

La placette sol d'inventaire formée de plusieurs cercles concentriques⁽¹⁾

par Robert B. CHEVROU*

Introduction

Divers services d'inventaire forestier national utilisent une placette sol formée de plusieurs cercles concentriques. Il en est ainsi en Suisse, en France, au Maroc et en Tunisie notamment.

Ce type de placette sol, qui sera notée, ici, placette sol CC (CC pour cercles concentriques), a de nombreux avantages pratiques et théoriques que nous nous proposons d'exposer : bonne répartition des nombres d'arbres par catégories de dimensions, simplicité de l'assiette de la placette en bordure de strate ou de forêt, taille réduite, facilité de mise en oeuvre et de formation des personnels qui en sont chargés. Elle a, aussi, quelques menus inconvénients. Elle nous paraît être bien adaptée à l'exécution d'un inventaire forestier national.

Dans la suite, nous prendrons en exemple la placette sol CC utilisée par le service de l'inventaire forestier national français (I.F.N.), placette à la définition de laquelle nous avons participé à la fin des années soixante.

La placette sol CC sera comparée à d'autres types de placettes, à savoir la placette assise par jauge d'angle, dite aussi "placette à diamètre apparent défini" (Duplat et Perrotte, 1981), notée ici placette sol JA (pour jauge d'angle), et la placette formée d'un seul cercle, de diamètre constant ou non selon le type de formation forestière, dite aussi "placette à surface définie", notée ici placette sol CU (pour cercle unique).

Le type de placette sol JA a été utilisé en Espagne et en Grèce ; le type de placette sol CU, avec un cercle de rayon variable, a été utilisé en Italie.

Forme de la placette sol de l'inventaire forestier national français

Le service de l'inventaire forestier national français (I.F.N.) utilise une placette sol CC pour lever, sur le terrain, les arbres du peuplement forestier désigné par le point d'inventaire. Cette pla-

cette I.F.N. est formée de trois cercles concentriques dont les rayons sont (Cf. Fig. 1) :

Rayon 6 m :

Petit cercle où sont levés et mesurés les "petits bois", catégorie de dimension contenant les arbres dont le diamètre à 1,30 m est au moins égal à 7,5 cm et inférieur à 22,5 cm ;

Rayon 9 m :

Cercle moyen où sont levés et mesurés les "bois moyens", catégorie de dimension contenant les arbres dont le diamètre à 1,30 m est au moins égal à 22,5 cm et inférieur à 37,5 cm ;

Rayon 15 m :

Grand cercle où sont levés et mesurés les "gros bois", catégorie de dimension contenant les arbres dont le diamètre à 1,30 m est au moins égal à 37,5 cm ; Cf Fig 1.

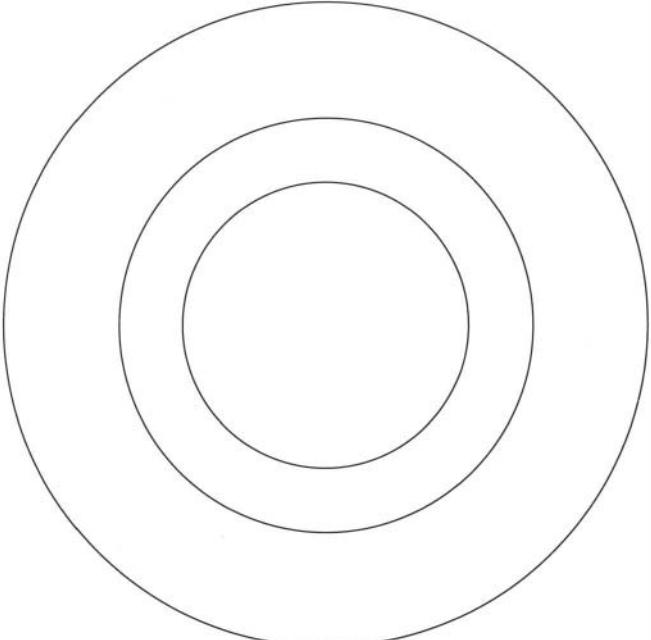


Fig. 1 : Placette I.F.N. formée de 3 cercles concentriques de rayon 6m, 9m et 15m.

(1) Cet article a paru dans le Journal forestier Suisse - avril 1993, qui nous a donné l'autorisation de le reproduire.

*21, rue Clair Soleil, Saint-Jean-de-Védas, France

Les arbres appartenant à la placette sont numérotés sur chacun des trois cercles, selon un ordre immuable, de façon à pouvoir les retrouver et les identifier individuellement lors d'un contrôle ou d'une remesure effectués plusieurs semaines, plusieurs mois ou plusieurs années plus tard, par la même équipe d'inventaire ou par toute autre équipe. La position, azimut et distance au centre de la placette, de chacun de ces arbres est déterminée sur les placettes susceptibles d'être remesurées lors de l'inventaire suivant, environ 10 années plus tard.

Est considéré comme arbre "limite", dont l'appartenance à la placette est a priori douteuse, tout arbre dont la section à 10 cm au dessus du sol (elle sera notée S_{10} dans ce qui suit) est traversée par le périmètre du cercle correspondant à sa dimension, selon ce qui est écrit plus haut (gros bois, bois moyens, petits bois).

Sont pris en compte, donc levés et mesurés, ceux des arbres limite qui sont situés sur le côté est du périmètre du cercle, et sont exclus ceux situés côté ouest.

Cette procédure est motivée par le fait que l'intersection de la section S_{10} avec le périmètre du cercle peut être matérialisée sans ambiguïté, au contraire de l'axe de la tige de l'arbre qui détermine l'appartenance à la placette dans la procédure usuelle. Cet axe est à l'intérieur du bois, donc invisible, sauf sur la souche d'un arbre coupé. Peut-on même définir de façon simple et sans ambiguïté le centre d'une section de tige et a fortiori l'axe d'une tige ?

L'I.F.N. recherche et met en oeuvre des procédures sans ambiguïté, autant que faire se peut, pour réduire doutes et contestations lors des mesures, de leurs contrôles, et des remesures ultérieures, qui sont réalisés par tout temps et en tout lieu, et, par suite, dans des conditions variées qui ne sont pas toujours très favorables. Il n'en n'est pas moins vrai que certaines ambiguïtés demeurent (tangence entre S_{10} et le périmètre du cercle, arbre non limite lors de la première mesure et devenu limite par sa croissance lors de la seconde, etc...).

La procédure ainsi adoptée par l'I.F.N. introduit cependant un biais d'estimation. La placette est, en fait, formée de demi-cercles concentriques. Si l'on considère, par exemple, le grand cercle de rayon $R = 15$ m, sur lesquels sont levés les gros bois, et l'un des arbres limite de section S_{10} supposée circulaire et de rayon r_{10} , la procédure décrite ci-dessus remplace le cercle de rayon R par deux demi-cercles :

* à l'ouest, un demi-cercle de rayon $R - r_{10}$;

* à l'est, un demi-cercle de rayon $R + r_{10}$.

La surface totale de ces deux demi-cercles est égale à $\pi(R^2 + r_{10}^2)$. Elle est donc supérieure à la surface πR^2 du cercle de rayon R d'une quantité πr_{10}^2 égale à la surface de la section S_{10} . On prend donc en compte un nombre excessif d'arbres, en moyenne, et on surestime donc le volume par hectare en rapportant le volume trouvé sur ces deux demi-cercles à la surface πR^2 . Le biais relatif est ici égal à $+(r_{10}^2/R^2)$. Il n'atteint et ne dépasse la valeur de +1% que pour les arbres dont le rayon r_{10} de la section S_{10} atteint ou dépasse 150 cm, soit un diamètre de la section S_{10} supérieur ou égal à 3 m, et une circonference supérieure à 9,4 m, arbres qui sont très rares en France relativement à l'effectif total des arbres échantillon.

Le biais lié à cette procédure particulière à l'I.F.N. existe pour tous les types de placettes, donc pour la placette sol JA et pour la placette sol CU.

On pourrait réduire ce biais de façon très simple en excluant les arbres limite situés à l'est dont la section S_{10} est traversée par la ligne nord-sud passant au centre du cercle (Cf. Fig. 2). Les arbres dont la section S_{10} a un rayon r_{10} seraient pris en compte sur une surface égale ou inférieure à $\pi(R^2 + r_{10}^2) - 4r_{10}^2$, inférieure à πR^2 , et le biais relatif serait égal ou inférieur à $(1 - 4/\pi)r_{10}^2/R^2 = -0,27$.

r_{10}^2/R^2 . Le biais relatif serait négatif et il n'atteindrait la valeur de -1% que pour les arbres dont le diamètre de la section S_{10} atteindrait la valeur de 5,74 m, et une circonference de 18 m.

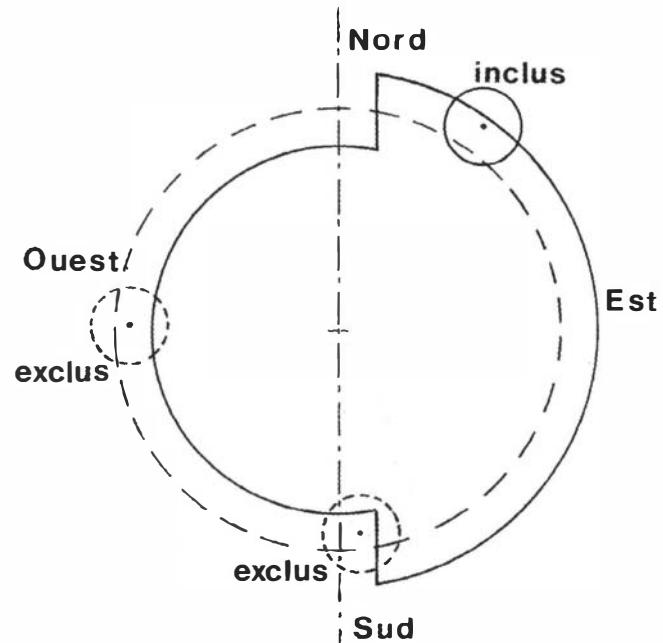


Fig. 2 : Arbres limite sur le cercle de rayon 15m.

Pour supprimer ce biais, on pourrait aussi lever et mesurer tous les arbres limite en les comptant pour un demi arbre chacun. Il y aurait alors, dans l'échantillon, des "arbres entiers" et des "demi-arbres". Cette procédure serait excellente, la proportion de ces "demi-arbres" restant très faible ; mais elle est susceptible d'entraîner quelques erreurs nouvelles dans l'enregistrement sur le terrain et la prise en compte dans les calculs de ces deux types d'arbres, notamment sur les placettes permanentes où un arbre initialement "non limite" peut devenir "limite" à la date d'une mesure ultérieure, du seul fait de la croissance du diamètre de sa souche.

Assiette de la placette sol CC en bordure de strate ou de forêt

Lorsque le point d'inventaire se situe loin à l'intérieur de la strate qu'il désigne, l'assiette de la placette sol CC ne pose aucun problème, les cercles étant concentriques comme décrit ci-dessus, et centrés sur le point d'inventaire.

Lorsque le point d'inventaire se trouve à proximité de la limite de la strate qu'il désigne, un ou plusieurs des cercles de la placette sol CC peuvent être traversés par la limite de la strate ou de la forêt.

Dans un tel cas, et en considérant l'un des cercles, par exemple celui de rayon 15 m sur la placette I.F.N., une partie de ce cercle est extérieur à la strate désignée. Cette partie peut être vide (hors forêt par exemple), ou elle peut contenir des arbres très différents de ceux de la strate, par leur essence, par leurs formes, ou par leurs dimensions.

Supposons que la strate désignée contienne des gros bois, et que, de l'autre côté de la limite, il n'y ait aucun arbre recensable de diamètre $\geq 7,5$ cm. Considérons le volume V trouvé sur la surface S du cercle, de rayon $R = 15$ m, intérieure à la strate désignée. Si l'on rapporte ce volume V à la surface du cercle, πR^2 , au lieu de la surface S , on sous-estime le volume par hectare sur le point d'inventaire et tous les volumes qui en découlent, pour la strate et pour la forêt. Si l'extérieur est vide d'arbres, le biais relatif peut atteindre -50% lorsque le point d'inventaire est très proche de la limite rectiligne, voire plus si la limite forme un "coin". Si l'extérieur n'est pas vide, il y a un biais de "représentativité" venant du mélange éventuel d'arbres d'essences, de formes et de dimensions différentes selon qu'ils sont dans la strate ou à l'extérieur.

Soit un peuplement de futaie jardinée, de paramètre de de Liocourt égal à 1,30 et de diamètre maximum égal à 80 cm, où s'applique un tarif Schaeffer rapide $M = 1,4$ (Cf. Tab. I).

Supposons qu'une limite rectiligne sépare ce peuplement d'une strate ou parcelle vide d'arbres recensables, où le volume est donc nul.

La figure 3 montre la valeur du biais relatif sur le volume en fonction de la distance à cette limite dans un tel peuplement, d'une part pour la placette I.F.N. qui contient en moyenne 14,6 arbres, et, de l'autre, pour la placette sol JA assise par jauge d'angle $\alpha = 1/35$ radian, qui contient en moyenne 18,8 arbres. Cette figure montre que ce biais relatif est grand au voisinage de la limite. Il est plus grand pour la placette sol JA et, pour cette placette, le biais existe sur une bande plus large (28 m au lieu de 15 m). En ce qui concerne le biais d'estimation du volume moyen d'une parcelle forestière homogène, sa valeur dépend de la surface relative de la bande où ce biais existe. Le biais n'est notable que pour les plus petites parcelles (moins de 10 ha), ou pour celles dont la forme est telle que la longueur du périmètre, et par conséquent la surface de la bande où le biais existe, soit relativement grande. Il peut être montré que le biais atteint et dépasse -10% pour les parcelles carrees de surface inférieure à 4 ha. (Cf Tab. I et Fig. 3).

On pourrait corriger ce biais en calculant le volume moyen par hectare sur la surface S du cercle intérieure à la strate. Cette procédure serait ici relativement complexe, alors qu'il est recommandé de simplifier les opérations d'inventaire, et d'adopter des placettes de taille constante.

Aussi utilise-t-on l'une ou l'autre des procédures suivantes : Placette "miroir" ou "réfléchie", et placette déplacée.

On s'efforce, autant que faire se peut, d'utiliser la procédure dite de la "placette réfléchie" (terminologie I.F.N., voir Chevrou, 1972, 1973) ou "placette miroir" (voir Pardé et Bouchon, 1988).

Si la limite auprès de laquelle se trouve le point d'inventaire, est rectiligne (chemin, clôture, etc...), ou si l'on peut définir une limite imaginaire et rectiligne entre la strate désignée et son extérieur, qui s'appuie sur des éléments existants (fossé, lignes de plantation, limite du couvert, etc...), cette limite réelle ou imaginaire définit la ligne séparative sur laquelle la procédure est assise.

On définit alors un point annexe, "symétrique" du point d'inventaire par rapport à la limite, donc situé à l'extérieur de la strate, à une distance de la limite égale à celle qui sépare cette limite du point d'inventaire. Pour l'I.F.N., ce point annexe est déplacé, si possible, parallèlement à la limite à une distance au moins égale à 30 m (2 fois 15 m) du point d'inventaire pour que les grands cercles centrés sur le point d'inventaire et le point annexe ne se chevauchent pas, et pour qu'il n'y ait pas d'arbre commun aux deux placettes décrites ci-après. (Cf. Fig. 4, page suivante).

On assoit et on lève alors deux placettes, chacune formée de trois cercles concentriques, l'une centrée sur le point d'inventaire, l'autre centrée sur le point annexe. Sur ces deux placettes, on ne lève que les arbres appartenant à la strate désignée par le point d'inventaire. On voit alors que la surface totale levée et intérieure à la strate est égale à celle d'une placette normale. Ce ne serait pas le cas si la limite n'était pas rectiligne.

Cette procédure permet de supprimer le biais d'estimation dû à la présence d'une limite de strate.

Pour la placette centrée sur le cercle annexe, les arbres limite pris en compte sont ceux situés à l'ouest, et ceux situés à l'est sont

Tab. I : Effectifs par hectare en futaie jardinée pour paramètre de de Liocourt = 1,30. D : catégorie de diamètre en cm; N : effectifs par hectare; v : volume arbre en m^3

D:	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80
N:	102	78	60	46	36	27	21	16	12	10	7	6	4	3
V:	0,05	0,15	0,30	0,50	0,75	1,05	1,40	1,80	2,25	2,75	3,30	3,90	4,55	5,25

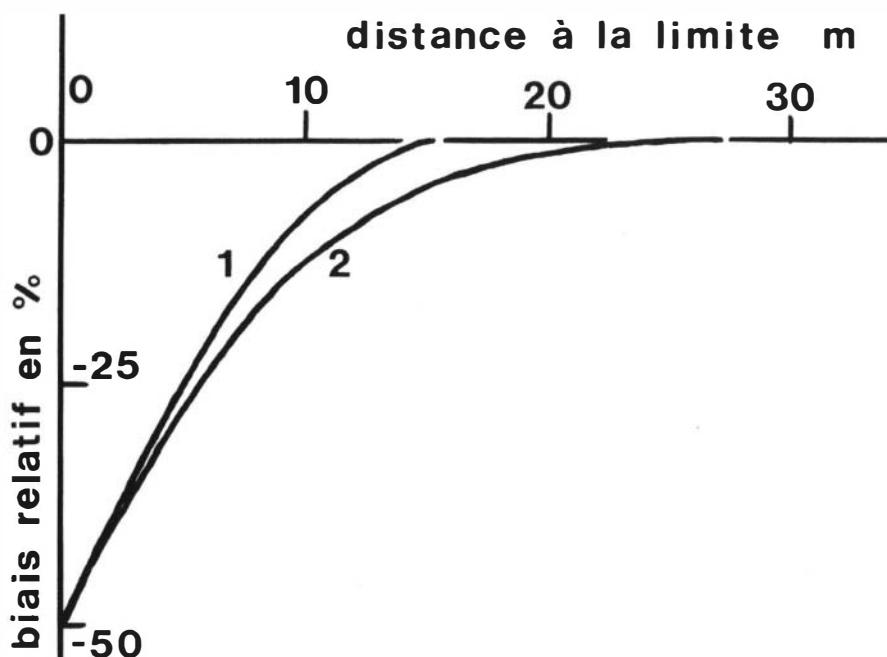


Fig. 3 : Biais relatif sur le volume pour placette non déplacée.
1 : Placette I.F.N.
2 : Placette assise par jauge d'angle $\alpha = 1/35$ radian

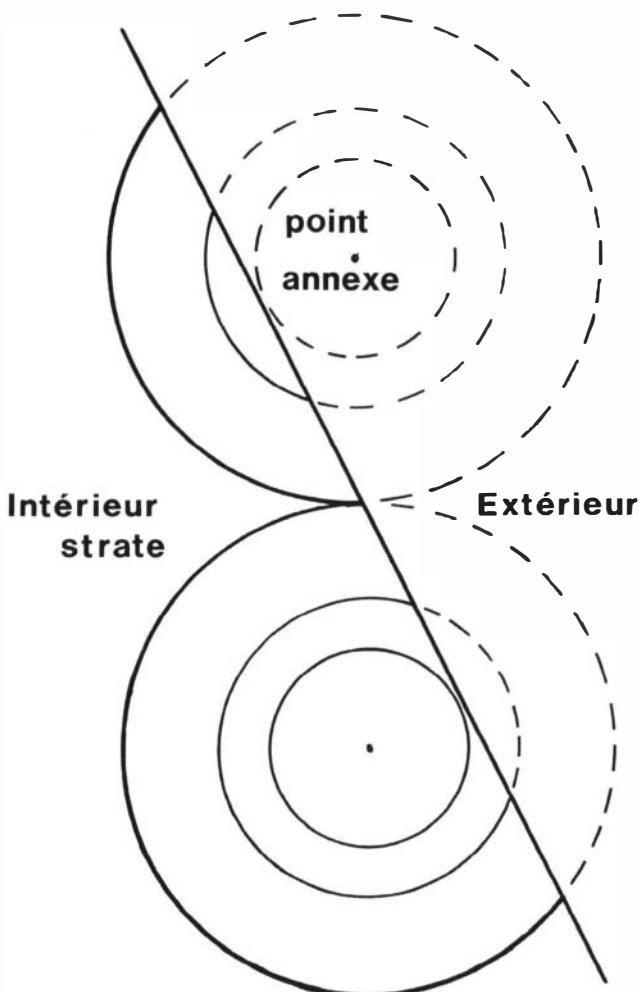


Fig. 4 : Placette I.F.N. réfléchie ou Placette miroir.

exclus, ce qui est un effet automatique et nécessaire de la symétrie.

Quand la limite réelle n'est pas rectiligne, et qu'on ne peut pas définir une limite imaginaire rectiligne, la seconde procédure consiste à entrer la placette à l'intérieur de la strate par un déplacement minimum qui consiste à rendre chacun des cercles tangent à la limite. Les trois cercles ne sont alors pas concentriques (Cf. Fig. 5).

Cette dernière procédure entraîne un biais de représentativité, car les arbres voisins de la limite sont sous-échantillonés (Chevrou 1973), alors qu'ils peuvent être différents de ceux situés à l'intérieur de la strate loin de la limite, ce qui est plus probable en bordure de forêt du fait de l'action de l'homme (traitement particulier, conservation d'arbres corniers, effets des engrangements sur les prairies et les cultures voisines de la forêt, etc...), ou des animaux (pâturage, gagnage, frottis), ou de l'action des éléments naturels (soleil, vent, gel, tempête, effet de lisière, etc...).

Si les deux procédures exposées ci-dessus (placette réfléchie et placette déplacée) sont aisément mises en oeuvre avec la placette sol CC ainsi qu'avec la placette sol CU, il n'en est pas de même pour une placette sol JA pour laquelle, d'une part les deux placettes symétriques peuvent avoir des arbres communs ce qui est un moindre mal, et d'autre part le déplacement de la placette est quasiment impraticable.

En effet, à cette placette sol JA correspond une infinité de cercles concentriques, les arbres de diamètre apparent D étant levés sur un cercle de diamètre $R(D) = D/\alpha$, où α est l'angle de jauge (Pardé et Bouchon, 1988). Le plus grand de ces cercles est celui de rayon R_{\max} correspondant au plus grand diamètre appa-

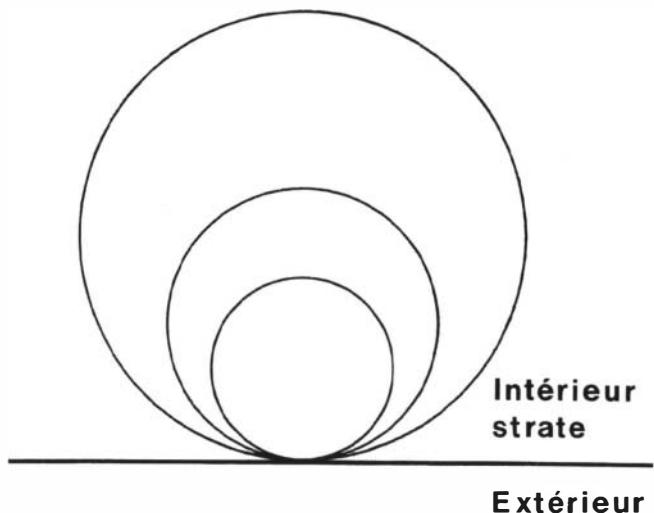


Fig. 5 : Placette I.F.N. déplacée.

rent D_{\max} des arbres de la strate désignée par le point d'inventaire, et $R_{\max} = D_{\max} / \alpha$.

On verra que R_{\max} peut être très grand, et supérieur à 40 m. Comme il n'est pas possible de construire une série infinie de cercles non concentriques tangents à la limite, il faut entrer le point d'inventaire dans la strate pour le placer à la distance R_{\max} de la limite, ce qui augmente de façon considérable le biais de représentativité. Et un tel déplacement est obligatoire pour éliminer le biais important qui résulte du non déplacement (voir plus haut).

Choix de la taille de la placette I.F.N. : rayons des trois cercles

Le choix des rayons des trois cercles formant la placette I.F.N., 6 m, 9 m et 15 m, comme indiqué plus haut, résulte d'une étude faite à l'occasion du premier inventaire du département du Loir-et-Cher, en 1967.

Les motifs du choix sont partiellement basés sur les effectifs moyens des arbres des différentes catégories de dimensions (gros bois, bois moyens, petits bois) trouvés dans ce département, et l'on aurait voulu qu'il y eût, en moyenne, 10 arbres sur la placette I.F.N., dont 4 petits bois, 3 bois moyens et 3 gros bois, pour des raisons de représentativité, de précision et de coût (rentabilité), compte tenu des objectifs de l'époque.

Par la suite il est apparu que les échantillons ne se répartissaient pas ainsi dans les autres départements, mais la répartition ne s'en éloigne pas trop.

Le tableau II donne les effectifs moyens des arbres échantillon qui seraient levés et mesurés dans quelques peuplements forestiers représentatifs, si le tirage des placettes I.F.N. était fait au hasard simple. Ces effectifs échantillon sont déduits des effectifs totaux estimés par l'I.F.N., ce qui permet de les comparer à ceux qui seraient obtenus avec une placette sol CU formée d'un seul cercle de rayon 7,5 m, et à ceux obtenus avec une placette sol JA assise par jauge d'angle $\alpha = 1/35$ radian, pour lesquelles l'effectif

moyen serait du même ordre de grandeur que celui de la placette sol CC de l'I.F.N.

Le nombre d'arbres échantillon, n , trouvé en moyenne sur un cercle de rayon R mètres, est déduit du nombre total, NR , d'arbres par hectare dans la population, dans la catégorie de diamètres ou la catégorie de dimension concernée par ce cercle, par la formule : $n_R = NR \pi R^2 / 10000$.

Les effectifs réels moyens observés sur les placettes I.F.N. sont un peu différents car le tirage des placettes est effectué après stratification, les peuplements formés de gros bois étant, le plus souvent, plus échantillonés qu'ils ne le seraient avec un échantillon aléatoire simple. (Cf. Tab. II)

Ce tableau II permet de constater que la placette I.F.N. conduit à lever un peu trop de petits bois. Sur des placettes I.F.N. assises dans des taillis denses ou des régénérations naturelles, on a pu trouver plus de 80 arbres sur le cercle de rayon 6 m ! On verra, ci-après, qu'une procédure spéciale a été construite pour réduire le nombre des arbres mesurés à environ 10, en moyenne.

Bien entendu, pour la placette sol CU, le nombre moyen de petits bois serait excessif, et celui des gros bois insuffisant. C'est pourquoi on utilise un cercle de rayon variable avec la densité moyenne des peuplements inventoriés, variabilité qui est une source d'erreurs possibles de la part de personnels inexpérimentés.

La placette sol JA permet d'obtenir dans l'échantillon une représentation assez uniforme des arbres des différentes catégories de diamètres. En futaie, dans l'exemple du tableau II, et pour un effectif total de 12 à 13 arbres par placette, on obtient, en moyenne, environ 1 arbre de chacune des catégories de diamètres (de largeur 5 cm) jusqu'au diamètre 45 cm ou 50 cm, puis le nombre d'arbres échantillon décroît lentement au delà. Par rapport aux effectifs trouvés sur la placette I.F.N., il y a moins de petits bois et plus de gros bois, mais les différences restent faibles.

On notera toutefois que la recherche des gros arbres sur la placette I.F.N. est limitée à un cercle de rayon 15 m et une surface de 7 ares environ. Au contraire, sur la placette sol JA, la

recherche des gros arbres doit se faire sur des cercles beaucoup plus grands. Avec un angle de jauge $\alpha = 1/35$ radian, les résultats publiés par l'I.F.N. pour la futaie feuillue du Loir-et-Cher montrent que la recherche des gros bois serait faite sur un cercle de rayon 45,5 m et de surface 65 ares (diamètre maximum inventorié égal à 130 cm) ; pour la futaie résineuse des Vosges, cette recherche concernerait un cercle de rayon 42 m et de surface 55 ares (diamètre maximum inventorié égal à 120 cm). Encore peut-il exister des arbres encore plus gros et non trouvés dans l'échantillon I.F.N. !

On imagine, sans peine, la difficulté qu'il y aurait à rechercher ces gros arbres sur de telles distances et de telles surfaces, dans des peuplements relativement denses, et parfois très encombrés par les morts-bois ou le sous-étage, sur des pentes difficiles à parcourir, ou sur des sols mouilleux ou marécageux en période hivernale ! Des oubliés seraient inévitables, sans compter les biais liés au problème des limites de strate et de forêt examinés plus haut.

En adoptant, pour la placette I.F.N., un quatrième cercle de rayon 25 m et de surface 20 ares environ, sur lequel seraient levés les très gros arbres de diamètre égal ou supérieur à 52,5 cm, on triplerait l'effectif échantillon de ces très gros arbres. Leur nombre étant très faible (Cf. Tab. II), il est à craindre que les estimations n'en soient pas notablement améliorées ; au contraire, l'efficacité (le rapport du coût sur la précision) du travail au sol pourrait être sensiblement dégradée.

L'inventoriste qui envisage d'adopter une placette sol CC doit choisir le nombre de cercles, et leurs rayons respectifs, en fonction des effectifs moyens par hectare des arbres des diverses catégories de dimensions, et de la représentativité qu'il veut leur donner dans les divers résultats de l'inventaire, aussi bien que dans l'utilisation qui sera faite de ces données. Ce choix n'est pas particulier à ce type de placette, et, pour d'autres types, il faudrait choisir soit le rayon de la placette sol CU, soit l'angle de jauge de la placette sol JA. Pour ce faire, on utilise les résultats des inventaires antérieurs (inventaires nationaux ou régionaux dans le pays, ou dans des pays où les forêts sont de nature similaire, inventaires d'aménagement, travaux de recherche, etc...). Voir Chevrou, 1972.

Catégorie de dimension	Futaie feuillue Loir-et-Cher 1982			Taillis simple Loir-et-Cher 1982			Futaie résineuse Vosges 1981			Futaie + Taillis Vosges 1981		
	IFN	JA	CU	IFN	JA	CU	IFN	JA	CU	IFN	JA	CU
7,5 à 22,5 cm	5,66	3,52	8,84	10,65	5,66	16,64	6,89	4,28	10,77	4,37	2,49	6,83
22,5 à 37,5 cm	3,23	4,18	2,24	0,90	1,03	0,62	2,73	3,53	1,90	2,23	2,90	1,55
37,5 à 52,5 cm	2,82	2,95	0,70	0,35	0,39	0,09	2,85	3,02	0,71	2,77	3,02	0,69
≥ 52,5 cm	0,84	1,74	0,21	0,17	0,35	0,04	1,04	2,18	0,26	1,06	2,22	0,26
TOTAUX :	12,56	12,40	11,99	12,07	7,43	17,39	13,51	13,01	13,64	10,43	10,63	9,33

Tab. II : Effectifs moyens sur différents types de placettes.

IFN : Placette sol CC IFN formée de 3 cercles concentriques (6m, 9m et 15m) ;

JA : Placette assise par jauge d'angle $\alpha = 1/35$;

CU : Placette sol CU formée d'un seul cercle de rayon 7,5 m.

Simplification des levers en peuplement très dense sur la placette I.F.N.

Le petit cercle de la placette I.F.N., sur lequel sont levés et mesurés les petits bois, peut contenir plusieurs dizaines d'arbres.

Pour réduire les coûts des levers, le nombre des arbres "petits bois" mesurés est limité à 15 arbres de la même essence dans les peuplements de structure régulière (futaie régulière et taillis).

Bien que, depuis 1985, l'I.F.N. utilise des tarifs de cubage pour réduire à deux (diamètre à 1,30 m et hauteur totale) le nombre des mesures nécessaires à l'estimation du volume d'un arbre, la procédure simplificatrice suivante reste utilisée pour la mesure de l'accroissement radial et celle de l'accroissement en hauteur nécessaires à l'estimation de l'accroissement en volume, qui sont relativement longues et onéreuses.

Si donc, sur le petit cercle, il y a 15 ou moins de 15 petits bois de la même essence, ils sont tous mesurés. S'il y a plus de 15 petits bois de la même essence, soit un nombre d'arbres n_{pb} égal à $10k+m-4$, où $k \geq 2$ et $m \in (0,9)$, ces arbres sont levés et numérotés mais on ne mesure que 1 arbre sur k . Les arbres mesurés sont ceux dont les numéros sont 1, $1+k$, $1+2k$, ..., (exemple : $k=5$ et $m=1$: $n_{pb}=47$ et on mesure 1 arbre sur 5, ceux portant les numéros 1, 6, 11, 16, 21, 26, 31, 36, 41, 46). Aux arbres de numéros intermédiaires sont affectées les dimensions trouvées sur l'arbre mesuré précédent dans l'ordre des numéros (même exemple avec $k=5$ et $m=1$: aux arbres portant les numéros 2 à 5 sont affectées les dimensions de l'arbre n° 1 ; à ceux de numéros 7 à 10 les dimensions du n° 6, etc..., et à l'arbre n° 47 les dimensions du n° 46). Ainsi, on mesure, en moyenne, moins d'une dizaine d'arbres de la même essence.

Ces peuplements denses ne sont pas très rares. Sur l'ensemble des placettes levées sur le territoire français au cours d'un cycle d'inventaire, soit environ 130000 placettes sol, 12,4% de ces placettes contiennent plus de 15 petits bois, et seulement 0,3% plus de 15 bois moyens ou plus de 15 gros bois (source base de données I.F.N.).

Une telle simplification des levers a paru être justifiée pour les peuplements réguliers denses formés de petits bois, en général jeune taillis ou régénération passant recensable, car les arbres y ont des dimensions voisines et faibles le plus souvent, les différences pouvant être inférieures à la précision des instruments de mesure utilisés par l'I.F.N. (1 cm pour le diamètre, 1 dm pour la hauteur, 1 mm pour l'accroissement radial).

La même procédure simplificatrice n'a pas été retenue en qualité de règle générale pour les autres catégories de dimensions car il est assez rare de trouver un nombre de bois moyens ou de gros bois très supérieur à 15. De plus, les différences de dimensions entre ces bois peuvent être très supérieures à la précision des instruments de mesure.

Il peut être montré que cette procédure introduit une variance "placette" : en effet, on ne mesure pas tous les arbres de la placette, et le coefficient de correction des populations finies n'y est pas nul. Cette variance serait plus grande pour les bois moyens, et a fortiori pour les gros bois, que pour les petits bois. Cette procédure simplificatrice s'apparente à un sondage systématique, et elle serait plus précise que celle consistant à réduire le rayon du cercle, qui introduirait un effet de grappe.

Choix du nombre de placettes par point d'inventaire

Dans les dix premières années des travaux de l'I.F.N., on a levé une grappe de 3 placettes par point d'inventaire, puis seulement deux en montagne. A la fin des années 1960, il a été décidé de ne lever qu'une placette par point d'inventaire.

Cette évolution découle de l'étude des coûts unitaires des travaux (coût d'accès au point d'inventaire, coût de l'assiette d'une placette, coût des mesures sur les arbres, coût annexes) et des variances d'estimation.

Dans le contexte des forêts françaises (nature des peuplements inventoriés, facilité d'accès au point d'inventaire) qui peut être très différent de celui des autres pays, il a été montré (Chevrou, 1970) que, pour l'estimation des volumes et relativement à l'efficacité, le nombre optimum de placettes par point d'inventaire était de l'ordre de 1,5 ou inférieur à 1,5. Si l'on considère, d'autre part, que la précision de nombreuses estimations dépend du nombre de points d'inventaire visités sur le terrain (pour les surfaces des classes d'âges, des structures forestières, et tous critères non pris en compte en photo-interprétation), il a semblé préférable de visiter un plus grand nombre de points d'inventaire, et de n'y lever qu'une placette par point, plutôt qu'un plus petit nombre de points avec une grappe de 2 ou 3 placettes par point.

Il est important d'évaluer correctement les coûts d'inventaire et les variances d'estimation, pour déterminer correctement le nombre de placettes par grappe. Il faudrait, par la suite et au cours des travaux, étudier l'évolution de ces coûts et de ces variances, en fonction des améliorations des méthodes et des procédures, aussi bien que de l'expérience acquise par les personnels ou des outils utilisés, en vue d'ajuster ou de moduler le nombre de placettes par grappe, pour conserver l'efficacité maximum.

Valeur moyenne par arbre sur une placette sol CC

La moyenne arbre sur la placette, considérée comme une estimation de la moyenne sur le peuplement entourant la placette, est utilisée dans divers cas, notamment pour la construction de courbes hauteur / âge (Chevrou, 1986), le calcul d'un indice lié à la hauteur dominante, le diamètre moyen du peuplement, l'accroissement moyen de la hauteur ou celui du diamètre.

Lappi et Bailey, 1987, ont montré que la placette sol JA assise par jauge d'angle peut entraîner un biais dans l'estimation de la moyenne arbre d'une variable corrélée au diamètre.

Pour expliciter ce point, supposons que l'on veuille estimer la hauteur moyenne des arbres d'une parcelle forestière. Pour ce faire, on installe, au hasard, une placette sol JA dans cette parcelle. On ignore ici le biais dû aux limites de la parcelle.

On prend comme estimation la hauteur moyenne des arbres mesurés sur la placette. Cette estimation est biaisée si la hauteur d'un arbre est corrélée à la valeur de son diamètre, ce qui paraît probable dans un peuplement irrégulier, voire aussi dans un peuplement régulier.

Le biais peut être très grand quand il s'agit d'une moyenne simple. Il l'est beaucoup moins lorsque la variable mesurée (la

hauteur ci-dessus) est pondérée par l'inverse du carré du diamètre (moyenne pondérée).

Le biais provient de ce que le rayon $R(D)$ du cercle sur lequel sont levés les arbres de diamètre D est une fonction de D : $R(D) = D / \alpha$, où α est l'angle de jauge.

N.B.: Pour estimer, sans biais, un total par hectare, on divise la valeur trouvée sur le cercle par la surface du cercle - voir plus loin les formules (2) à (4) -, donc par un coefficient proportionnel au carré du rayon du cercle et, ici, proportionnel au carré du diamètre de l'arbre.

Il en est de même pour la placette sol CC, pour laquelle les rayons des cercles sont liés aux diamètres des arbres qui y sont levés (Chevrou, 1988).

Il est inutile de rappeler l'exposé théorique présenté par Lappi et Bailey, si ce n'est pour préciser que la fonction continue $R(D)$ relative à la placette assise par jauge d'angle, doit être remplacée par une fonction en escalier pour la placette I.F.N., avec : $R(D) = 6$ pour $D \in [7,5 \text{ cm}, 22,5 \text{ cm}]$, $R(D) = 9$ pour $D \in [22,5 \text{ cm}, 37,5 \text{ cm}]$, et $R(D) = 15$ pour $D \geq 37,5 \text{ cm}$.

Divers exemples ont été construits pour obtenir un ordre de grandeur du biais. Dans l'exemple suivant, le peuplement est formé, sur 1 hectare, de 25 gros bois répartis sur un maillage carré de pas 20 m, de 75 bois moyens répartis sur un maillage carré de pas 10m contenant les gros bois, et de 300 petits bois répartis sur un maillage carré de pas 5 m contenant les gros bois et les bois moyens. On notera qu'il s'agit d'une distribution très régulière, et on pourrait s'attendre à observer des biais faibles ou très faibles.

Soit X la variable mesurée sur les arbres ; elle est indiquée gb pour les gros bois, bm pour les bois moyens et pb pour les petits bois. Comme on ne s'intéresse pas aux variances à l'intérieur d'une même catégorie de dimension, on affecte la même valeur X_{gb} à chacun des gros bois, la même valeur X_{bm} à chacun des bois moyens, et la même valeur X_{pb} à chacun des petits bois.

On trouve ici, sur la placette I.F.N., en moyenne 1,77 gros bois, 1,91 bois moyens et 3,39 petits bois, pour un total de 7,07 arbres.

La valeur moyenne de X pour le peuplement est \bar{X} :

$$\bar{X} = (25 X_{gb} + 75 X_{bm} + 300 X_{pb}) / 400$$

soit encore :

$$\bar{X} = 0,0625 X_{gb} + 0,1875 X_{bm} + 0,7500 X_{pb} \quad (1)$$

Pour l'inventoriste, cette valeur moyenne est inconnue puisque, si les valeurs X sont mesurées et connues pour chacun des arbres de la placette, les effectifs par hectare (25, 75 et 300) ne lui sont pas connus, et c'est le but du sondage de les estimer. L'étude d'un peuplement fictif permet seulement de connaître a priori ces effectifs et la moyenne population \bar{X} , pour en déduire la valeur du biais d'estimation dans un cas "théorique".

Soit une placette I.F.N. sur laquelle on a trouvé n_{gb} gros bois, n_{bm} bois moyens, et n_{pb} petits bois. On estime alors les effectifs par hectare, N_{gb} , N_{bm} , et N_{pb} , en multipliant les effectifs ni trouvés sur le cercle de rayon R_i par le rapport 1 ha / surface cercle correspondant : $N_i = n_i \cdot 10000 / \pi R_i^2$, avec R_i exprimé en mètres.

Nombre estimé de gros bois / ha :

$$N_{gb} = n_{gb} \cdot 10000 / 225\pi \quad (2)$$

Nombre estimé de bois moyens / ha :

$$N_{bm} = n_{bm} \cdot 10000 / 81\pi \quad (3)$$

Nombre estimé de petits bois / ha :

$$N_{pb} = n_{pb} \cdot 10000 / 36\pi \quad (4)$$

Ces estimateurs des effectifs par hectare, et leur somme qui

donne l'estimation du nombre d'arbres par hectare, sont sans biais. De même, est sans biais l'estimation ($N_{gb} X_{gb} + N_{bm} X_{bm} + N_{pb} X_{pb}$) qui donne la valeur totale par hectare de la variable X .

Pour estimer la valeur moyenne de X sur l'hectare de référence, on peut penser construire les deux estimateurs suivants :

Moyenne simple :

$$\bar{x}_s = \frac{n_{gb} X_{gb} + n_{bm} X_{bm} + n_{pb} X_{pb}}{n_{gb} + n_{bm} + n_{pb}} \quad (5)$$

Moyenne pondérée :

$$\bar{x}_p = \frac{N_{gb} X_{gb} + N_{bm} X_{bm} + N_{pb} X_{pb}}{N_{gb} + N_{bm} + N_{pb}} \quad (6)$$

Ces deux estimateurs sont biaisés, et l'on trouve, pour le peuplement fictif étudié, les résultats suivants, "en moyenne" sur une infinité de placettes qui seraient placées au hasard dans ce peuplement :

$$\bar{x}_s = 0,250 X_{gb} + 0,264 X_{bm} + 0,486 X_{pb} \quad (7)$$

$$\bar{x}_p = 0,0636 X_{gb} + 0,1860 X_{bm} + 0,7504 X_{pb} \quad (8)$$

Ces résultats ont été calculés à partir d'une simulation consistant à placer 40 000 points d'inventaire régulièrement répartis dans le peuplement fictif décrit plus haut, et en calculant, pour chacun de ces points, les moyennes ci-dessus. Le tableau III donne le nombre de points d'inventaire, parmi ces 40 000 points, sur lesquels on a trouvé n_{gb} gros bois, n_{bm} bois moyens, et n_{pb} petits bois, et il permet de calculer les coefficients des formules (7) et (8). (Cf. Tab. III).

Ainsi, le premier coefficient de la formule (7), qui est 0,250, est calculé comme suit, l'indice j désignant les valeurs données par la j ème ligne du tableau III :

$$\text{Coefficient de } X_{gb} = \sum_j \frac{\text{nombre de placettes } j \cdot n_{gbj}}{40000 (n_{gbj} + n_{bmj} + n_{pbj})} \quad (9)$$

On calcule les coefficients de la formule (8) en remplaçant dans (9) les nombres n par les nombres N calculés par les formules (2) à (4).

Le biais est $\bar{x}_s - \bar{X}$ pour la moyenne simple ; il est $\bar{x}_p - \bar{X}$ pour la moyenne pondérée, \bar{X} étant donné par la formule (1) ci-dessus. NB : A partir des données du tableau III, on retrouve les coefficients de la formule (1) à la 5^{ème} décimale près.

Ces biais sont d'autant plus grands que sont plus grandes les différences entre les valeurs de X_{gb} , X_{bm} et X_{pb} . Ils sont donc grands pour le volume moyen des arbres, dont les volumes varient comme le carré ou le cube du diamètre, et pour le diamètre moyen, et plus petits pour des grandeurs moins variables telles que la hauteur et certains accroissements.

Ces biais sont nuls lorsque $X_{gb} = X_{bm} = X_{pb}$, c'est à dire quand la variable X n'est pas corrélée avec la catégorie de dimension.

Pour certaines estimations, il peut être utile de considérer les seuls arbres dominants qui peuvent avoir des dimensions voisines, ce qui réduit le biais d'estimation de la moyenne, ou qui appartiennent tous au même cercle, sauf cas particuliers.

Dans le cas considéré ici d'une distribution régulière des tiges, le biais de la moyenne simple peut être énorme (300 %), alors que celui de la moyenne pondérée reste faible (2 %). Ce dernier biais augmente quand le nombre d'arbres sur la placette diminue. On peut le constater en utilisant les données du tableau III pour calculer les moyennes \bar{X} et \bar{x}_p en excluant tous les arbres de l'une des trois catégories de dimension.

n_{gb}	n_{bm}	n_{pb}	Nombre placettes
1	0	3	16
1	0	4	368
1	0	5	28
1	1	2	168
1	1	3	3368
1	1	4	1416
1	1	5	304
1	2	3	2932
1	2	4	152
1	3	3	308
1	3	4	1248
1	3	5	1304
2	1	2	104
2	1	3	3368
2	1	4	1992
2	1	5	360
2	2	2	272
2	2	3	12232
2	2	4	2648
2	2	5	608
2	3	3	2568
2	3	4	1984
2	3	5	248
3	1	3	16
3	1	4	80
3	1	5	28
3	2	3	328
3	2	4	256
3	3	3	1000
4	1	4	288
4	2	3	8

Tab. III : Etude d'un peuplement fictif : effectifs et nombre de placettes,

n_{gb} : effectif Gros bois ;

n_{bm} : effectif Bois moyens ;

n_{pb} : effectif Petits bois

Ainsi, l'exclusion des petits bois donne les résultats suivants :

$$\bar{X} = 0,250 X_{gb} + 0,750 X_{bm}$$

$$\bar{x}_p = 0,271 X_{gb} + 0,729 X_{bm} \text{ avec un biais relatif } \leq 8 \text{ %}.$$

Les biais et les variances sont d'autant plus grands que la distribution des arbres est plus irrégulière. Des études systématiques de peuplements modélisés sur ordinateur nous permettent d'avancer que la taille optimale de la placette I.F.N. correspond à un nombre moyen d'arbres de 10 environ. En dessous de 10 arbres par placette, en moyenne, biais et variances d'estimation sont trop importants ; au-dessus de 10 arbres par placette, biais et variances ne sont pas sensiblement réduits alors que les inconvénients et les coûts augmentent rapidement avec les rayons des cercles (voir les figures 6a à 6c).

Fig. 6 : Peuplement irrégulier à distribution spatiale irrégulière.

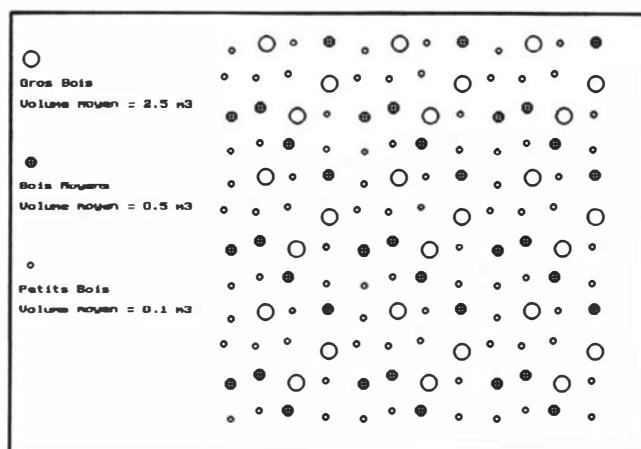


Fig. 6 a : Image du peuplement et volumes moyens par catégories de dimension ; 400 arbres par hectare : 75 gros bois, 100 bois moyens, 225 petits bois.

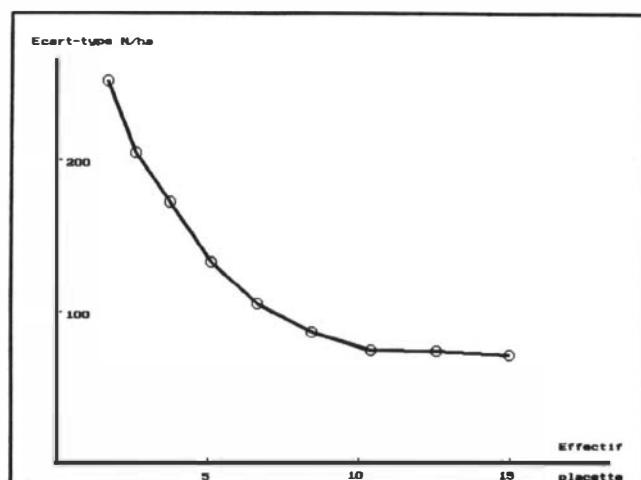


Fig. 6 b : Ecart-type de l'estimation du nombre d'arbres par hectare en fonction de la taille de la placette et du nombre moyen d'arbres sur la placette IFN.

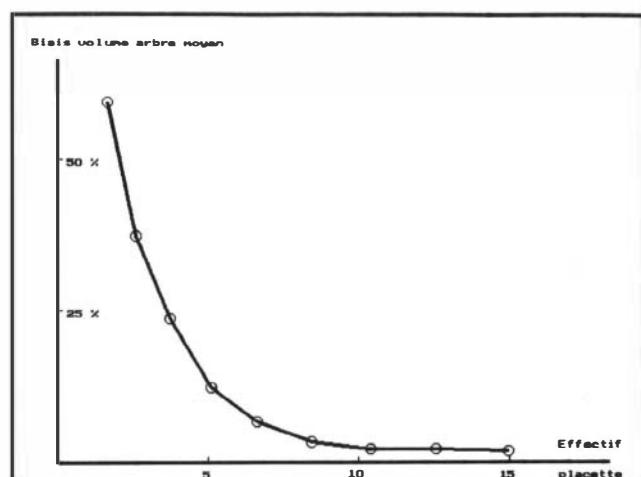


Fig. 6 c : Biais de l'estimation du volume moyen des arbres en fonction de la taille de la placette et du nombre moyen d'arbres sur la placette IFN.

Estimation de l'accroissement en volume sur une placette sol CC permanente

Certaines placettes sont remesurées lors des inventaires successifs effectués à plusieurs années d'intervalle. Les arbres de ces placettes devraient être localisés individuellement par leurs distances au centre et leurs azimuts, de façon à les retrouver facilement.

Diverses études ont été réalisées en vue d'utiliser les données ainsi recueillies, notamment pour l'application de la méthode de l'échantillonnage partiellement renouvelé (EPR) : voir Houllier, 1985, pour le cas de deux inventaires successifs. Voir aussi Cunia et Chevrou, 1969, pour le cas de trois, et plus de trois, inventaires successifs.

Le problème du choix d'un estimateur pour l'accroissement en volume sur les placettes sol JA permanentes a été étudié par de nombreux inventaristes : voir, par exemple, Yang et Chao, 1987, pour le cas de l'échantillonnage par jauge d'angle sur une ligne d'inventaire.

Le problème est de même nature pour la placette sol JA et pour la placette sol CC, bien qu'il soit plus simple à exposer pour cette dernière qui comprend un petit nombre de cercles et de catégories de dimensions.

Les arbres levés sur la placette sol CC lors du premier inventaire s'y retrouveront, vivants, morts ou coupés (on retrouvera les souches ou leurs emplacements), lors du second inventaire.

On trouvera, en outre, des arbres "nouveaux" lors du second inventaire : arbres non recensables lors du premier inventaire, recensables lors du second; petits bois hors du petit cercle lors du premier inventaire, devenus bois moyens sur le cercle moyen, ou gros bois sur le grand cercle, lors du second inventaire ; bois moyens hors du cercle moyen lors du premier inventaire, devenus gros bois sur le grand cercle lors du second.

Avant de voir comment on peut estimer la "production" de la période séparant les deux inventaires successifs, il faut en rappeler la définition. La production, P , sur un hectare de peuplement quelconque, observée pendant la période séparant deux inventaires est égale au volume final VF diminué du volume initial VI et augmenté du volume de la coupe et de la mortalité VC : $P = VF - VI + VC$; le volume initial, VI , est formé de celui des arbres recensables qui ne disparaissent pas, VR_1 , de celui des arbres non recensables qui le deviendront, VNR_1 égal à 0, et de celui des arbres, recensables ou non, qui disparaîtront, VC_1 : $VI = VR_1 + VNR_1 + VC_1$; le volume final, VF , est formé de celui des arbres initialement recensables qui n'ont pas disparu, VR_2 , et de celui des arbres initialement non recensables qui n'ont pas disparu, VNR_2 : $VF = VR_2 + VNR_2$; le volume de la coupe et de la mortalité est $VC_2 = VC$.

$$P = VF - VI + VC = (VR_2 - VR_1) + (VNR_2 - VNR_1) + (VC_2 - VC_1) \quad (10)$$

Le premier terme à droite de la formule (10), $(VR_2 - VR_1)$, est égal à l'accroissement, pendant la période, des arbres initialement recensables et qui n'ont pas disparu ; le deuxième terme $(VNR_2 - VNR_1 = VNR_2)$ est égal au passage à la futaie, qui est le volume des arbres qui sont devenus recensables pendant la période ; le troisième terme $(VC_2 - VC_1)$ est égal à l'accroissement des arbres, recensables ou non en début de période, jusqu'à la date de leur coupe ou de leur mort pendant la même période, éventuellement après qu'ils soient passés recensables.

Ce troisième terme présente une certaine ambiguïté ; des arbres, initialement non recensables, ont pu passer recensables avant d'être coupés ou de mourir ; ce terme représente donc à la fois un accroissement pendant la période et un passage à la futaie. L'I.F.N. simplifie la prise en compte de l'accroissement des arbres disparus en supposant qu'ils étaient recensables au début de la période concernée et en considérant que la disparition a eu lieu à mi-période.

Le passage à la futaie présente, lui aussi, une certaine ambiguïté ; on peut, en effet, considérer que le passage à la futaie est le volume des arbres à l'instant où ils atteignent le diamètre de recensabilité ; ensuite, l'augmentation de leur volume constitue alors un accroissement. C'est la règle retenue par l'I.F.N. qui considère que, en moyenne, les arbres initialement non recensables ont atteint le diamètre de recensabilité au milieu de la période concernée. Quoique logique dans son principe, cette règle arbitraire a des inconvénients, mais il semble que, en cette matière, toute règle en ait !

On peut juger la recensabilité d'un arbre coupé d'après la valeur de la circonference de la section S_{10} à 10 cm au-dessus du sol (mesurée ou estimée lorsque la mesure est impossible). Le diamètre à 1,30 m, le volume, et l'accroissement, d'un arbre disparu sont estimés par régression ; ces régressions sont construites d'après les données recueillies sur les arbres vifs, et elles donnent le diamètre à 1,30 m, le volume, ou l'accroissement, en fonction de la circonference de la section S_{10} .

Quand on considère les données recueillies sur une placette sol CC remesurée lors de deux inventaires successifs, divers problèmes se présentent.

Soit l'arbre numéro i , dont le volume est v_{1i} à la date du premier inventaire où il est levé sur le cercle de rayon R_{1i} mètres correspondant à son diamètre d_{1i} ; à la date du second inventaire, cet arbre a un diamètre d_{2i} et un volume $v_{2i} \geq v_{1i}$ et il est levé sur le cercle de rayon R_{2i} mètres correspondant à ce nouveau diamètre.

Cet arbre représente un volume par hectare égal à V_{1i} à la date du premier inventaire, égal à V_{2i} à la date du second :

$$V_{1i} = v_{1i} \cdot 10\,000 / \pi R_{1i}^2 \quad (11)$$

$$V_{2i} = v_{2i} \cdot 10\,000 / \pi R_{2i}^2 \quad (12)$$

Si, pendant la période séparant les deux inventaires, cet arbre a changé de catégorie de dimension, les rayons R_{1i} et R_{2i} sont alors différents, et il peut arriver que V_{2i} soit inférieur à V_{1i} avec $\Delta V_i = V_{2i} - V_{1i}$ négatif. Ainsi, si cet arbre était seul sur la placette, l'estimation de l'accroissement par hectare déduite de la différence des volumes par hectare pourrait être négative, et assez peu vraisemblable. Cette anomalie semble devoir être plus fréquente sur la placette sol JA que sur la placette sol CC, alors qu'elle ne se rencontre pas sur la placette sol CU.

On peut construire plusieurs estimateurs de l'accroissement du volume par hectare sur la base des volumes v_1 et v_2 mesurés ou estimés, v_1 étant le volume initial de l'arbre, et v_2 son volume final.

Le premier estimateur est global ; c'est celui de l'évolution du volume par hectare, et il concerne l'ensemble des arbres levés au premier inventaire, y compris ceux qui disparaîtront, et l'ensemble de ceux levés au deuxième, y compris les arbres nouveaux dont ceux initialement non recensables :

$$\Delta V = \sum_j (v_{2j} \cdot 10\,000 / \pi R_{2j}^2) - \sum_i (v_{1i} \cdot 10\,000 / \pi R_{1i}^2) \quad (13)$$

Cet estimateur n'estime pas la production car il omet le volume prélevé (coupe et mortalité). En écartant les arbres non recensables à l'origine et ceux qui disparaissent pendant la période, cet estimateur donne l'évolution du volume par hectare des arbres vifs recensables à l'origine et en fin de période. Cependant les deux sommes à droite du signe "=" dans (13) ne portent pas sur les mêmes arbres car il peut y avoir des arbres "nouveaux". Noter encore que ΔV peut être négatif comme il vient d'être montré.

Le deuxième estimateur est celui de l'*accroissement futur* d'un arbre inventorié sur la placette lors du premier inventaire. Le volume initial est mesuré ; le volume final est mesuré si l'arbre est vif en fin de période ; sinon le volume à la date de la disparition doit être estimé. Cet arbre n° i représente un accroissement par hectare ΔV_{1i} :

$$\Delta V_{1i} = (v_{2i} - v_{1i}) 10\,000 / \pi R_{1i}^2 \geq 0 \quad (14)$$

Le troisième estimateur est celui de l'*accroissement passé* d'un arbre inventorié sur la placette lors du deuxième inventaire. Le volume final est mesuré ; le volume initial est connu si l'arbre a été levé lors du premier inventaire ou s'il n'était pas recensable ; sinon il faut estimer le volume initial à partir de l'accroissement radial et de celui de la hauteur. Cet arbre n° j représente un accroissement par hectare ΔV_{2j} :

$$\Delta V_{2j} = (v_{2j} - v_{1j}) 10\,000 / \pi R_{2j}^2 \geq 0 \quad (15)$$

Ces deux derniers estimateurs (14) et (15) donnent toujours des valeurs positives (ou nulles à l'extrême), et ils peuvent être utilisés, formellement, pour estimer séparément, et par sommation pour tous les arbres concernés, chacun des éléments de la production par hectare : l'accroissement des arbres non disparus, le passage à la futaie, le volume de la coupe et l'accroissement des arbres disparus. On choisit l'un ou l'autre selon les difficultés pratiques rencontrées.

Quand on utilise le principe d'estimation de l'accroissement futur qui a conduit à la formule (14), et en se basant sur les catégories de dimension auxquelles appartenaient initialement ces arbres, il semble que les observations soient sans ambiguïté.

Par exemple, les effectifs du prélèvement (coupe et mortalité) sont connus sans ambiguïté par les souches des arbres levés lors du premier inventaire : pour les arbres initialement recensables, il suffit de constater leur disparition à la date du deuxième inventaire ; pour les arbres initialement non recensables, on peut constater qu'ils n'avaient pas été levés, ni localisés ; les diamètres, volumes et accroissements de ces arbres disparus peuvent être estimés d'après les circonférences des sections S_{10} . Si la souche a disparu, on peut estimer le volume à la date de la coupe en ajoutant au volume initial l'accroissement initial cumulé sur les années concernées, ou sur la moitié de la période s'il y a doute.

Au contraire, si l'on utilise le principe de l'estimation de l'accroissement passé qui a conduit à la formule (15), d'après les catégories de dimension observées lors du deuxième inventaire, certaines observations peuvent être ambiguës. Par exemple, pour l'estimation du passage à la futaie, ou recrutement, les petits bois passés recensables pendant la période sont ceux trouvés sur le petit cercle et qui n'ont pas été localisés lors du premier inventaire, car non recensables à cette date ; il s'agit d'arbres "nouveaux" ; en ce

qui concerne les "nouveaux" bois moyens et les "nouveaux" gros bois, il faut vérifier qu'ils n'étaient pas recensables à l'origine lors du premier inventaire, en mesurant leur diamètre D et leur accroissement diamétral ΔD , et en vérifiant que la différence $D - \Delta D$ est inférieure à 7,5 cm, le diamètre de recensabilité ; ceci introduit une variance d'estimation supplémentaire car la mesure de ΔD est basée sur celle de l'accroissement radial ou sur celles de deux accroissements radiaux opposés.

On peut noter que, pour passer en 10 ans de l'état non recensable (diamètre inférieur à 7,5 cm) à l'état bois moyen (diamètre au moins égal à 22,5 cm), l'accroissement radial annuel moyen doit être au moins égal à 7,5 mm ce qui n'est pas exceptionnel. Pour passer à l'état gros bois (diamètre au moins égal à 37,5 cm) l'accroissement radial annuel moyen doit être d'au moins 15 mm, et cela ne peut concerner que des essences à croissance rapide.

Il se pose ici un autre problème : le nombre de saisons de végétation séparant les deux mesures successives est de n années, mais il peut n'être pas un nombre entier d'années si l'une des mesures, ou les deux, est effectuée en période de végétation. Si l'on opère toute l'année, l'intervalle entre deux mesures peut être indéterminé, non en ce qui concerne les dates, mais en ce qui concerne l'effet de ces dates sur l'importance de l'accroissement annuel : ainsi, telle année l'accroissement sera presque complet dès juin, telle autre année il aura à peine commencé en juin.

En conséquence, la mesure de l'épaisseur d'un nombre entier de cernes ne correspond pas toujours à l'accroissement radial entre les dates des deux inventaires. Bien entendu, le nombre d'années de croissance séparant les deux dates d'inventaire est lui-même "mal déterminé" pour les mêmes raisons.

Pour l'accroissement des arbres vifs sur pied et recensables lors des deux inventaires successifs, on peut utiliser l'une des trois formules (13) à (15). Il a été montré (Chevrou, 1982) que la formule (14) semble être la plus précise car les volumes initiaux et finals ont été mesurés pour tous les arbres concernés. La formule (15) pose un problème : des arbres situés sur les deux couronnes formées par les trois cercles de la placette peuvent être des arbres "nouveaux" qui ont changé de catégorie de dimension ; ils n'ont pas été levés lors du premier inventaire et il faut reconstituer leurs volumes initiaux en estimant diamètre initial (tarif à une entrée) et hauteur totale initiale (tarif à deux entrées) ce qui introduit une variance supplémentaire. La formule (13) est la moins précise, de par sa structure, et parce qu'il peut y avoir des arbres "nouveaux". Voir un exemple de variances d'estimation dans le tableau IV.

Le tableau IV en donne un exemple pour 10 placettes I.F.N. situées dans la forêt domaniale de Mende en Lozère, dans des peuplements de futaie de pin noir (*Pinus nigra*). (Cf. Tab. IV)

N° placette	ΔV_1 1970	ΔV_2 1980	ΔV 1980-1970	Nombres arbres nouveaux	
				Bois moyens	Gros bois
1	148,75	143,30	133,62	0	2
2	172,22	186,45	204,66	3	0
3	53,73	58,41	68,82	1	0
4	67,38	64,38	55,90	0	1
5	110,09	119,74	140,05	2	1
6	63,00	59,81	48,90	0	0
7	48,49	48,49	48,49	0	0
8	73,82	102,85	155,10	2	1
9	48,42	53,64	73,92	2	0
10	64,52	66,48	62,65	1	0
Moyenne	85,04	90,36	99,21	1,1	0,5
Varianc	1921	2151	2997		

Tab. IV : Pin noir (*Pinus nigra*) en forêt domaniale de Mende.

Estimation de l'accroissement en volume par hectare ΔV_m^3 entre 2 inventaires

$\Delta V_1 m^3$: calculé d'après les arbres levés au premier inventaire.

$\Delta V_2 m^3$: calculé d'après les arbres levés au deuxième inventaire.

ΔV_m^3 : différence entre les volumes / ha des deux inventaires.

Sur ces placettes il n'y a eu ni coupe, ni mortalité, ni passage à la futaie, pendant l'intervalle de temps séparant les deux inventaires, ce qui met mieux en relief les différences de précision des formules (13) à (15). Sur la placette 7, aucun arbre n'a changé de catégorie de dimension et il n'y a pas d'arbres "nouveaux" : les trois formules donnent le même résultat. Sur la placette 6, il n'y a pas d'arbres "nouveaux", mais certains arbres ont changé de catégorie de dimension : les trois formules donnent des résultats sensiblement différents. Sur les autres placettes il y a des arbres "nouveaux" et des changements de catégorie de dimension, avec des résultats parfois très différents comme sur la placette 8.

Les trois estimations de l'accroissement moyen en volume de cet exemple ne sont pas significativement différentes compte tenu des variances d'estimation. Ainsi, l'écart type de $\Delta V - \Delta V_1 = 14,17$ est égal à 9,42. Le nombre réduit de données de cet exemple ne permet pas de conclure sur la précision relative de ces diverses estimations, mais l'approche théorique esquissée plus haut montre que l'estimateur (14) semble être le plus précis. La production par hectare pendant la période séparant les deux inventaires peut donc être estimée de diverses manières. Cependant, la production annuelle ne s'en déduit pas automatiquement car, comme signalé plus haut, le nombre de saisons de végétation peut être indéterminé, ou, au moins, mal estimé, si certaines mesures ont été effectuées en période de végétation. Le choix entre les différentes méthodes permettant d'estimer la production dépend donc des objectifs visés et de ce que l'on prétend vouloir estimer, indépendamment de la mise en oeuvre éventuelle de la méthode EPR.

Conclusion

La placette sol CC de l'I.F.N. est formée de trois cercles concentriques de rayons 6 m, 9 m et 15 m. Ce choix a plusieurs avantages : simplicité de l'assiette de la placette, notamment en bordure de strate ou de forêt ; bonne répartition du nombre d'arbres par catégorie de dimension ; suppression des erreurs qui

découlent de l'utilisation d'une placette de taille variable ; recherche des très gros arbres sur une distance (15 m) et une surface (7 ares environ) réduites ; formation des personnels chargés des travaux rendue plus facile.

Les inconvénients de ce type de placette semblent mineurs eu égard à ce qu'il induit des biais très faibles, et très inférieurs à la précision des estimations.

Ce type de placette nous semble donc bien adapté aux objectifs principaux d'un inventaire forestier national ou régional, et aux personnels chargés des travaux.

Bien entendu, dans un contexte autre que celui de l'I.F.N. en France, avec des formations forestières différentes, un réseau de desserte plus ou moins dense, d'autres objectifs secondaires, des personnels mieux ou moins bien formés, on adoptera une placette sol CC formée d'un nombre de cercles différent, dont les rayons seront différents de ceux de la placette I.F.N., avec, éventuellement, une grappe de plusieurs placettes sol CC par point d'inventaire.

Il est conseillé d'observer l'évolution dans le temps des coûts d'inventaire et des variances d'estimations, qui varient avec l'expérience et la formation des personnels, l'amélioration des méthodes et des procédures, l'apparition de nouveaux outils plus efficaces, etc... Cette évolution peut conduire à la modification de la placette sol CC ou à l'adoption de l'un ou l'autre des autres types de placettes, voire d'un nouveau type combiné, qui semblerait devoir être plus efficace dans divers domaines, soit pour le recueil des données, soit pour les estimations, soit encore pour l'utilisation des résultats. Cette évolution peut aussi conduire à modifier le nombre de placettes par grappe.

De nombreux spécialistes suggèrent que les choix des méthodes et des procédures, dont celui du type de placette sol, ainsi que l'utilisation des résultats d'un inventaire, soient pilotés et contrôlés par des spécialistes des divers domaines techniques et scientifiques concernés, qu'ils soient affectés au service de l'inventaire ou qu'ils appartiennent à des instituts de recherche (Brenac 1980).

R.-B.C.

Références

Brenac L., 1980, Les inventaires forestiers régionaux et nationaux d'après la réunion internationale IUFRO de juin 1978 à Bucarest, R.F.F. XXXII, pp 12-33.

Chevrou R.B., 1970, Etude volumes placettes, note interne au service de l'inventaire forestier national du 4/9/70.

Chevrou R.B., 1972, Propositions sur les objectifs, les méthodes et l'exécution des différents programmes d'inventaire forestier, rapport de mission Grèce, Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture, Rome, 202 p.

Chevrou R.B., 1973, Inventaire forestier : Déplacement de placette en lisière de forêt ou en bordure de peuplement, cas des placettes multiples, Journal forestier suisse, vol 124, n° 2, pp 83-93.

Chevrou R.B., 1982, Estimation de l'accroissement en volume sur les placettes permanentes I.F.N., note interne au service de l'inventaire forestier national du 15/7/82.

Chevrou R.B., 1986, Modélisation de l'évolution des peuplements à partir des données de l'I.F.N.. 18ème Congrès mondial IUFRO, Ljubljana, Yougoslavie.

Chevrou R.B., 1988, Biais pour les estimateurs des placettes I.F.N. et pour divers autres estimateurs, note interne au service de l'inventaire forestier national du 11/8/88.

Cunia T. et Chevrou R.B., 1969, Sampling With Partial Replacement On Three or More Occasions, Forest Science, Vol 15, n° 2, pp 204-224.

Duplat P. et Perrotte G., 1981, Inventaire et estimation de l'accroissement des peuplements forestiers, O.N.F., 432 p.

Houllier F., 1985, Inventaires successifs en forêt : intérêt théorique et limites pratiques de l'échantillonnage partiellement renouvelé, Ann. Sci. For., 42(3), pp 245-264.

Lappi J and Bailey R.L., 1987, Estimation of the Diameter Increment Function or Other Tree Relation Using Angle-Count Samples, Forest Science, Vol 33, n° 3, pp 725-739.

Pardé J. et Bouchon J., 1988, Dendrométrie, 2ème ed., ENGREF, Nancy, 328 p.

Yang Yong-Chi et Chao Shi-Ling, 1987, Comparison of Volume Growth Calculation Methods for Remeasured Horizontal Line sampling, Forest Science, Vol 33, n° 4, pp 1062- 1067.

Remerciements :

L'auteur remercie MM Balleydier, Deheeger, Duplat et Houllier, pour leurs nombreuses remarques pertinentes qui lui ont permis d'améliorer la présentation du sujet.

Résumé

La placette sol utilisée par le service de l'inventaire forestier national français, est formée de trois cercles concentriques de rayons 6 m, 9 m et 15 m. Ce choix a plusieurs avantages : simplicité de l'assiette de la placette, notamment en bordure de strate ou de forêt ; bonne répartition du nombre d'arbres par catégorie de dimension ; suppression des erreurs qui découlent de l'utilisation d'une placette de taille variable ; recherche des très gros arbres sur une distance (15 m) et une surface (7 ares environ) réduites ; formation des personnels chargés des travaux rendue plus facile. Les inconvénients de cette placette semblent mineurs eu égard à ce qu'elle induit des biais très faibles, et très inférieurs à la précision des estimations. Ce type de placette semble donc parfaitement adapté aux objectifs d'un inventaire forestier national, à ses méthodes, et aux personnels chargés des travaux. L'auteur présente les motifs du choix de cette placette, en la comparant à la placette formée d'un seul cercle, et à celle assise par jauge d'angle, et le problème de l'estimation de l'accroissement sur les placettes remesurées.

Summary

The ground plot used by the French national forest inventory service (IFN) is formed with three concentric circles. The small trees (dbh between 7.5 cm and 22.5 cm) are tallied on the small circle (radius $R = 6$ m) ; the middle size trees (dbh from 22.5 cm to 37.5 cm) on the medium circle ($R = 9$ m) ; and the big trees (dbh above 37.5 cm) on the large circle ($R = 15$ m). Such a plot has the following advantages : it is very easy to install in the field, especially near stratum boundaries : the numbers of trees in the diameter classes may be conveniently balanced ; the constancy of the plot size avoids the many errors observed with changing plot size ; the big trees are searched on a relatively small circle ($R = 15$ m) in

comparison with point sampling plot ; teaching the crews is easier. The drawbacks are the very small bias related to border trees on plot boundary, and to border plots near strata boundaries, as well as those related to tree average values estimated at plot level. This plot seems to be appropriate for the goals of a national forest inventory, for teaching the crews, and with simple tools. The author presents the reasons why such a plot has been chosen. He makes comparisons with the single circle plot, and with the point sampling plot. He presents the problems related to average plot values, and those related to the growth estimates on permanent plots where three different estimates can be used.

Riassunto

Il sesto di suolo utilizzato dal servizio dell'inventario forestale nazionale francese, è formato di tre circoli concentrici di raggio 6m, 9m e 15m. Questa scelta ha parecchi vantaggi : semplicità della posizione del sesto, segnatamente in orlo di strato o di foresta ; una buona ripartizione del numero di alberi per categoria di dimensione ; soppressione di errori che derivano dell'utilizzazione di un sesto di grandezza variabile ; ricerca degli alberi grossissimi su una distanza (15m) e un' area (7 are circa) ridotte ; formazione dei personali incaricati dei lavori resa più facile.

Gli inconvenienti di questo sesto sembrano minori in considerazione che induce sbiechi molti deboli, e assai inferiori alla precisione delle stime.

Questo tipo di sesto sembra dunque perfettamente adattato agli obiettivi di un inventario forestale nazionale, ai suoi metodi, e ai personali incaricati dei lavori.

L'autore presenta i motivi della scelta di questo sesto, confrontandola al sesto formato di un circolo solo e a quella stabilità da solco di angolo, e il problema dell'estimazione e dell'accrescimento su sesti misurati di nuovo.