients de régression : pente et ordonnée à l'origine des droites.

L'hypothèse de parallélisme est acceptée (tableau 3) à 1 et 5 p. 100 aussi bien pour les branches vivantes que pour les branches mortes.

Pour les branches vivantes, les ordonnées à l'origine sont différentes, les droites ne coïncident pas avec un tarif unique tous niveaux confondus.

TABLEAU 2
Tarifs intermédiaires de biomasse
Intermediate tables for biomass

Niveau	n	Compartment	A	B	σ	r
		branches vivantes				
A	66	feuilles	— 0,7463	2,369	0,264	0,898 ***
		écorce + bois	— 1,0530	2,554	0,230	0,929 ***
B	67	feuilles	— 0,0633	1,915	0,164	0,886 ***
		écorce + bois	— 0,5894	2,313	0,092	0,972 ***
C	60	feuilles	— 0,7556	2,283	0,284	0,873 ***
		écorce + bois	— 0,5757	2,332	0,073	0,990 ***
D	16	feuilles	— 1,5240	2,676	0,266	0,863 ***
		écorce + bois	— 0,7403	2,472	0,080	0,982 ***
Sans distinction de niveau	209	feuilles	— 0,5386	2,173	0,278	0,890 ***
		écorce + bois	— 1,0610	2,677	0,171	0,969 ***
		branches mortes				
1	47	écorce + bois	— 0,7269	2,379	0,126	0,962 ***
2	53	écorce + bois	— 0,7509	2,423	0,096	0,988 ***
Sans distinction de niveau ...	100	écorce + bois	— 0,7486	2,411	0,111	0,979 ***

$$Y = A + Bx \Leftrightarrow \log(\text{matière sèche du compartiment } g) = A + B \log(D \text{ 10 mm})$$

σ = écart-type résiduel

r = coefficient de corrélation

0,001 ***
0,01 **
0,05 ** } seuil de signification

TABLEAU 3
Test de spécificité des tarifs intermédiaires
Specificity test of the intermediate tables

	Branches vivantes (niveaux : A, B, C et D)			Branches mortes (niveaux n1 et n2)		Niveau D et branches mortes	
	F calculé			F calculé	F théorique F_{100}^1	F calculé	F théorique F_{100}^2
	Aiguilles	Bois + écorce	Total				
Test de parallélisme . . .	1,79	1,67	1,72	0,21	5 % 3,84	0,15	5 % 3,10
					1 % 6,64		1 % 4,80
Test de coïncidence . . .	21,91	25,12	16,85	0,19	5 % 3,84	4,5	5 % 3,10
					1 % 6,64		1 % 4,80

Pour les branches mortes, les ordonnées à l'origine sont confondues, les droites coïncident avec le tarif unique. Elles sont aussi différentes des branches vivantes du niveau D, bien qu'elles en soient issues par vieillissement. Ceci peut s'expliquer par le fait que les branches mortes sont souvent en partie brisées.

Cette vérification confirme les résultats obtenus par divers auteurs qui mettent en valeur l'importance de la variable position de la branche vivante dans la couronne comme variable explicative des variations de biomasse. Un modèle de régression multiple à deux variables (D 10, hi) eut été plus élégant mais la nécessité pour nous de simplifier l'échantillonnage ne nous le permettait pas.

3.12. Les tarifs définitifs

Les tarifs permettant de calculer la biomasse par compartiment des arbres en fonction du C 130 sont donnés dans le tableau 4.

TABLEAU 4

Tarifs définitifs d'évaluation de la biomasse compartimentée
Final tables for the evaluation of the compartmented biomass

Compartiment	n	A	B	σ	r
<i>Arbres vivants</i>	23				
Branches vivantes					
feuilles		— 2,326	2,333	0,139	0,931 ***
écorce + bois ...		— 4,143	3,018	0,149	0,951 ***
total		— 3,759	2,941	0,157	0,943 ***
Branches mortes, total		0,744	1,139	0,162	0,728 ***
Tronc					
écorce		— 2,768	2,413	0,077	0,979 ***
bois		— 1,856	2,447	0,063	0,986 ***
total		— 1,805	2,443	0,063	0,986 ***
Arbre sans feuilles		— 1,648	2,426	0,058	0,988 ***
Arbre total		— 1,570	2,416	0,062	0,986 ***
<i>Arbres morts</i>	10				
Branches		— 7,042	3,018		0,862 ***
Tronc		— 5,627	2,769		0,975 ***
Total		— 5,651	2,806		0,975 ***

$$Y = A + BX \Leftrightarrow \log [\text{matière sèche du compartiment (g)}] = A + B \log (C \text{ 130 mm})$$

σ = écart-type résiduel

r = coefficient de corrélation

0,001 *** }
 0,01 ** } seuil de signification
 0,05 * }

Remarque concernant les coefficients « B » des tarifs :

La comparaison, par le test « t » de Student (tableau 5), des coefficients B des tarifs, par rapport aux trois valeurs remarquables : 2, 2,5, 3 est intéressante pour la modélisation.

TABLEAU 5

Test de comparaison, à des valeurs remarquables, des coefficients B des tarifs
Comparative test to outstanding values, of « B » coefficient of the tables

Signification du test « t »				
	Valeur du coefficient B	Comparaison de B à		
		2	2,5	3
Feuilles/D 10 ddl 208	2.173	*	*	*
Ecorce + bois/D 10 ddl 208 . . .	2.677	*	*	*
Feuilles/C 130 ddl 22	2.333	NS	NS	*
Ecorce + bois/C 130 ddl 22 . . .	3.018	*	*	NS

* : significatif au seuil de 5 %

NS : non significatif au seuil de 5 %

On peut considérer que pour les branches la masse foliaire est proportionnelle à $(D_{10})^{2,2}$ et la masse ligneuse à $(D_{10})^{2,7}$. Au niveau de l'arbre la masse foliaire est plutôt proportionnelle à $(C 130)^{2,5}$ et la masse ligneuse à $(C 130)^3$.

Il en résulte que pour la modélisation, les coefficients « B » pour la branche et pour l'arbre sont différents. On ne doit pas dans cet exemple assimiler la branche à un arbre en réduction (BOUCHON, communication personnelle).

Un tarif de biomasse pour l'épicéa commun a été obtenu en Belgique (DUVIGNEAUD *et al.*, 1972). Il donne la relation entre la biomasse totale et le diamètre à 1,30 m de l'arbre pour un peuplement âgé de 55 ans.

Nous ne disposons pas des éléments permettant la comparaison avec notre propre tarif et nous ne pourrions que comparer la biomasse totale obtenue. De plus, la répartition des différents compartiments de l'arbre semble être faite à partir des pourcentages moyens déterminés pour les arbres échantillonnés et non à partir de tarifs. Si cette démarche peut être suffisante pour étudier la répartition de la biomasse entre les compartiments, elle ne permet pas suffisamment d'investigation quant à la répartition des éléments minéraux aussi bien qualitativement que quantitativement.

Remarque : nous avons établi un tarif permettant de passer de l'inventaire en volume bois fort à celui en biomasse totale aérienne (arbres vivants). La relation est la suivante :

$$\log MS_{(kg)} = -0,1215 + 0,9470 \log Vol_{(dm^3)}$$

$$[n = 23 ; r = 0,997]$$

3.2. La biomasse et la productivité à l'hectare du peuplement

Nous avons obtenu une valeur de 182 tonnes de matière sèche à l'hectare pour la biomasse aérienne vivante de la pessière en 1977 (tableau 6)

TABLEAU 6
Biomasse exprimée en kg par hectare
Biomass of the stand (data in kg of dry matter per ha)

	Compartiment	Biomasse (kg/ha)	Répartition en %
Arbres vivants	<i>Branches vivantes</i>		
	Feuilles	18 979	10,4
	Ecorce + bois	24 593	13,5
	Branches mortes	10 616	5,8
	<i>Troncs</i>		
	Ecorce	11 325	6,2
	Bois	114 956	63,3
	* Tronc total	125 980	
	* Arbre total	181 733	100
Arbres morts	Arbre total	5 290	
Total peuplement		187 023	

* : totaux obtenus par tarifs

et une productivité courante de 11,4 t/ha/an de matière sèche entre 1977 et 1978 (tableau 7).

TABLEAU 7
Productivité de la pessière (arbres vivants)
Annual increment of the spruce stand (living trees)

	Volume tronc * m ³ /ha/an	Biomasse tronc * t (ms)/ha/an	Biomasse totale aérienne t(ms)/ha/an
Accroissement moyen 1977 . . .	7,1	2,7	3,9
Accroissement courant (dérivé)	23,5	8,2	11,7
Accroissement courant par tarif	21,5	8,0	11,4

* : il s'agit du tronc sur écorce découpé 7 cm

DUVIGNEAUD *et al.* (1972) en Belgique obtiennent une valeur de 201 t/ha et NILHGÄRD (1972) en Suède 308 t/ha pour des pessières de 55 ans. L'écart entre ces deux données (50 p. 100) est très important. La différence des hauteurs moyennes de ces deux peuplements semble expliquer en partie ces différences. Si on se réfère à la table de production de DECOURT (1971) pour l'épicéa commun dans le N.E. (ce qui peut donner une idée malgré la dispersion géographique des peuplements) la pessière de NILHGÄRD se situe en classe II, celle étudiée par DUVIGNEAUD et celle qui sert de support à cette étude appartiennent à la classe IV.

Les principales caractéristiques de ces peuplements sont résumées dans le tableau 8.

TABLEAU 8

Quelques données de biomasse aérienne totale de peuplements d'épicéa commun
Some data of total aerial biomass for other spruce stand in Europe

	Age	Nom- bre tiges	Hauteur moyenne (m)	Biomasse aérienne (t/ha)	Accrois- sement * moyen en biomasse totale	Accrois- sement * courant en biomasse totale
DUVIGNEAUD, 1972 . Ardennes	55 ans	1 060	19	209	3.8	13.8
NILHGÄRD, 1972 .. Suède	55 ans	880	25	308	5.6	13.7
RANGER <i>et al.</i> Ardennes	48 ans	1 730	16,5	182	3.8	11.4

* : en tonnes de matière sèche par hectare par an

La différence de productivité des deux peuplements ardennais par rapport au peuplement suédois se conçoit aisément par leurs appartenances à des classes de production différentes.

Les deux peuplements d'épicéa situés d'ailleurs dans des conditions écologiques voisines dans les Ardennes primaires ont des productions semblables. Ramenées à l'âge de 55 ans les biomasses aériennes totales sont égales à 209 t/ha ; les productivités courantes en volume, évaluées à 21,5 m³/ha/an pour le peuplement français et à 19 m³/ha/an pour le peuplement belge, sont équivalentes.

Ces deux peuplements se différencient cependant par leurs densités, beaucoup plus élevées dans le peuplement français (non éclairci à 48 ans).

Conclusion

Cette deuxième contribution fait le point sur la production primaire et la productivité d'une pessière en forêt de Château-Regnault (Ardennes primaires).

Les biomasses totales et par compartiment de l'arbre ont été évaluées par des tarifs établis à partir d'un échantillonnage stratifié.

La biomasse totale aérienne des arbres vivants du peuplement en 1977 est de 182 t/ha de matière sèche. La productivité *courante* annuelle en biomasse totale est de 11,4 t de matière sèche par hectare et par an.

Nos stations d'étude des écosystèmes feuillus et résineux sont semblables. Nous pouvons donc comparer la production *moyenne* de ces deux peuplements.

Le peuplement feuillu, un taillis-sous-futaie (taillis de 30 ans, futaie de 150 ans) a une production moyenne annuelle de 2,1 t/ha/an (dont 1,5 t/ha/an pour le taillis) ce qui est nettement plus faible que les 3,8 t/ha/an de la pessière (48 ans).

Reçu pour publication en août 1980.

Summary

Comparative study of two forest ecosystems in French primary Ardennes

II. - Aerial biomass of an even aged spruce plantation (Picea abies Karst.)

This second contribution to the comparative study of the dynamic of two forest ecosystems (deciduous and coniferous) on French primary Ardennes gives biomass data for the spruce plantation (*Picea abies*).

General (whole tree) and compartmented (leaves, branches, stems) biomass tables were established from a stratified sample according to basal area classes.

These tables made possible the evaluation of the biomass per hectare of such a stand : 182 metric tons per hectare of dry matter for living trees. The current increment is 11,4 t/ha/year.

Meanwhile, the mean increment of our spruce stand is higher than the one of a near by deciduous coppice with standards (3,8 vs. 2,1 t/ha/year).

Références bibliographiques

- BASKERVILLE G.L., 1972. Use of logarithmic regression in the estimation of plant biomass. *Can. J. for.*, **2**, 49.
- DUVIGNEAUD P., PAULET E., KESTEMONT P., TANGHE M., DENAEYER de SMET S., SCHNOCK C., TIMPERMAN J., 1972. Productivité comparée d'une hêtraie (*Fagetum*) et d'une pessière (*Picetum*) établies sur une même roche mère à Mirwart (Ardennes luxembourgeoises). *Bull. Soc. r. Bot. Belg.*, **105**, 183.
- NIHLGARD B., 1972. Plant biomass, primary production and distribution of chemical elements in a beech and a planted spruce forest in south sweden. *Oikos*, **23**, 69-81.
- RANGER J., 1977. Recherches sur les biomasses comparées de deux plantations de pin laricio de Corse avec ou sans fertilisation. *Ann. Sci. for.*, **35** (2), 93-115.
- RANGER J., 1980. Etude de la minéralomasse et du cycle biologique dans deux peuplements de pin laricio de Corse, dont l'un a été fertilisé à la plantation. *Ann. Sci. for.* (à paraître).
- RANGER J., NYS C., RANGER D., 1980. Etude comparative de deux écosystèmes forestiers feuillus et résineux des Ardennes primaires françaises. *Ann. Sci. for.* (à paraître).
- RIEDACKER A., 1969. Méthodes indirectes d'estimation de la biomasse des arbres et des peuplements forestiers. *Doc. Int. Stn Sylv. et Prod. C.N.R.F. Nancy*.
- WELLS C.G., METZ L.S., 1963. Variation in nutrient content of Loblolly pine needles with season, age, soil and position in the crown. *Soil, Sci. Amer. Proceed*, **27**, 90-93.
- WELLS C.G., JORGENSEN J.R., 1975. Nutrient cycling in loblolly pine plantations. In *Forest soils and forest land Management*, 137-158, Les presses de l'Université Laval, Quebec.