



HAL
open science

Comparaison de deux méthodes de cubage

Jean Bouchon, Jean-Marie Delord, Pierre Rousseau

► **To cite this version:**

Jean Bouchon, Jean-Marie Delord, Pierre Rousseau. Comparaison de deux méthodes de cubage. Revue forestière française, 1986, 38 (1), pp.47-54. 10.4267/2042/25614 . hal-03423582

HAL Id: hal-03423582

<https://hal.science/hal-03423582v1>

Submitted on 10 Nov 2021

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

technique et forêt

COMPARAISON DE DEUX MÉTHODES DE CUBAGE

J. BOUCHON - J.M. DELORD - P. ROUSSEAU

La recherche forestière française cube les arbres de placettes expérimentales avec une grande minutie. L'Inventaire forestier national utilise une méthode plus rapide. Les auteurs ont comparé les deux méthodes. Elles donnent des résultats très voisins. On en déduit que l'immense base de données de l'Inventaire forestier national pourrait être utilisée pour construire des tarifs de cubage précis à une ou deux entrées.

PRÉSENTATION DES MÉTHODES

Ces deux méthodes ont comme objectif commun d'approcher avec le maximum de précision le **volume réel de la tige principale**.

Nous appellerons V.R.F. les volumes obtenus par la Recherche forestière et V.I.F.N. les volumes obtenus par l'Inventaire forestier national.

La méthode de la Recherche forestière (R.F.)

Cette méthode consiste :

- à découper fictivement la tige principale en billons de 1 m de longueur ;
- à cuber chacun de ces billons comme s'il s'agissait d'un cylindre : mesure de la circonférence ou du diamètre médian, et calcul du volume en multipliant la surface de la section médiane par la longueur (1 mètre) de chaque billon ;
- à additionner les volumes de tous les billons.

Le fait de cuber chaque billon comme un cylindre, et non comme un tronc de cône ou par la formule des trois niveaux, n'a pas grande importance ; en effet, ces trois méthodes donnent des

résultats très voisins dans la mesure où le nombre de billons est suffisant, ce qui est le cas général ; rappelons qu'il en est d'ailleurs de même lorsque l'on veut estimer la surface d'une aire limitée par une courbe plane fermée en utilisant la méthode des rectangles ou des trapèzes.

Pour faire les mesures, on utilisait jadis un procédé simple mais dangereux qui consistait à appliquer une échelle le long de la tige des arbres sur pied et à faire des mesures en partant de 0,5 m, et ensuite tous les mètres. Maintenant, on utilise, pour mesurer depuis le sol les diamètres supérieurs, des appareils optiques précis.

La méthode de l'Inventaire forestier national (I.F.N.) [3] ⁽¹⁾

Cette méthode consiste à découper de bas en haut la tige principale en :

— un « **premier billon** » de 2,60 m de longueur dont le volume est obtenu par la formule cylindrique : surface de la section à 1,30 m multipliée par 2,60 m.

— un « **second billon** » situé entre 2,60 m de haut et la première déformation observée sur la tige : grosse branche ou décroissance brutale. Ce second billon, qui correspond en général à la partie principale de la tige, est cubé par la formule de Newton (ou formule des 3 niveaux).

A cet effet, on mesure les diamètres suivants :

- . D 2,6 : diamètre à 2,60 m de haut, c'est-à-dire à la base du deuxième billon,
- . Dd : diamètre découpe, à l'extrémité supérieure de ce même billon,
- . Dm : diamètre au milieu.

Dans ces conditions, le volume de ce second billon, calculé par la formule de Newton s'écrit :

$$V (2^{\text{e}} \text{ billon}) = \frac{\pi}{24} (D_{2,6}^2 + 4 Dm^2 + Dd^2) (Hd - 2,6) \text{ où } (Hd - 2,6) \text{ est la longueur du } 2^{\text{e}} \text{ billon.}$$

— des « **surbilles** », dont chacune d'entre elles est limitée par les éventuelles nouvelles déformations observées le long de la tige. Comme le premier billon, ces surbilles sont cubées par la formule cylindrique après avoir mesuré le diamètre au milieu de chacune d'entre elles.

Les différents diamètres sont mesurés au centimètre près avec un compas finlandais « monté » le long de la tige au moyen d'éléments de perche en fibre de verre emboîtables, ou avec un pentaprisme. Les hauteurs sont mesurées avec ces mêmes perches ou avec un dendromètre Christen [1].

SIMULATION DES CUBAGES I.F.N. SUR LES PROFILS DE TIGES R.F.

Les mesures réalisées par la Recherche forestière permettent de reconstituer le profil des tiges et donc de faire apparaître les variations brutales de forme ou de décroissance le long des tiges cubées. On peut alors déterminer sur ces profils les emplacements où l'Inventaire forestier aurait fixé les découpes séparant le premier billon, le second billon et chacune des surbilles. Les différents diamètres qu'aurait mesurés l'Inventaire forestier peuvent alors être déterminés sur le profil.

On trouvera ci-après un exemple de cette simulation sur le profil d'un Sapin dont les diamètres ont été mesurés tous les mètres (figure 1).

Pratiquement le processus graphique décrit ci-dessus a été caractérisé par l'algorithme suivant :

(1) Les numéros entre crochets renvoient à la bibliographie en fin d'article.

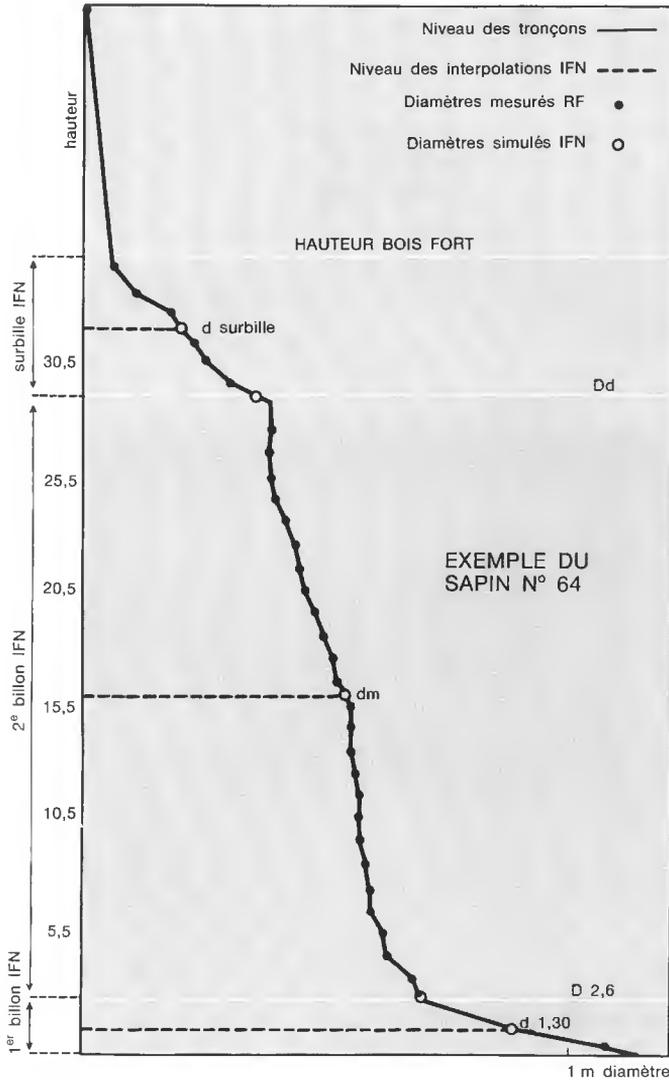


Figure 1

— le niveau supérieur du deuxième billon est le premier que l'on trouve en montant le long de la tige où la décroissance métrique (calculée entre deux mesures R.F. successives) est supérieure à 10 % ;

— pour fixer les emplacements des découpes au sommet des surbilles successives, on se fixe une contrainte de décroissance métrique d'au moins 15 %, avec des longueurs minimum de surbille de 2 m.

Les emplacements des découpes I.F.N. entre les différents billons et surbilles étant ainsi fixés (par convention au milieu de l'un des intervalles de 1 m où les mesures R.F. ont été réalisées), les diamètres qui auraient été mesurés par l'I.F.N. (D 1,3 - D 2,6 - Dm - Dd - d surbilles) sont estimés par interpolation linéaire entre les mesures R.F. immédiatement supérieures (50 cm au-dessus) et inférieures (50 cm au-dessous). Le volume I.F.N. peut ainsi être reconstitué et comparé au volume R.F.

MATÉRIEL EXPÉRIMENTAL

- 300 Hêtres de circonférences à 1,30 mètre comprises entre 28 et 325 cm,
 - 251 Chênes de circonférences à 1,30 mètre comprises entre 50 et 370 cm,
 - 103 Sapins de circonférences à 1,30 mètre comprises entre 45 et 290 cm,
 - 43 Epicéas de circonférences à 1,30 mètre comprises entre 46 et 153 cm,
 - 82 Douglas de circonférences à 1,30 mètre comprises entre 35 et 180 cm,
 - 84 Pins sylvestres de circonférences à 1,30 mètre comprises entre 50 et 186 cm.
- } Total : 863

Les arbres en cause proviennent de presque toutes les régions françaises.

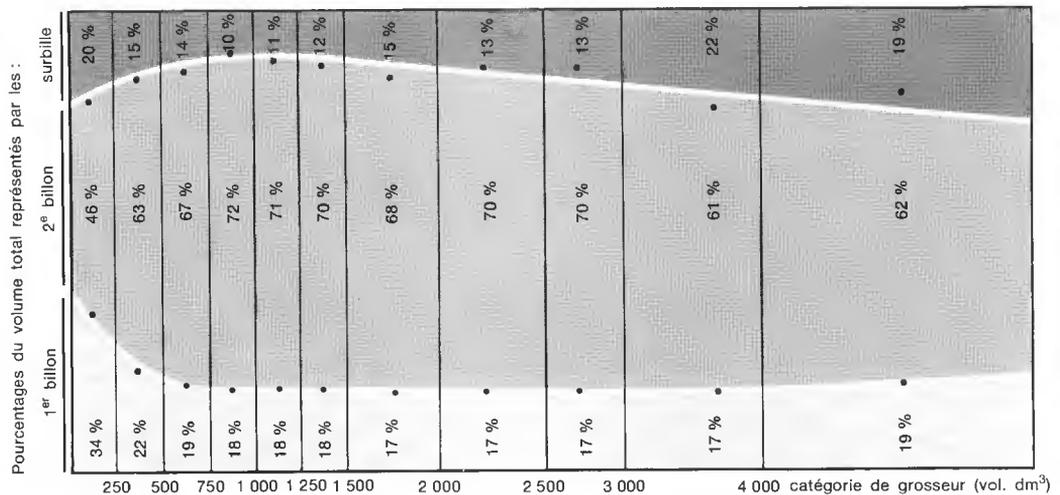
RÉSULTATS

Résultats globaux

Pour chacune des essences ci-dessus, ont été calculés arbre par arbre les volumes I.F.N. et R.F. de chacun des billons et surbilles tels qu'ils ont été définis ci-dessus page 49. Les écarts relatifs entre V.I.F.N. et V.R.F. ont été calculés par classe de volume des tiges, ainsi que l'écart-type de ces écarts.

Il n'est pas possible dans le cadre du présent article de donner tous les résultats obtenus ; on trouvera simplement dans le tableau ci-dessous donné à titre d'exemple, les résultats obtenus pour les Hêtres (voir tableau I et figure 2).

Figure 2



Volume du premier bilion I.F.N. (de 2,60 mètres de long)

La méthode de cubage R.F. par billons d'un mètre chacun donne des résultats nettement plus élevés, de l'ordre de 5 % pour le Douglas, 10 % pour le Sapin.

Ce résultat n'est pas surprenant car la méthode I.F.N. cube ce bilion comme un cylindre en s'appuyant sur le diamètre à 1,30 m, niveau en général situé au-dessus de l'empatement ; au contraire, la méthode R.F. prend en compte une première mesure à 0,50 m de hauteur, ce qui se situe encore souvent dans l'empatement et prend donc en compte dans le volume les vides situés entre les contreforts de cet empatement.

Il n'est donc pas étonnant que pour ce premier bilion de 2,60 m, le volume R.F. soit supérieur au volume I.F.N.

Volume du deuxième bilion I.F.N. (compris entre 2,60 m et la première déformation)

La méthode de cubage I.F.N. donne des résultats surestimés par rapport à ceux obtenus par la méthode R.F. prise comme référence. Cependant cette surestimation reste toujours très faible et se situe dans une fourchette de 0 à 2 %.

Tableau I Pour 300 hêtres, comparaison des volumes I.F.N. et du volume R.F.

Pour chaque billon (premier, deuxième, surbilles) et volume total,
le tableau donne err. % qui est la moyenne des écarts relatifs $\frac{V.I.F.N. - V.R.F.}{V.R.F.}$
exprimés en pourcentage et σ qui en est l'écart-type

Classe de volume I.F.N. (dm ³)	Nb. d'arbres	1 ^{er} billon		2 ^e billon		Surbilles		Total	
		err. (%)	σ	err. (%)	σ	err. (%)	σ	err. (%)	σ
0 à 250	24	- 1,46	5,82	+ 0,37	6,20	- 2,80	12,25	- 1,19	3,27
250 à 300	20	- 6,66	2,98	+ 1,03	2,37	+ 2,40	12,04	- 0,84	2,89
500 à 750	35	- 5,21	5,78	+ 1,40	2,25	+ 4,09	10,40	+ 0,72	3,45
750 à 1 000	38	- 6,01	4,49	+ 0,29	2,25	- 0,17	5,16	- 0,94	2,22
1 000 à 1 250	23	- 6,32	2,84	+ 1,34	1,94	- 2,05	7,01	- 0,24	1,41
1 250 à 1 500	32	- 6,70	4,44	+ 0,87	1,74	- 1,57	6,05	- 0,78	2,30
1 500 à 2 000	41	- 6,97	4,11	+ 1,05	1,49	- 0,79	7,84	- 0,55	2,30
2 000 à 2 500	28	- 7,75	3,14	+ 1,13	2,04	- 1,08	3,74	- 0,58	1,98
2 500 à 3 000	19	- 7,89	2,46	+ 1,37	1,78	- 1,07	3,96	- 0,60	1,56
3 000 à 4 000	17	- 6,63	2,53	+ 0,50	2,48	- 3,85	15,99	- 0,53	2,29
Plus de 4 000	23	- 8,27	6,08	+ 0,91	2,04	- 4,69	7,62	- 2,09	3,01
Tous arbres	300	- 6,32	4,63	+ 0,93	2,60	- 0,79	8,11	- 0,55	2,40

Volume des surbilles I.F.N. (au-dessus de la première déformation)

En général, la méthode de cubage I.F.N. donne des résultats un peu plus faibles (de l'ordre de 1 %) que ceux obtenus par la méthode R.F. Ces différences sont cependant d'autant moins significatives que le volume de ces surbilles ne représente en général qu'une petite fraction du volume total : en général 10 à 15 % dans le cas des feuillus, et bien moins encore dans le cas des résineux.

Volume total de la tige

Il y a compensation, et on obtient des écarts en général très faibles, de l'ordre de 0 à 2 %.

Ces écarts sont positifs en faveur de V.R.F. et s'expliquent par la surestimation R.F. du premier billon.

Les écarts sont un peu plus importants pour les petits Pins sylvestres que l'I.F.N. sous-estime de 3 à 4 % par rapport à R.F.

Par contre, pour certains gros Sapins, V.I.F.N. peut dépasser V.R.F. de 5 %. La figure 1, qui montre le cas d'un de ces gros Sapins, peut expliquer ce fait ; on remarque en effet que la décroissance de la moitié supérieure du deuxième billon est plus grande que celle de la moitié inférieure ; cela peut être à l'origine de la surestimation qu'on a trouvée.

Écarts relatifs

On a cherché à expliquer si l'écart relatif $\frac{V.I.F.N. - V.R.F.}{V.R.F.}$ était lié à telle ou telle caractéristique.

Il semble qu'il y ait un effet de l'espèce ; en effet, les résultats pour le Pin sylvestre sont un peu moins bons que pour la moyenne d'ensemble, alors que pour le Douglas ils sont meilleurs. Cet effet n'est cependant pas très important et il n'est pas sûr qu'il soit significatif.

On a également cherché à savoir si les écarts étaient liés avec des caractéristiques individuelles des tiges.

On n'a trouvé aucune relation des écarts, ni avec le volume, ni avec le diamètre, ni avec le rapport H/D qui est lié avec la forme des tiges.

Par ailleurs, considérant que la bille de pied (somme des premier et deuxième billons) correspond à la partie de la tige ayant la plus grande valeur commerciale, on a cherché s'il y avait une relation entre les rapports :

$$\frac{V.I.F.N. \text{ (bille de pied)} - V.R.F. \text{ (bille de pied)}}{V.R.F. \text{ (bille de pied)}} \text{ d'une part}$$

$$\frac{V.R.F. \text{ (bille de pied) d'autre part}}{V.R.F. \text{ total}}$$

On pouvait en effet penser que ce dernier rapport rendait compte de la régularité de la forme puisqu'il est lié à la hauteur où se situe la première décroissance brutale.

Mais on n'a trouvé aucune relation entre ces deux rapports.

COMPARAISON DE TARIFS DE CUBAGES

On a calculé des tarifs de cubage I.F.N. et des tarifs R.F. pour le Hêtre à titre d'exemple.

Le tableau II permet de comparer les divers tarifs obtenus au tarif de référence publié dans le manuel sur le Hêtre [2]. Par commodité, on s'est contenté de faire les comparaisons sur un certain nombre de couples (d,h) qui sont indiqués dans les deux premières colonnes du tableau.

Les colonnes 3 et 4 correspondent aux tarifs calculés sur les 300 Hêtres ayant servi à l'étude :

$$V.I.F.N. = a_0 + a_1d + a_2h + a_3d^2 + a_4dh + a_5h^2 + a_6d^3 + a_7d^2h + a_8dh^2 + a_9h^3$$

$$V.R.F. = b_0 + b_1d + b_2h + b_3d^2 + b_4dh + b_5h^2 + b_6d^3 + b_7d^2h + b_8dh^2 + b_9h^3$$

avec $a_0 = - 268$	$b_0 = 332$
$a_1 = 15,887$	$b_1 = - 17,929$
$a_2 = 0$	$b_2 = - 40,49$
$a_3 = 1,7834$	$b_3 = 1,0412$
$a_4 = - 4,1720$	$b_4 = 0$
$a_5 = 2,695$	$b_5 = 2,136$
$a_6 = - 6,0054 \times 10^{-3}$	$b_6 = - 4,6943 \times 10^{-3}$
$a_7 = 0$	$b_7 = 0,018496$
$a_8 = 0,08932$	$b_8 = 0$
$a_9 = - 0,06359$	$b_9 = - 0,02908$

Les colonnes 5 et 6 correspondent à des tarifs simplifiés :

$$V.I.F.N. = 182 + 0,0311 d^2h \quad V.R.F. = 155 + 0,032165 d^2h$$

La colonne 7 correspond au tarif de référence [2].

Technique et forêt

Dans ces formules :

- le volume v est exprimé en dm^3 ;
- le diamètre d est exprimé en cm ;
- la hauteur h est exprimée en m .

Tableau II Comparaison des estimations fournies par les divers tarifs de cubage

1	2	3	4	5	6	7
D	M	V.I.F.N.	V.C.R.F.	V.I.F.N.	V.R.F.	Le Hêtre
15	12	71	103	266	241	101
20	14	250	228	356	335	211
25	16	482	426	493	476	374
30	18	769	698	685	676	599
35	20	1 114	1 044	944	943	896
40	22	1 521	1 465	1 276	1 287	1 273
45	24	1 993	1 961	1 693	1 718	1 739
50	26	2 533	2 534	2 203	2 245	2 300
55	28	3 144	3 184	2 816	2 879	2 983
60	30	3 830	3 911	3 540	3 628	3 734
65	32	4 593	4 713	4 386	4 503	4 614
70	34	5 436	5 600	5 363	5 533	5 606
75	36	6 364	6 563	6 479	6 668	6 709
80	38	7 378	7 606	7 745	7 977	7 921
85	40	8 483	8 730	9 169	9 450	9 236
90	42	9 681	9 935	10 762	11 097	10 644
95	44	10 975	11 222	12 531	12 927	12 134
100	46	12 369	12 592	14 487	14 950	13 689
		v = polynôme (c, h)		v = a + bC ² h		Manuel Hêtre
				300 arbres		1 066 arbres

Tous ces tarifs ont été calculés à l'aide de la méthode des moindres carrés non pondérés. Pour les tarifs polynomiaux, on a simplement pris les termes du polynôme du troisième degré fournis les premiers par une régression progressive, ce qui explique que n'apparaissent pas les mêmes monômes dans V.I.F.N. et dans V.R.F. Le fait qu'on n'ait pas utilisé de pondérations explique les résultats relativement médiocres qu'on observe pour les petits diamètres.

On peut chiffrer les écarts entre les tarifs par l'expression $[(V.I.F.N. - V.R.F.) / (V.I.F.N. + V.R.F.) / 2]$. On observe de cette manière que :

- les tarifs des colonnes 3-4 sont très voisins ;
- de même, les tarifs des colonnes 5-6 sont très voisins ;
- les écarts entre les colonnes 3 et 5 ou 4 et 6 sont plus grands ;
- enfin, les écarts les plus grands sont entre les colonnes 5-6 d'une part, et les colonnes 3-4-7 ;

On en déduit que l'effet de la méthode de cubage (I.F.N. - R.F.) est le moins important, puis vient l'effet du lot d'arbres cubés (300 arbres dans un cas et 1 066 dans l'autre), et enfin l'usage d'une formule simplifiée ($v = a + bd^2h$) qui introduit des écarts considérables.

On observe également que la faible différence observée au niveau des mesures brutes se conserve dans les tarifs V.I.F.N. et V.R.F.

DISCUSSION-CONCLUSION

La comparaison entre les méthodes de cubage de l'Inventaire forestier national et celle de la Recherche forestière montre que les volumes estimés par ces deux méthodes ne sont pas différents de plus de 2 à 3 %, avec un écart moyen de 1 % en faveur du volume R.F. Cet écart se retrouve dans les tarifs de cubage. Compte tenu de ce que cet écart :

— est inférieur à la précision des appareils utilisés pour les mesures de hauteur et de diamètre ;

— ne semble pas lié à une variable simple comme la hauteur, le volume, la forme ou l'espèce ;

— vient en grande partie du fait que le billon de pied calculé par la Recherche forestière intègre l'empatement, alors que l'Inventaire forestier national l'ignore ;

nous concluons que les cubages faits par l'Inventaire forestier national sont exacts et qu'ils peuvent être utilisés pour la construction de tarifs précis à deux entrées. Ceci autorise à utiliser l'immense base de données de l'I.F.N. dans cette perspective.

Certains lecteurs pourront se demander comment, avec quelques mesures seulement, l'on peut obtenir la même précision qu'avec une mesure tous les mètres. Rappelons simplement que l'originalité de la méthode I.F.N. vient de ce que la tige est découpée fictivement en billons de formes très régulières ; or, on sait que, pour de tels billons, le volume commercial est très proche du volume exact.

De plus, et surtout, le second billon, qui est celui qui représente en général la partie principale du volume, est cubé par l'I.F.N. en utilisant la formule de Newton (ou à 3 niveaux) dont on sait qu'elle a pour caractéristique de donner le volume exact pour tous les corps de révolution engendrés par un polynôme de degré inférieur à 4 (cylindres, cônes, paraboloides, néloïdes). Compte tenu du fait que les arbres ont toujours des formes comprises entre les 2 extrêmes que représentent le cylindre et le néloïde, il n'est pas étonnant que la formule de Newton donne le volume du deuxième billon avec une excellente précision [4].

J. BOUCHON
Station de Sylviculture
et de Production
CENTRE DE RECHERCHES
FORESTIÈRES (I.N.R.A.)
CHAMPENOUX 54280 SEICHAMPS

J.M. DELORD
INVENTAIRE FORESTIER NATIONAL
Échelon interrégional de Lyon
Chemin des Chasseurs Parc de Parilly
BP 74 - 69672 BRON CEDEX

P. ROUSSEAU
INVENTAIRE FORESTIER NATIONAL
Échelon interrégional de Nancy
14, rue Girardet
54042 NANCY CEDEX

BIBLIOGRAPHIE

- [1] BRENAC (L.). — Le dendromètre Sanlaville et ses dérivés, ou du caractère répétitif de certaines inventions. — *Revue forestière française*, vol. 23, n° 1, 1981, pp. 43-60.
- [2] INSTITUT NATIONAL DE LA RECHERCHE AGRONOMIQUE. — Le Hêtre/ouvrage collectif sous la direction de E. Teissier du Cros. — Paris : Institut national de la Recherche agronomique — Recherches forestières, 1981. — 614 pages.
- [3] MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE, Direction des Forêts, Inventaire forestier national. — But et méthodes de l'inventaire forestier national. — Paris : Imprimerie nationale, 1985. — 68 pages.
- [4] PARDÉ (J.). — Dendrométrie. — Nancy : École nationale des Eaux et Forêts, 1961. — 350 pages.