

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

I. - Biomasse aérienne du taillis-sous-futaie

J. RANGER, C. NYS et D. RANGER

avec la collaboration technique de J. DOUDOU, D. GELHAYE et Y. LEFEVRE

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

Résumé

Une étude comparative du fonctionnement de deux écosystèmes forestiers (un taillis-sous-futaie et une plantation résineuse) situés en conditions écologiques analogues, a été entreprise dans les Ardennes primaires.

Les études de biomasse constituent une première étape indispensable aux études de cycle biologique. Elles fournissent cependant des résultats indépendants ; c'est pourquoi nous ne présenterons ici que les résultats de biomasse du taillis-sous-futaie.

La méthodologie de détermination des biomasses est classique, en séparant toutefois les peuplements de futaie et de taillis. En ce qui concerne le taillis, nous avons établi des tarifs spécifiques de biomasse compartimentée (feuilles, branches, troncs) et globaux (arbre total avec ou sans feuille) à partir d'un échantillonnage stratifié par classe de surface terrière.

Les tarifs ainsi obtenus permettent d'évaluer la biomasse du peuplement en question. Un inventaire de 10 placettes de 20 m de diamètre sur toute la parcelle a permis d'évaluer avec plus de précision la biomasse réelle à l'hectare d'un tel peuplement.

Nous n'avons pas établi de tarif de biomasse pour la futaie, ceux-ci existaient déjà en Ardennes belges. Une réserve a cependant été débitée pour évaluer la répartition de biomasse entre les différents compartiments.

Les résultats montrent que la biomasse aérienne totale sur pied du taillis-sous-futaie est de 135 t de matière sèche par hectare parmi lesquelles on trouve 93 t pour la futaie âgée d'environ 150 ans et 42 t pour le taillis âgé de 28 ans.

La productivité de tels peuplements est faible, 1,35 t/ha/an pour le taillis (bois total de tronc et bois de branches) et environ 0,6 t/ha/an pour la futaie.

Les tarifs établis pour le taillis de régime taillis-sous-futaie ont été appliqués à un peuplement de taillis simple situé dans une parcelle voisine appartenant à la forêt communale de Thilay. Un inventaire effectué sur 20 placettes circulaires donne une biomasse moyenne de 110 t de matière sèche à l'hectare à 31 ans, soit une productivité de 3,2 t/ha/an pour le bois total.

Les résultats sont conformes à ceux obtenus en Ardennes belges et dans le centre de la France.

I. - But de l'étude

Les résultats des travaux exposés ici font partie d'un ensemble d'études comparatives du fonctionnement de deux écosystèmes feuillus et résineux situés dans deux stations analogues et voisines.

Nous nous intéresserons en particulier à la distribution des bioéléments dans les organes aériens des végétaux ligneux de ces stations et aux flux entre les principaux compartiments de l'écosystème.

Il nous était indispensable de mesurer la biomasse de ces peuplements. En cette période de recherches pour les énergies nouvelles, il nous a paru intéressant de présenter dans cet article la biomasse du peuplement feuillu et les tarifs spécifiques globaux et compartimentés qui servent à son évaluation (les compartiments sont des sous-ensembles de l'arbre entier tels que le tronc, les branches ou les feuilles).

II. - Présentation écologique du peuplement

La station de Monthermé est située en parcelle 3 de la 4^e série de la forêt domaniale de Château-Regnault dans les Ardennes primaires.

L'altitude est de 390 m ; la pente est faible (4 à 6 p. 100). Le climat de type montagnard est froid et humide. Les précipitations moyennes annuelles sont de 1 100 mm ; la température moyenne annuelle d'environ 8 °C. L'indice d'aridité de De Martonne est de 61. L'indice de productivité potentielle moyenne de Patterson est de 6 m³/ha/an.

Le substratum dans cette partie du massif primaire ardennais est constitué par les phyllades gris bleu du Révinien supérieur. Le sol de type brun acide, chimiquement pauvre (surtout en bases échangeables) (tableau 1) se développe à partir des limons de couverture, très homogènes et d'origine vraisemblablement locale.

Le peuplement est un taillis-sous-futaie. Les réserves sont constituées par 90 p. 100 de Chêne (*Quercus petraea* Liebl.) et de 10 p. 100 de Hêtre (*Fagus sylvatica* L.).

Le taillis, âgé de 28 ans, est appauvri. Il est composé de deux essences dominantes, le Sorbier des oiseleurs (*Sorbus aucuparia* L.) et le Bouleau (*Betula verrucosa* E.) et d'essences d'accompagnement parmi lesquelles le Chêne (*Quercus petraea*), le Coudrier (*Corylus avellana* L.) et la Bourdaine (*Rhamnus frangula* L.).

La strate herbacée, localisée par plages, comporte la Myrtille (*Vaccinium myrtillus* L.) et la Canche flexueuse (*Deschampsia flexuosa* L.).

TABLEAU 1

Compte rendu d'analyses de sol de Monthermé (terre fine sèche à l'air)
 Report of soil analysis of Monthermé (fine soil, air-dried)

| Horizons | Profondeur (cm) | C% | N% | C/N | pH | Ca (1) | K (1) | Mg (1) | T (1) | P ₂ O ₅ (2) | Fe (% fibre) | Al (% fibre) |
|--------------------------|-----------------|-----|------|------|-----|--------|-------|--------|-------|-----------------------------------|--------------|--------------|
| A ₁ | 0 - 10 | 5,1 | 0,45 | 11,3 | 3,9 | 0,52 | 0,18 | 0,27 | 21,2 | 0,14 | 25,5 | 8,6 |
| A ₁ (B) | 10 - 20 | 1,8 | 0,19 | 9,6 | 4,5 | 0,13 | 0,07 | 0,05 | 10,9 | 0,07 | 25,5 | 10,9 |
| (B) | 20 - 55 | 0,8 | 0,12 | 6,5 | 4,6 | 0,08 | 0,05 | 0,03 | 6,2 | 0,12 | 24,8 | 9,7 |
| (B)C | 55 - 100 | 0,3 | 0,08 | 3,9 | 4,8 | 0,12 | 0,05 | 0,05 | 6,2 | 0,12 | 24,2 | 8,9 |
| C | > 100 | — | — | — | 4,9 | 0,14 | 0,05 | 0,05 | 5,8 | 0,04 | 26,8 | 6,8 |

(1) En milliéquivalents pour 100 g.

(2) Méthode Duchaufour-Bonneau (1959).

III. - Méthodologie de détermination de la biomasse

3.1. - *Le taillis*

3.11. - *L'inventaire*

On effectue l'inventaire de tous les brins du taillis sur la surface expérimentale (0,0732 ha) en notant pour chaque brin : l'essence, la circonférence à 1,30 m (C_{130}), l'appartenance ou non à une cépée.

Les résultats rapportés à l'hectare sont consignés dans le tableau 2 (les brins morts sont inventoriés sans distinction d'espèces et sans indication d'appartenance ou non à une cépée).

La distribution des surfaces terrières est très différente pour les deux essences principales (fig. 1). Les classes sont de 5 en 5 cm² pour les sorbiers et les divers et de 10 en 10 cm² pour les bouleaux.

3.12. - *L'échantillonnage*

Nous ne reviendrons pas sur le protocole d'échantillonnage, celui-ci ayant été décrit en détail dans un travail de l'un d'entre nous (RANGER J., 1977).

Il existe quelques différences que nous mentionnerons. Le mode de prélèvement choisi est celui de la méthode dite stratifiée (ART & MARKS, 1971 ; SATOO, 1970) qui consiste à échantillonner le terme médian (ou l'arbre qui s'en rapproche le plus) de chaque classe de surface terrière, que l'on détermine à partir de l'inventaire. La stratification porte sur la surface terrière, paramètre qui s'est révélé le meilleur estimateur simple de la biomasse si on le compare à la circonférence C_{130} ou à la hauteur h ou au diamètre D (SATOO, 1967 ; CROW, 1971). Ce mode de prélèvement sous-entend que l'on ne fasse pas de différence entre arbre « franc de pied » et arbre de cépée quant à leur biomasse. Ceci a été vérifié pour l'Eucalyptus (BOUCHON *et al.*, 1972) et pour diverses essences tempérées (Chêne, Charme, Bouleau) (ME-TAYER, 1979).

3.13. - *Les mesures de terrain*

Chaque arbre choisi est abattu ; les mesures suivantes sont prises sur le terrain :

- diamètre à 10 cm de l'insertion de chaque branche (D_{10}),
- circonférence à 1,30 m (C_{130}), hauteur totale (h), poids total humide du tronc*.

* *Remarque* : Pour les troncs la découpe choisie n'est pas la découpe classique bois fort (7 cm de diamètre) ou celle parfois utilisée (4 cm de diamètre). Nous avons considéré que la cime de l'arbre ne diffère pas d'une branche ordinaire dont on mesure le D_{10} . La découpe n'est donc pas fixée rigoureusement, elle correspond à un diamètre d'environ 2 cm.

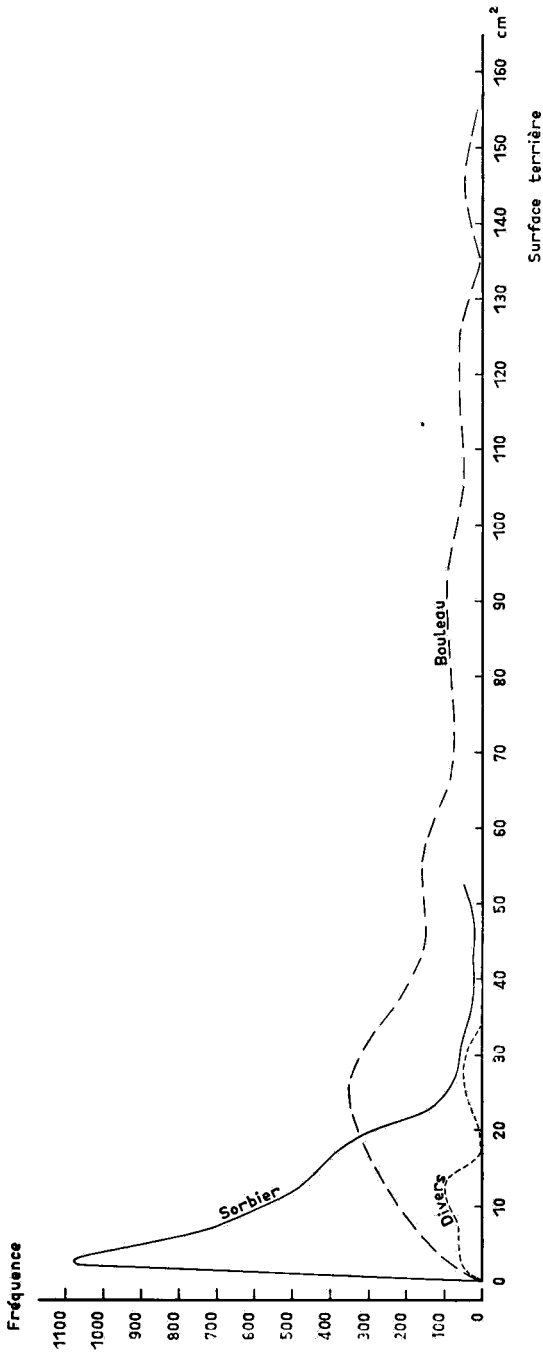


FIGURE 1

Structure du taillis de taillis-sous-futaie (données à l'hectare)
 Coppice structure of the coppice with standards system (data per ha)

TABLEAU 2

Quelques données dendrométriques du peuplement de la parcelle expérimentale
Some forest mensuration data of the stand in the experimental plot

| Essences | Nombre de tiges à l'ha | Représentation des différentes essences en % | Nombre de brins isolés | Nombre de brins en cépée | Nombre moyen de brins par cépée |
|---------------------|------------------------|--|------------------------|--------------------------|---------------------------------|
| Sorbiers | 2 855 | 55,7 | 391 | 2 464 | 4 |
| Bouleaux | 1 954 | 38,1 | 1 276 | 678 | 2,3 |
| Divers | 314 | 6,1 | 22 | 292 | 5,4 |
| Total vivants | 5 123 | 100 | | | |
| Arbres morts | 3 265 | | | | |
| Total taillis | 8 388 | | | | |

Des échantillons sont prélevés pour réaliser au laboratoire les taux d'humidité et les analyses chimiques ; pour ce on prélève :

- une rondelle par mètre linéaire pour le tronc ;
- 3 ou 4 branches vivantes par arbre (en prenant soin de couvrir toutes les classes de D_{10}).

3.14. - *Au laboratoire*

Le taux d'humidité de chaque échantillon est déterminé après passage à l'étuve à 65 °C jusqu'à poids constant. Pour les branches, on sépare au préalable les feuilles des rameaux ligneux. L'écorce des troncs n'est séparée qu'après séchage. Les échantillons sont conditionnés pour l'analyse chimique. A ce stade nous avons toutes les données de base pour construire les tarifs de biomasse exprimée en matière sèche, pour le peuplement de taillis.

3.15. - *Principales étapes du calcul des tarifs de biomasse*

3.151. - *Généralités* : On appelle tarif de biomasse, la loi mathématique qui lie les paramètres macroscopiques facilement mesurables (C_{130} , h , $v...$) aux données de biomasse (RIEDACKER, 1968-1969 ; DECOURT, 1973).

Biomasse (exprimée en matière sèche) = $f(C_{130}, h, ...)$. La construction de tels tarifs implique un double choix :

- choix du ou des paramètres à considérer ;
- choix du modèle mathématique qui s'ajuste le mieux au nuage de points.

En ce qui concerne les paramètres, il faut toujours faire un compromis entre ceux qui apportent le maximum de précision et ceux qui permettent une utilisation facile.

Comparons les coefficients de corrélation issus d'un premier tarif mettant en relation biomasse et C_{130} et d'un second mettant en relation biomasse et $(C_{130})^2 \cdot h$ (qui a la dimension d'un volume) (tableau 3).

TABLEAU 3

Comparaison des coefficients de corrélation entre C_{130} et C^2h comme estimateur de la biomasse -----

Comparison between the correlation coefficient obtained with C_{130} or $C_{130}^2 \cdot h$ as biomass estimator

| Variables indép Compart. | Sorbiers n = 14 | | Bouleaux n = 24 | | Divers n = 7 | |
|-----------------------------|--------------------|--------|--------------------|--------|-----------------|--------|
| | C_{130} | C^2h | C_{130} | C^2h | C_{130} | C^2h |
| Branches vivantes | | | | | | |
| Feuilles | 0,975 | 0,949 | 0,969 | 0,964 | 0,893 | 0,872 |
| Ecorce + bois | 0,976 | 0,950 | 0,972 | 0,966 | 0,968 | 0,948 |
| Total | 0,975 | 0,948 | 0,972 | 0,966 | 0,960 | 0,939 |
| Branches mortes | 0,493 | 0,537 | 0,466 | 0,118 | 0,684 | 0,660 |
| Tronc | | | | | | |
| Ecorce | 0,979 | 0,981 | 0,985 | 0,982 | 0,957 | 0,990 |
| Bois | 0,986 | 0,995 | 0,990 | 0,996 | 0,961 | 0,989 |
| Total | 0,987 | 0,995 | 0,991 | 0,996 | 0,960 | 0,989 |
| Arbre total | 0,992 | 0,992 | 0,993 | 0,994 | 0,973 | 0,994 |

Le coefficient de corrélation avec C^2h comme paramètre est toujours supérieur à C_{130} pour les troncs, au moins égal pour l'arbre total et toujours inférieur pour les branches. Pour l'estimation de la biomasse de troncs, C^2h apporte une précision supplémentaire, au niveau de l'arbre total ce paramètre n'apporte pas de précision ; or l'inventaire de la hauteur de chaque brin de taillis adulte représente un surcroît de travail considérable, indispensable cependant pour l'entrée dans les tarifs ; on se contentera donc du simple inventaire en circonférence.

— Choix du modèle : l'équation qui s'applique la mieux au nuage de points issu des couples d'observations [matière sèche (MS) - circonférence à 1,30 m (C_{130})] est très généralement de type parabolique.

Nous ne travaillerons pas avec ce modèle car la variance de la variable dépendante (MS) n'est pas homogène.

Nous essayons donc de rendre le nuage de points linéaire en homogénéisant au mieux la variance de la variable dépendante (MS).

Nous avons le choix entre les pondérations et les transformations de variable. Ces modèles ont été comparés :

a) pondération de MS par $C_{1,30}$ à la puissance n ($0,5 \leq n \leq 2$) ;

b) transformation logarithmique des données. La transformation minimise mieux les résidus de la régression progressive que la pondération, et de plus elle homogénéise très favorablement la variance de la variable dépendante (MS).

Le problème des modèles par transformation de variable est qu'il introduit toujours un biais (BOUCHON, 1974). Nous avons cependant conservé ce modèle pour plusieurs raisons : facilité de mise en œuvre et universalité d'emploi dans les études de biomasse (méthode dite allométrique) permettant de fournir des résultats relativement homogènes.

Divers auteurs ont proposé des corrections du biais lié à la transformation logarithmique des données (FINNEY, 1941 ; BROWNLEE, 1967, BEAUCHAMP & OLSON, 1973).

Nous avons choisi la correction de BROWNLEE déjà utilisée par BASKERVILLE (1971).

Le modèle utilisé est donc le suivant :

$$Y = AX^B$$

soit après transformation Log_{10} des données :

$$\text{Log}Y = A' + B \text{Log}X \quad (A' \text{ est une nouvelle constante} = \log A)$$

avec :

$$\hat{\sigma}^2 = \text{variance résiduelle de la régression}$$

si :

$$\hat{\mu} = \text{Log} \hat{Y} = \hat{A}' + \hat{B}' \text{Log}X$$

l'estimation de la moyenne \hat{Y} en valeur arithmétique se fait par :

$$\hat{Y} = e^{\hat{\mu}}$$

La correction de BROWNLEE consiste à évaluer \hat{Y} par :

$$\hat{Y} = e^{\left(\hat{\mu} + \frac{\hat{\sigma}^2}{2}\right)}$$

la variance estimée $\hat{\sigma}A^2$ est donnée par l'expression (en valeur arithmétique) :

$$\hat{\sigma}A^2 = e^{(2\hat{\sigma}^2 + 2\hat{\mu})} - e^{(\hat{\sigma}^2 + 2\hat{\mu})}$$

On peut donner un ordre de grandeur de la correction du biais en comparant sur les échantillons, les valeurs mesurées, les valeurs estimées à partir du modèle allométrique et les valeurs estimées à partir du modèle allométrique corrigé (tableau 4).

Les tarifs spécifiques de biomasse (Bouleau, Sorbier, autres essences) ont été établis sur ce modèle (sauf pour les arbres morts pour lesquels on ne sépare pas les essences).

Deux sortes de tarifs sont établis :

- les tarifs intermédiaires ;
- les tarifs définitifs.

TABLEAU 4

Comparaison entre l'estimation de la biomasse des branches (allométrie et allométrie corrigée) et la valeur mesurée

Comparison between the biomass estimation of branches (allometry and corrected allometry) and the measured value

| Espèces | Matière sèche des branches (53 individus) | Moyenne | σ |
|---|--|---------|----------|
| Bouleau | MST | | |
| | Valeur mesurée | 175,2 | 169,9 |
| | Valeur estimée (allométrie) | 172,1 | 164,6 |
| | Valeur estimée corrigée (Baskerville) | 174,8 | 167,2 |
| | MSEB | | |
| | Valeur mesurée | 139,8 | 140,6 |
| | Valeur estimée (allométrie) | 138,7 | 139,9 |
| | Valeur estimée corrigée (Baskerville) | 141,1 | 142,2 |
| | MSF | | |
| Valeur mesurée | 35,4 | 33,0 | |
| Valeur estimée (allométrie) | 32,3 | 26,0 | |
| Valeur estimée corrigée (Baskerville) | 33,4 | 27,5 | |
| Sorbier | MST | | |
| | Valeur mesurée | 140,1 | 184,0 |
| | Valeur estimée (allométrie) | 138,2 | 186,0 |
| | Valeur estimée corrigée (Baskerville) | 140,2 | 188,7 |
| | MSEB | | |
| | Valeur mesurée | 120,3 | 163,9 |
| | Valeur estimée (allométrie) | 119,3 | 166,3 |
| | Valeur estimée corrigée (Baskerville) | 121,1 | 168,9 |
| | MSF | | |
| Valeur mesurée | 19,8 | 28,0 | |
| Valeur estimée (allométrie) | 17,5 | 19,0 | |
| Valeur estimée corrigée (Baskerville) | 18,4 | 19,9 | |

MST : Matière sèche totale.

MSEB : Matière sèche écorce + bois.

MSF : Matière sèche feuilles.

σ : Ecart type.

3.152. - *Les tarifs intermédiaires* : Ils permettent de calculer la biomasse de chaque branche d'un arbre à partir de la mesure de son diamètre D_{10} (tableau 5).

Les biomasses individuelles compartimentées (feuilles, bois, total) de chaque branche sont sommées par arbre. Les tarifs définitifs sont établis à partir de ces nouvelles données.

TABLEAU 5

Tarifs intermédiaires de biomasse : biomasse des branches vivantes
Intermediate tables for biomass : biomass tables for living branches

| Espèces | Compartiments des branches vivantes | A | B | σ | r |
|--------------------|--|---------|-------|----------|-----------|
| Sorbiers n = 50 | Feuilles | — 1,411 | 2,413 | 0,202 | 0,900 *** |
| | Ecorce + bois | — 1,318 | 3,032 | 0,115 | 0,977 *** |
| | Total | — 1,138 | 2,936 | 0,113 | 0,976 *** |
| Bouleaux n = 53 | Feuilles | — 0,754 | 1,999 | 0,193 | 0,923 *** |
| | Ecorce + bois | — 0,702 | 2,481 | 0,121 | 0,979 *** |
| | Total | — 0,456 | 2,355 | 0,116 | 0,978 *** |
| Divers n = 8 | Feuilles | — 0,986 | 1,843 | 0,202 | 0,907 *** |
| | Ecorce + bois | — 1,324 | 2,837 | 0,087 | 0,992 *** |
| | Total | — 1,024 | 2,634 | 0,092 | 0,989 *** |

$Y = A + Bx$ équival. \log (matière sèche du compartiment g) = $A + B \log (D_{10}, \text{mm})$.

σ = Ecart type résiduel.

r = Coefficient de corrélation.

0,001 ***

0,01 **

0,05 *

seuil de signification.

3.153. - *Les tarifs définitifs* : ils mettent en relation la matière sèche d'un compartiment (feuilles, bois de branches, écorce de tronc, bois de tronc) avec la circonférence à 1,30 m (C_{130}) de l'arbre.

Il est toujours possible de regrouper ces compartiments et d'établir des tarifs plus généraux qui seront suffisants dans d'autres types d'études ; le cas de simplification extrême étant de regrouper tous les compartiments pour établir un tarif global (biomasse totale de l'arbre = $f C_{130}$). Ces divers tarifs sont consignés dans le tableau 6.

3.16. - *Calcul de la biomasse à l'hectare du taillis*

Il consiste à calculer la biomasse par essence de chaque classe de fréquence et de les sommer. La biomasse de chaque classe s'obtient en multipliant la biomasse du terme médian de la classe par le nombre de tiges. Comme nous l'avons déjà signalé ce terme médian n'existe pas obligatoirement sur le terrain, nous avons donc systématiquement calculé la biomasse de cet arbre. On somme ensuite les biomasses de chaque compartiment homologue des diverses essences et les chiffres sont rapportés à l'hectare. On obtient ainsi la biomasse totale compartimentée du peuplement étudié. Ce chiffre est très approprié pour l'étude du cycle biologique dans la station étudiée. En ce qui concerne les données de biomasse, il est plus important de fournir

TABLEAU 6

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

| Espèces | Compartiments | A | B | σ | r |
|------------------------|------------------------|---------|-------|----------|-----------|
| Sorbiers n = 14 | Branches vivantes | | | | |
| | Feuilles | — 5,824 | 2,345 | 0,115 | 0,975 *** |
| | Ecorce + bois | — 5,924 | 2,740 | 0,120 | 0,976 *** |
| | Total | — 5,709 | 2,674 | 0,119 | 0,975 *** |
| | Br. mortes total | — 0,226 | 0,002 | - | 0,493 NS |
| | Tronc | | | | |
| | Ecorce | — 4,550 | 2,001 | 0,081 | 0,979 *** |
| | Bois | — 4,502 | 2,322 | 0,076 | 0,986 *** |
| | Total | — 4,320 | 2,272 | 0,072 | 0,987 *** |
| | Arbre total | — 4,415 | 2,373 | 0,057 | 0,992 *** |
| Bouleaux n = 24 | Branches vivantes | | | | |
| | Feuilles | — 6,112 | 2,445 | 0,127 | 0,969 *** |
| | Ecorce + bois | — 6,026 | 2,659 | 0,131 | 0,972 *** |
| | Total | — 5,790 | 2,603 | 0,128 | 0,972 *** |
| | Br. mortes total | — 3,434 | 1,202 | 0,468 | 0,466 * |
| | Tronc | | | | |
| | Ecorce | — 5,038 | 2,194 | 0,079 | 0,985 *** |
| | Bois | — 4,882 | 2,479 | 0,071 | 0,990 *** |
| | Total | — 4,730 | 2,440 | 0,067 | 0,991 *** |
| | Arbre total | — 4,596 | 2,426 | 0,059 | 0,993 *** |
| Divers n = 7 | Branches vivantes | | | | |
| | Feuilles | — 5,222 | 1,883 | 0,191 | 0,893 ** |
| | Ecorce + bois | — 5,690 | 2,487 | 0,130 | 0,968 *** |
| | Total | — 5,372 | 2,363 | 0,139 | 0,960 *** |
| | Br. mortes total | — 0,553 | 0,006 | - | 0,684 NS |
| | Tronc | | | | |
| | Ecorce | — 4,828 | 2,135 | 0,131 | 0,957 *** |
| | Bois | — 5,072 | 2,568 | 0,150 | 0,961 *** |
| | Total | — 4,818 | 2,488 | 0,147 | 0,960 *** |
| | Arbre total | — 4,861 | 2,549 | 0,121 | 0,973 *** |
| Arbres morts n = 29 | Arbre | | | | |
| | Ecorce | — 4,040 | 1,721 | 0,161 | 0,859 *** |
| | Bois | — 4,062 | 2,111 | 0,099 | 0,958 *** |
| | Total | — 3,865 | 2,048 | 0,100 | 0,955 *** |

$Y = A + BX$ équival. $\log(\text{matière sèche du compartiment (g)}) = A + B \log(C_{120} \text{ mm})$.

σ = Ecart type résiduel.

r = Coefficient de corrélation.

0,001 ***

0,01 **

0,05 *

seuil de signification.

TABLEAU 7
Quelques caractéristiques dendrométriques du taillis-sous-futaie des Ardennes
(caractéristiques moyennes à l'ha sur 10 placettes de 3,1 ares)
Some forest mensuration characteristics of the coppice with standards (Ardennes)
(mean characteristics per ha for 10 measurement plots)

| | Essence | Hauteur dominante (m) | Nombre de tiges | σ | Min. | Max. | C_{100} du brin moyen (mm) | Nombre de tiges % du total | Tiges isolées % | Tiges en cépée % | Nombre moyen de tiges par cépée | Volume à l'ha (m ³) (tronc sur écorce) * |
|---------|-------------------|-----------------------|-----------------|----------|-------|-------|------------------------------|----------------------------|-----------------|------------------|---------------------------------|--|
| Taillis | Sorbier | 7,5 | 2 875 | 1 487 | 573 | 5 438 | 114,8 | 46,8 | 8,9 | 37,9 | 5,1 | 12,7 |
| | Bouleau | 11,5 | 1 130 | 602 | 223 | 2 324 | 216,7 | 18,3 | 13,0 | 5,3 | 3,1 | 29,6 |
| | Divers | 7,5 | 675 | 328 | 286 | 1 337 | 123,8 | 11,0 | 5,9 | 5,1 | 3,3 | 2,4 |
| | Total vivants | | 4 679 | 1 791 | 2 387 | 7 061 | 140,7 | 76,1 | 27,8 | 48,3 | 4,5 | 44,7 |
| Futaie | Morts | | 1 471 | 514 | 637 | 2 260 | 105,9 | 23,9 | 23,9 | | | |
| | Total | | 6 150 | 1 876 | 3 852 | 9 178 | 132,4 | 100 | 100 | | | |
| | Chêne | | 76 | 34 | 32 | 127 | | | | | | 78 |

* Pour le taillis : il s'agit du volume total des brins (découpe au diamètre de 2 cm environ).

Pour la futaie : il s'agit du volume du tronc (découpe commerciale) sans tenir compte de branches (même des grosses).

un chiffre moyen issu des résultats de plusieurs points de mesures que de donner une valeur ponctuelle. Pour ceci nous avons effectué un inventaire supplémentaire de 10 placettes circulaires de 10 m de rayon réparties sur toute la surface de la parcelle. Le résultat de l'inventaire est consigné dans le tableau 7.

La biomasse rapportée à l'hectare de chaque placette a été calculée à partir des tarifs établis sur le site expérimental. Les résultats de la biomasse compartimentée du taillis de régime taillis-sous-futaie que nous présentons représentent les caractéristiques moyennes établies sur les onze placettes.

3.2. - *Evaluation de la biomasse de la futaie*

Nous n'avons pas établi de tarif de biomasse pour la futaie. Nous nous servons du tarif établi par P. KESTEMONT (1975) dans une station comparable de Belgique.

Le calcul de la biomasse à l'hectare de la futaie de la parcelle en question a été obtenu en sommant les biomasses individuelles de chaque arbre calculées à partir du tarif de P. Kestemont établi en forêt de Mirwart. Cette forêt est assise sur un sol de type brun acide développé à partir d'un limon épais reposant sur une roche-mère quartzo-schisteuse. La végétation au sol est composée de myrtilles et de canche flexueuse.

Le tarif retenu est le suivant :

$$\text{LogMs totale} = 2,63804 + 2,14026 \text{ Log } D_{130}$$

MS en kg,

D_{130} en cm.

Pour les études de cycle biologique et de minéralomasse, il a été cependant nécessaire d'abattre une réserve présente en limite de la surface expérimentale. Celle-ci a été entièrement débitée et divisée en compartiments (troncs, branches, feuilles...). L'échantillonnage de chaque compartiment est similaire à celui des arbres du taillis.

L'inventaire des réserves sur la parcelle étudiée a été effectué à partir des mêmes placettes que pour le taillis. Le résultat à l'hectare est très comparable à celui du procès verbal d'aménagement de l'O.N.F. Nous avons trouvé 76 réserves contre 70 annoncées pour l'ensemble des parcelles de la série.

IV. - Résultats

4.1. - *Les tarifs de biomasse du taillis*

Ils ont été établis pour chacune des essences principales (Bouleau, Sorbier, autres essences). Il est cependant intéressant de vérifier leur spécificité. Il s'agit à partir d'une analyse de covariance de comparer les coefficients des droites de régression spécifiques (pente et ordonnée à l'origine) à ceux de la droite commune. Le tableau 8 donne les résultats des tests. Au seuil de 5 p. 100 l'hypothèse de parallélisme des droites

de régression est rejetée, au seuil de 1 p. 100 l'hypothèse est acceptée. L'hypothèse de coïncidence (même ordonnée à l'origine) est rejetée aux seuils de 5 à 1 p. 100.

Au total, au seuil de 5 p. 100 les tarifs de biomasse sont spécifiques.

TABLEAU 8

Test de spécificité des droites de régression
Specificity test of the regression lines

| | Coefficient A « ordonnée à l'origine » | F calculé | Coefficient B « pente » | F calculé |
|-------------------|--|-----------|----------------------------|-----------|
| Sorbier | — 4,415 | | 2,373 | |
| Bouleau | — 4,596 | 5,9 | 2,426 | 3,9 |
| Divers | — 4,861 | | 2,549 | |

∞ F théorique au seuil 1 % = 5,2.

∞ F théorique au seuil 5 % = 3,2.

A et B sont les coefficients des droites de régression $\text{Log MS tot.} = A + B \text{Log } C_{130}$.

Remarque : Pour une évaluation grossière de la biomasse d'un taillis (évaluation des potentialités régionales par exemple), on peut se servir d'un tarif moyen interspécifique. Dans notre cas ce tarif est le suivant :

$$\text{Log (matière sèche totale kg)} = -4,474 + 2,377 \text{ log } (C_{130} \text{ mm})$$

$$n = 45,$$

$$r = 0,991.$$

Les inventaires sont très généralement présentés en volume, les données de biomasse sont exprimées, par contre, en tonnes de matière sèche par hectare. Nous avons établi une corrélation entre la masse totale (exprimée en matière sèche) et le volume du tronc d'un brin de taillis, ce qui permet de passer facilement de l'inventaire en volume tronc à l'inventaire en biomasse totale. La relation interspécifique entre volume et biomasse est la suivante :

$$\text{LogMST} = 0,0375 + 1,017 \text{ LogV}$$

$$\text{MST} = \text{kg/ha},$$

$$V = \text{dm}^3,$$

$$r = 0,975,$$

$$n = 45.$$

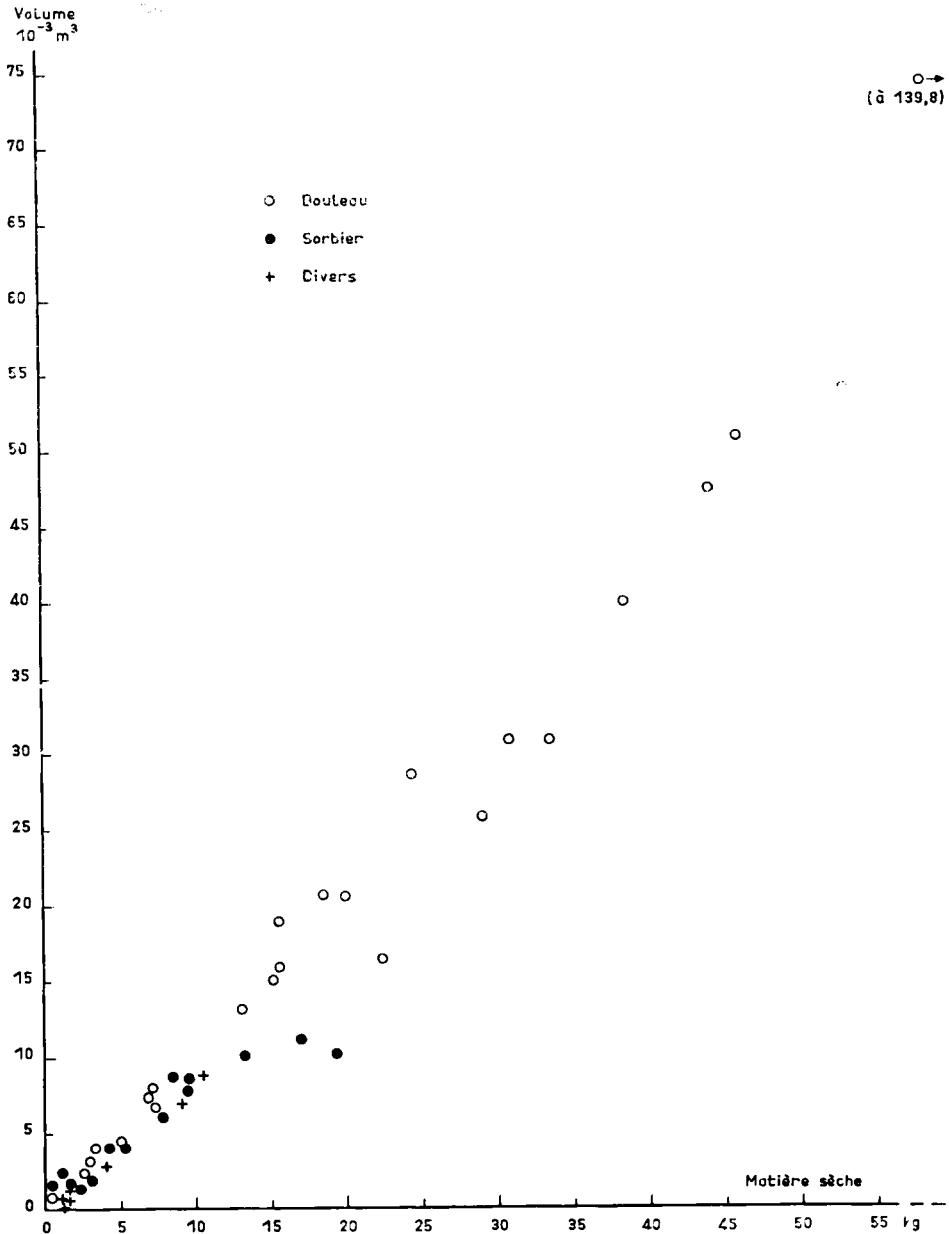


FIGURE 2

Liaison volume du tronc - biomasse totale de l'arbre dans le taillis

Correlation between the stem volume and the total biomass of a tree for the coppice

TABLEAU 9

Biomasse du taillis-sous-futaie (kg MS/ha)

Biomass of the coppice with standards (data in kg of dry matter per ha)

| Arbres vivants | Taillis | | | | | Futaie | | Total |
|-----------------------|---------|----------|---------|---------|----------------|-----------|------------|---------|
| | Moyenne | σ | Minimum | Maximum | % masse totale | Biomasse | % du total | |
| Branches vivantes | | | | | | | | |
| Feuilles | 1 286 | 599 | 505 | 2 142 | 3,0 | 2 678 | 2,9 | 3 964 |
| Bois + écorce | 6 567 | 3 007 | 2 592 | 11 046 | 15,5 | 44 875 | 48,4 | 51 442 |
| Total | 7 837 | 3 587 | 3 110 | 13 208 | 18,5 * | 47 553 | 51,3 | 55 406 |
| Branches mortes | 744 | 296 | 337 | 1 047 | 1,9 | 2 224 | 2,4 | 2 968 |
| Tronc | | | | | | | | |
| Écorce | 3 923 | 1 735 | 1 659 | 6 513 | 9,3 | 1 390 | 1,5 | 5 313 |
| Bois | 26 737 | 12 147 | 9 892 | 42 915 | 63,1 | 41 193 | 44,8 | 67 930 |
| Total | 30 530 | 14 061 | 11 636 | 49 301 | 72,1 * | 42 883 ** | 46,3 | 73 243 |
| Arbre « total » | 39 157 | 17 883 | 15 111 | 63 903 | 92,7 * | 92 660 | 100 | 131 617 |
| Arbres morts | 3 086 | 1 515 | 971 | 5 915 | 7,3 | 0 | | 3 086 |
| Masse totale | 42 243 | 18 059 | 17 806 | 65 496 | 100 | 92 660 | | 134 703 |

* % établis à partir des sommes de compartiments donnant des résultats légèrement différents de ceux obtenus par tarif.

** Le tronc se limite à la bille de pied (les grosses branches représentent 80 % du compartiment « branches vivantes »).

4.2. - La biomasse à l'hectare du taillis-sous-futaie

4.21. - La biomasse du taillis

La biomasse moyenne sur 11 placettes est de 42,2 tonnes de matière sèche (tableau 9) avec cependant une forte variabilité : la fluctuation autour de cette valeur moyenne atteint 60 p. 100.

La productivité moyenne totale de biomasse est donc de 1,5 t de matière sèche par hectare et par an ; cette productivité s'élève à 1,35 t de matière sèche/ha/an si on ne s'occupe que du bois total (tronc + branches) et n'est que de 1,1 t de MS/ha/an si on ne prend en compte que le tronc écorcé.

4.22. - La biomasse de la futaie

Les tarifs utilisés n'intéressent que la biomasse totale. Cette donnée n'est pas suffisante pour les études de minéralomasse. Nous avons compartimenté cette valeur globale en nous servant des résultats obtenus par l'étude d'une réserve, en supposant que la compartimentation au niveau total se faisait dans les mêmes proportions que pour l'arbre étudié ; il s'agit évidemment d'une approximation.

Le calcul donne une biomasse de 93 t/ha. La valeur calculée de l'arbre échantillonné donne un résultat supérieur d'environ 25 p. 100 à la valeur mesurée ; en fait on ne peut pas préjuger d'un tarif par une seule valeur individuelle.

La biomasse totale du taillis-sous-futaie (taillis + futaie) est donnée à titre purement indicatif, 135 t de MS/ha. Il s'agit là d'une productivité très faible puisque les réserves auraient environ 150 ans et le taillis est âgé de 28 ans.

4.23. - Estimation de la biomasse à l'hectare d'un taillis simple

L'outil de travail essentiel qui sert à déterminer une biomasse forestière est le tarif de biomasse. Ce tarif est assez long à déterminer et sa rentabilité sera d'autant meilleure qu'il servira dans le plus grand nombre d'études possibles.

Dans les Ardennes, on trouve une surface assez importante de taillis simple et en particulier en forêt communale. D'après les statistiques de l'O.N.F., on en trouve dans cette région 7 800 ha auxquels on doit ajouter 5 400 ha balivés. La forêt communale de Thilay en est un bon exemple. Elle présente l'avantage d'être située à proximité de la parcelle étudiée et de se trouver dans le même contexte écologique. Le peuplement est de plus d'un âge très voisin du taillis de taillis-sous-futaie (31 ans).

Nous avons estimé que les tarifs établis pour le taillis de taillis-sous-futaie étaient applicables au taillis ; il est vraisemblable que cela ne soit pas rigoureusement exact dans la mesure où la hauteur moyenne d'un taillis de taillis-sous-futaie, toutes choses égales par ailleurs, diffère peut-être de celle d'un taillis simple. D'autre part, les tarifs ont été établis dans une gamme de circonférence (C_{130}) qui sont légèrement inférieures à celles du taillis simple ; cette dernière remarque est surtout valable pour les arbres regroupés dans la catégorie divers ; parmi ceux-ci on trouve d'ailleurs bon nombre de chênes qui dans le cas d'une transformation du peuplement en futaie sur souche (ce qui est une alternative à l'enrésinement) pourraient représenter

TABLEAU 10

*Quelques caractéristiques dendrométriques du taillis simple des Ardennes
(caractéristiques moyennes à l'hectare sur 20 placettes de 3,1 ares)*

*Some forest mensuration characteristics of the single coppice system in Ardennes
(mean characteristics per ha for 20 measurement plots)*

| Essence | Hauteur dominante (m) | Nombre de tiges | σ | Minimum | Maximum | C_{130} du brin moyen (mm) | Nombre de tiges % du total | Tiges isolées % | Tiges en cépée % | Nombre moyen de tiges par cépée | Volume à l'ha (tronc sur écorce) * (m ³) |
|-------------------|-----------------------|-----------------|----------|---------|---------|------------------------------|----------------------------|-----------------|------------------|---------------------------------|--|
| Sorbier | 8,5 | 1 972 | 785 | 796 | 4 138 | 116,2 | 21,5 | 2,5 | 18,9 | 5,0 | 7,0 |
| Bouleau | 12,0 | 1 777 | 361 | 1 146 | 2 579 | 298,5 | 19,3 | 6,3 | 13,0 | 3,2 | 52,9 |
| Divers | 10,5 | 2 151 | 763 | 1 114 | 3 947 | 201,2 | 23,5 | 7,1 | 16,3 | 3,6 | 33,0 |
| Total vivants | | 5 906 | 1 506 | 3 819 | 8 816 | 202,1 | 64,3 | 15,9 | 48,3 | 3,9 | 92,9 |
| Morts | | 3 287 | 969 | 1 751 | 5 252 | 104,6 | 35,7 | | 35,8 | | |
| Total | | 9 193 | 1 563 | 6 876 | 11 936 | 167,2 | 100 | | 100 | | |

* Il s'agit du volume des troncs.

le peuplement d'avenir. On ne sait pas non plus dans quelle mesure le facteur densité du peuplement influe sur le tarif de biomasse. L'inventaire systématique par essence a été effectué sur 20 placettes circulaires de 31 ares. Le tableau 10 regroupe les résultats.

On constate une certaine différence dans les caractéristiques du taillis de taillis-sous-futaie et le taillis simple. Le taillis simple montre une diminution de 50 % du nombre de tiges de sorbier, nombre qui se reporte sur les divers (chênes en particulier), le Bouleau restant à peu près constant. La fluctuation du nombre moyen de tiges autour de la moyenne est aussi élevée dans les deux cas. Les résultats de biomasse (tableau 11) donnent une valeur moyenne de 110 t/ha de matière sèche à 31 ans (masse foliaire et arbres morts inclus). La variabilité est beaucoup plus faible que dans le cas d'un taillis-sous-futaie (20 % contre 60 %).

TABLEAU 11

Biomasse du taillis simple (kg MS/ha)
Biomass of the single coppice system (data in kg of dry matter per ha)

| Arbres vivants | | Moyenne | σ | Minimum | Maximum | % masse totale |
|---------------------------|---------------------------|---------|----------|---------|---------|----------------------|
| Branches vivantes | — Feuilles | 2 609 | 325 | 2 099 | 3 222 | 2,4 |
| | — Bois + écorce | 14 219 | 1 382 | 12 158 | 17 175 | 13,1 |
| Branches mortes | | 2 367 | 447 | 1 821 | 3 375 | 2,2 |
| Tronc | — Ecorce | 9 748 | 934 | 8 323 | 11 650 | 9,0 |
| | — Bois | 72 053 | 7 260 | 60 949 | 85 849 | 66,6 |
| Arbre « total » | | 103 061 | 10 351 | 87 487 | 122 686 | 93,4 * |
| Arbres morts | | 7 181 | 1 839 | 4 687 | 11 220 | 6,6 |
| Masse totale | | 110 243 | 10 301 | 93 995 | 133 906 | 100 |

* % établis à partir des sommes de compartiments donnant des résultats légèrement différents de ceux obtenus par tarif.

Les chiffres de productivité moyenne sont les suivants :

- pour la biomasse totale (arbres vivants et arbres morts) 3,6 t MS/ha/an ;
- pour le matériel ligneux total des arbres vivants (tronc + branches) 3,2 t MS/ha/an ;
- pour les troncs des arbres vivants (découpe 2 cm sur écorce) 2,6 t MS/ha/an.

Nous avons cherché à comparer ces résultats avec ceux de la bibliographie.

Les données de KESTEMONT (1968, 1970, 1975) permettent une comparaison intéressante. En effet, trois taillis situés en conditions écologiques semblables ont été étudiés (Vresse-Robiet ; Orchimont-Quisbus ; Orchimont-Rope).

Les caractéristiques de ces taillis simples sont les suivantes : essence : Chêne, Bouleau, Sorbier ; âge : 20, 25 ans ; 7 500 brins/ha ; hauteur moyenne : 8 m. Les biomasses aériennes varient de 70 à 80 t de matière sèche/ha. La productivité ligneuse moyenne est de 2,5 t MS/ha/an.

METAYER (1979) étudie des taillis simples situés en conditions écologiques très différentes dont les principales caractéristiques sont les suivantes :

| essence | âge | nb de tiges/ha | hauteur moyenne (m) |
|---------------|-----------|----------------|---------------------|
| Charme | 30-35 ans | 5 900 | 14 |
| Bouleau | 25 ans | 7 000 | 14 |
| Chêne | 35-40 ans | 3 100 | 10 |

Les biomasses aériennes totales sont de 109 t pour le Charme, de 80 t pour le Bouleau et de 67 t pour le Chêne.

Les productivités moyennes de matière ligneuse sont de 3,5 t pour le Charme, 4,1 t pour le Bouleau et de 1,9 t pour le Chêne.

On constate malgré tout que production et productivités moyennes varient peu et ceci même entre des régions écologiques différentes.

V. - Conclusion

Le but de l'étude est, rappelons-le, de comprendre les mécanismes complexes qui régissent la dynamique de deux écosystèmes forestiers : un taillis-sous-futaie et une plantation de résineux. Pour ce faire il est nécessaire d'étudier les facteurs statiques (réserve du sol, biomasse, minéralomasse) et les facteurs dynamiques (flux entre compartiments). Dans ce premier compte rendu nous ne nous intéresserons qu'à la biomasse compartimentée du peuplement feuillu.

Les études de biomasse sont traitées à part pour deux raisons essentielles :

— elles ne représentent qu'un outil pour les études propres au fonctionnement de l'écosystème ;

— elles fournissent des résultats indépendants qui font considérablement défaut en France (cf. mise au point, J. PARDE, 1977).

L'étude des biomasses compartimentées d'un taillis-sous-futaie est complexe ; pour la partie futaie nous nous sommes servis des tarifs établis dans une station

comparable en Belgique par P. KESTEMONT. Pour la partie taillis, la coupe à blanc de la placette expérimentale nous a permis d'établir des tarifs de biomasse.

Les principaux résultats d'une telle étude sont de deux ordres : fournir des tarifs applicables à des peuplements analogues et des évaluations de biomasse.

Nous fournissons à la fois des tarifs spécifiques globaux (biomasse totale de l'arbre = $f C_{130}$) et des tarifs spécifiques compartimentés (biomasse d'un compartiment = $f C_{130}$).

Le test de spécificité effectué sur les tarifs globaux donne un résultat positif. Cependant pour une simple évaluation des biomasses, il est possible d'utiliser un tarif interspécifique que nous fournissons :

$$\text{Log MS totale d'un brin} = -4,474 + 2,377 \text{ Log } C_{130}$$

Il est également intéressant de pouvoir passer facilement de l'inventaire en volume des brins (découpe environ 2 cm) à son homologue en biomasse totale ; un tarif a été établi à cet effet.

Les résultats de biomasse du taillis représentent la valeur moyenne obtenue à partir de 11 placettes d'inventaire, ce qui permet de donner un encadrement à cette valeur moyenne.

Pour la futaie il ne s'agit que d'une évaluation. La biomasse de la partie « taillis » du taillis-sous-futaie est de 42 t de matière sèche/ha (y compris la nécromasse) avec des valeurs extrêmes de 18 à 64 t/ha, celle de la futaie est de 92 t/ha.

Les tarifs calculés pour le taillis du taillis-sous-futaie ont été appliqués à un taillis simple (situé en conditions écologiques semblables). L'inventaire de 20 placettes nous a permis de donner une évaluation de sa biomasse compartimentée et globale. Elle s'élève à 110 t de matière sèche par hectare (y compris la nécromasse sur pied) avec une variabilité moins grande que pour le taillis-sous-futaie (de 94 à 133 t/ha). Les résultats sont comparables à ceux obtenus en Belgique et dans le centre de la France ; la productivité moyenne de ces taillis (en prenant en compte le bois total soit le tronc et les branches) est faible : 1,35 t de matière sèche/ha/an pour le « taillis » du taillis-sous-futaie et 3,2 t pour le taillis simple.

Dans le cas du taillis-sous-futaie, la productivité à l'hectare du taillis est nécessairement basse car le taillis n'occupe qu'une surface assez restreinte. Cette productivité est liée à plusieurs facteurs : contexte stationnel, essence, mais aussi et peut-être surtout à l'âge des souches et à la périodicité des révolutions.

Reçu pour publication en janvier 1980.

Summary

Aerial biomass of a coppice with standards in French Ardennes

A comparative study of the functioning of two forest ecosystems (a coppice with standards and a coniferous stand) on the same ecological conditions has been carried out on primary Ardennes (France).

Biomass evaluations are the first step for biological cycle studies. They give independent data and it is the reason why we only relate here the biomass data for coppice with standards.

The methodology for biomass determination is the classical one, treating individually coppice and high forest. Concerning the coppice, we established compartmented biomass tables (for leaves, branches, stems) and general biomass tables (for whole tree with or without leaves). The sampling has been stratified according to basal area classes.

Biomass tables allow us to evaluate the biomass of such a stand. Measurements on ten plots (20 m diameter) on all the area of the parcel gives a more accurate mean value for the biomass evaluation of the stand.

No biomass tables have been established for high forest, we used those established for Belgian Ardennes; one standard has been cut to evaluate the biomass distribution between the tree compartments. The results for total biomass are : 135 t of dry matter per ha (93 t for standards at age 150, and 42 t for coppice at age 28).

The productivity of such stands is low ; 1.35 t/ha/year for coppice (including branchwood) and about 0.6 t/ha/year for standards. We used the biomass tables built for the coppice of coppice with standards system to evaluate the biomass of a single coppice system situated near the first stand in the same ecological conditions. The mean biomass data, for 20 measurement plots, reached 110 t of dry matter ha at age 31, that is to say an annual mean increment of 3.2 t/ha/year (for total wood).

The results are very closed to those got in Belgium Ardennes and in centre of France.

Remerciements

Nous tenons à remercier le Centre de l'Office National des Forêts de Charleville-Mézières qui nous a permis d'utiliser à notre gré la surface expérimentale.

Nous remercions aussi nos collègues sylviculteurs, J.M. OTTORINI et biométriciens, H. JOHANNES et J.P. MASSON qui nous ont guidé dans les problèmes de traitement des données ainsi que le personnel de la Station de Biométrie.

Références bibliographiques

- ART H.W., MARKS P.L., 1971. A summary table of a biomass and net annual production in forest ecosystems of the world. In *Forest biomass studies*, XVth I.U.F.R.O. Congress University of Florida, Gainesville Florida, U.S.A., p. 3-32.
- BASKERVILLE G.L., 1972. Use of logarithmic regression in the estimation of plant biomass. *Can. J. For.*, **2**, 49.
- BEAUCHAMP J.J., OLSON J.S., 1973. Corrections for bias in regression estimates after logarithmic transformation. *Ecology*, **54**, n° 6.
- BOUCHON J., RIEDACKER A., 1972. Relations allométriques dans un jeune taillis d'*Eucalyptus camaludensis*. Indications pour l'échantillonnage de la biomasse aérienne. I.U.F.R.O. *Biomass studies publ.*, Univ. Maine (Orono).

- BOUCHON J., 1974. Les tarifs de cubage. Publ. I.N.R.A. (C.N.R.F.), E.N.G.R.E.F. Nancy, 57 p. + annexes.
- BROWNLEE K.A., 1967. *Statistical theory and methodology in science and engineering*. Second edition, John Wiley and sons, New York, 400 p.
- CROW T.R., 1971. Estimation of biomass in an even aged stand. Regression and mean tree techniques. In *Forest biomass studies*, XVth I.U.F.R.O. Congress, University of Florida, Gainesville, U.S.A.
- DAGNELIE P., 1970. *Théorie et méthodes statistiques*. 2V, Presses Agronomiques de Gembloux.
- DECOURT N., 1973. Production primaire, production utile : méthode d'évaluation, indice de productivité. *Ann. Sci. for.*, **30** (3), 219-238.
- FINNEY D.J., 1941. On the distribution of a variate whose logarithm is normally distributed. *J.R. Statist. Soc. Suppl.*, **7**, 155-161, in Beauchamp et Olson (1973).
- KESTEMONT P., 1969. Productivité primaire des taillis simples et concept de nécromasse. U.N.E.S.C.O., Productivité des écosystèmes forestiers, *Actes Coll.* Bruxelles, 1969.
- KESTEMONT P., 1971. Biomasse et productivité aériennes d'un taillis de Chênes et Bouleaux riches en Stellaires et Violettes du Bois de Rope (Orchimont). *Bull. Soc. r. Bot. Belg.*, **104**, 91-102.
- KESTEMONT P., 1971. Biomasse et productivité aériennes du taillis de Chênes et Bouleaux riches en ronces, au plateau du Robier (Vresse). *Bull. Soc. r. Bot. Belg.*, **104**, 103-113.
- KESTEMONT P., 1975. *Biomasse, nécromasse et productivités aériennes ligneuses de quelques peuplements forestiers en Belgique*. Thèse Université libre de Bruxelles, 334 p.
- METAYER S., 1979. *Evaluation de la biomasse aérienne des taillis. Etude méthodologique sur trois taillis purs de Charme, de Chêne et de Bouleau*. I.N.R.A. - C.R.F. Orléans, Doc. 79/32. Station de Recherches sur la forêt et l'environnement.
- PARDE J., 1977. Biomasses forestières et utilisation complète des arbres. *Rev. for. fr.*, **XXIX**, 5, 334-342.
- 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.
- RIEDACKER A., 1968. *Méthode d'estimation de la biomasse d'un arbre*. D.E.A. Biol. vég., 31 p., Faculté d'Orsay.
- RIEDACKER A., 1969. Méthodes indirectes d'estimation de la biomasse des arbres et des peuplements forestiers. Doc. Int. Stn sylvic. prod. C.N.R.F.
- SATOO T., 1967. Primary production relations in woodlands of *Pinus densiflora*. In Young H.E. editor. *Symposium on primary productivity and mineral cycling in natural ecosystems*, Univ. Maine Press., Orono.
- SATOO T., 1970. A synthesis of studies by the harvest method ; primary production. Relations in the temperate deciduous forests of Japan. In *Analysis of temperate forest ecosystems*, ed. De Reichle, p. 55-72.