Indice de productivité des taillis-sous-futaie de chêne dans la région Centre

N. LE GOFF

avec la collaboration technique de L. GARROS et R. CANTA

*I.N.R.A., Station de Sylviculture et de Production
Centre de Recherches forestières de Nancy, Champenoux, F 54280 Seichamps*

Résumé

Afin de connaître et de mesurer l'aptitude pour la croissance de la production du chêne de stations portant actuellement des taillis-sous-futaie à base de chênes et souvent pauvres en réserves dans la région Centre, 17 couples « futaie/taillis-sous-futaie » de chêne ont été repérés sur le terrain ; chaque couple se compose de 2 placettes, l'une établie en taillis-sous-futaie, l'autre en futaie, caractérisées par des conditions de station semblables.

Le peuplement de futaie de chaque couple a fourni un indice de productivité de référence, défini comme le rapport de la hauteur dominante du peuplement à celle au même âge donnée par la table de production à classe de fertilité unique établie pour le chêne rouvre en secteur ligérien. Les indices de productivité ainsi évalués permettent de situer les 17 couples dans 3 classes de productivité (hauteur dominante à 160 ans du peuplement de futaie comprise entre 28 et 36 mètres).

La recherche d'un indice de productivité pour les taillis-sous-futaie a été basée sur l'étude de la croissance en circonférence des arbres de réserve, s'appuyant sur des résultats antérieurs démontrant la bonne liaison existant avec la fertilité des stations. Il a de plus été tenté de rendre compte de l'effet de conditions de concurrence variées pour les réserves, dépendant en partie des traitements sylvicoles suivis, et qui peuvent être détectées et synthétisées par la mesure du rapport de la hauteur du houppier à la hauteur totale actuelle des arbres. Enfin, il a été tenté, par l'échantillonnage réalisé (arbres pris parmi les plus vigoureux dans chaque classe d'âge des taillis-sous-futaie), et lors de la définition de l'indice de productivité, de prendre en compte la variabilité individuelle des arbres, différente d'un peuplement à l'autre, ne serait-ce qu'en regard des grandes variations du nombre d'arbres de réserve à l'hectare.

L'indice de productivité défini pour les taillis-sous-futaie de chêne a été identifié à une mesure particulière de la distribution relative de valeurs du rapport de la circonférence observée des arbres de réserve échantillonnés à la circonférence estimée (à partir de la relation établie entre la circonférence à 1,30 m, l'âge et la hauteur relative du houppier des arbres).

L'indice de productivité des taillis-sous-futaie de chêne se trouve lié par une relation linéaire simple à l'indice de productivité défini pour les futaies. Il est rendu possible ainsi de comparer la productivité relative de stations portant des peuplements traités en taillis-sous-futaie et en futaie, donc d'adopter un même classement vis-à-vis de l'aptitude des stations à la croissance du chêne. Il est possible aussi de prévoir, grâce à la table de production pour les futaies de chêne de cette région, le niveau de production en volume qu'aurait un peuplement de taillis-sous-futaie une fois converti en futaie, après détermination de sa productivité relative.

L'application des résultats de cette étude à la détermination des productivités relatives des taillis-sous-futaie, fait l'objet d'une annexe à la fin de l'article ; les lecteurs intéressés y trouveront les renvois au texte nécessaires, notamment pour les relations de base et les graphiques à utiliser dans chaque cas particulier.

1. Introduction

La mise en valeur des taillis et taillis-sous-futaie ⁽¹⁾ de la moitié Nord de la France, jugés insuffisamment productifs et pour la plupart situés en forêt privée, fait l'objet depuis 1976 d'une action concertée de la D.G.R.S.T. regroupant des laboratoires de l'I.N.R.A. (du C.N.R.F. en particulier) et des organismes représentant la forêt privée. La conversion ou la transformation de ces peuplements en futaies feuillues d'essences productrices de bois d'œuvre apparaît comme la solution optimale sur les stations les plus productives, et peut semble-t-il même être envisagée pour les petites propriétés grâce à une sylviculture appropriée, qui reste cependant à définir. Ainsi, la détermination de la productivité de ces taillis et taillis-sous-futaie vis-à-vis de ces essences feuillues apparaît-elle primordiale pour décider des choix à faire.

La conversion ou la transformation des taillis-sous-futaie de la région Centre ⁽²⁾ — les taillis sont exclus de l'étude — est envisagée bien sûr sur la base de la conservation du chêne en tant qu'essence principale, celle-ci étant l'essence constitutive de base (quelquefois à l'état pur) de la réserve de ces taillis-sous-futaie et fournissant par ailleurs le bois d'œuvre le plus recherché. L'évaluation de leur productivité pourra donc se faire de façon directe, basée sur la croissance relative des chênes réservés en taillis-sous-futaie et dépendant de la fertilité de la station ; une étude similaire sur la productivité du frêne en région Nord-Picardie (LE GOFF, 1982) a nécessité de relier un indice de productivité (évalué pour des peuplements de futaie) à des facteurs physiques de la station, le frêne n'étant pas une essence aussi représentative de ces taillis-sous-futaie. Cette dernière méthode d'évaluation de la productivité pour une essence et une station données a été qualifiée d'« indirecte » par opposition à la première qui sera utilisée ici : cette dénomination a été utilisée par CARMEAN (1975) lors d'un inventaire des différentes méthodologies d'évaluation de la productivité se rapportant à ces deux groupes de méthodes et mises largement en application aux U.S.A.

L'évaluation directe de la productivité pour une essence fait généralement appel à un indice, hauteur dominante à un âge de référence le plus souvent, indice que l'on peut relier à la production totale en volume à cet âge quand on dispose d'une table de production ou des relations équivalentes pour la construire et liant la production à la hauteur et à l'âge, donnant alors la mesure réelle de la productivité d'une station. Cette mesure n'est toutefois pas indispensable dans le seul but du classement de stations et le souci de disposer, pour les taillis-sous-futaie à base de chênes de la région Centre, d'une mesure de productivité absolue (volume total à l'hectare produit à un

(1) On pourra se référer pour le jugement porté sur la situation actuelle de ces peuplements et leur devenir, aux documents fournis par les organismes contractants à la D.G.R.S.T. (en particulier à la « Demande d'Aide à la Recherche » n° 76-7-0193).

(2) Les taillis-sous-futaie de la région Centre situés en forêt privée couvrent, selon une estimation faite par le C.R.P.F. de cette région, 49 % de la superficie boisée privée, soit environ 360 000 hectares.

âge donné par un peuplement de futaie de productivité comparable) a ainsi sans doute guidé les initiateurs ⁽³⁾ de cette étude vers la recherche de « couples » futaie/taillis-sous-futaie sur « stations » comparables ⁽⁴⁾ de façon à convertir l'indice de productivité qui serait défini pour les taillis-sous-futaie en mesure de productivité réelle dans le cas de conversion en futaie ; la table de production établie par PARDÉ (1962) pour les futaies de chêne en secteur ligérien en donnerait alors la possibilité. Cette évaluation, en réalité, n'aura de sens pratique que pour des futaies de densité proche de celle de la table, futaies à durée de révolution trop longue pour qu'elles constituent un objectif à atteindre dans la majorité des forêts privées, surtout pour les moins étendues d'entre elles. Nous verrons cependant comment, en poursuivant la recherche dans cette voie, nous avons pu nous servir de la mesure de la productivité relative fournie par le peuplement de futaie de chaque couple pour, d'une part tester la mesure proposée de la productivité relative de ces taillis-sous-futaie, d'autre part fournir une comparaison possible de ces deux mesures, rendant ainsi la mesure relative proposée pour les taillis-sous-futaie de chêne plus démonstrative.

2. Base de l'étude : les couples futaie/taillis-sous-futaie

2.1. Définition et principes de leur recherche

Un « couple » futaie/taillis-sous-futaie est défini comme l'ensemble de deux peuplements, l'un traité en futaie et l'autre en taillis-sous-futaie de même productivité potentielle vis-à-vis du chêne. La reconnaissance des couples a été basée sur l'identité de certains caractères de la station, caractères permettant de supposer des conditions de croissance équivalentes pour les chênes dans les deux types de peuplement ⁽⁵⁾ : la futaie et le taillis-sous-futaie de chaque couple ont été choisis si possible à proximité l'un de l'autre (ils sont parfois adjacents) de manière à s'assurer de positions topographiques et de profils de sol voisins. Des sondages à la tarière pédologique en différents endroits de la futaie et du taillis-sous-futaie ont permis de contrôler la similitude des horizons du sol ainsi que celle de leur épaisseur. Les taillis-sous-futaie devaient par ailleurs comporter un nombre de réserves en chêne suffisant et la futaie constituer un peuplement plein et équienné. Le nombre relativement réduit de couples finalement retenus, 17 au total (voir tableau 1), tient essentiellement à la difficulté rencontrée de trouver à proximité l'un de l'autre futaie et taillis-sous-futaie, les peuplements de futaie étant plutôt situés en forêts domaniales et ceux de taillis-sous-futaie au contraire, en forêts privées ou communales.

(3) L'initiative de cette étude revient essentiellement à J. BOUCHON, Maître de Recherches à la Station de Sylviculture et de Production et à M. BONNEAU, Directeur de la Station des Sols forestiers au C.N.R.F.

(4) La « station » sera définie dans toute la suite par l'ensemble des caractères du milieu qui conditionnent la croissance de l'essence à laquelle on se réfère : elle a donc une productivité bien définie vis-à-vis du chêne.

(5) La prospection pour la recherche de couples éventuels futaie/taillis-sous-futaie est due au C.R.P.F. de la région Centre, le contrôle de l'homogénéité des conditions de sol et de la topographie à M. BONNEAU, Directeur de la Station des Sols forestiers au C.N.R.F.

TABLEAU 1

*Localisation et indice de productivité des couples futaie/taillis-sous-futaie de chêne établis dans la région Centre.
Localization and relative productivity of the 17 pairs of plots constituted of a plot with oak high forest
and a plot with oak coppice-with-standards in the same site conditions.*

Couple	Forêt	Département	Appartenance (3)		Futaie		Productivité	
			Taillis sous futaie	Futaie	Hauteur dominante (mètres)	Age total (A) (ans)	Haut. Dom. PARDÉ à l'âge A (mètres)	Indice de référence (1) Haut. Dom. à 160 ans (mètres) (2)
1	Montargis	45	Dom.	Dom.	16,47	50	17,87	0,922
2	Montargis	45	Dom.	Dom.	18,91	55	19,00	0,995
3	La Verrerie (Petit Rond)	18	Privé	Privé	26,84	165	32,35	0,830
4	La Verrerie (Grand Rond)	18	Privé	Privé	33,90	180	33,20	1,021
5	Allogny	18	Privé	Dom.	27,52	120	28,45	0,967
6	Veuzeron	18	Privé	Dom.	30,38	105	26,67	1,139
7	Citeaux	41	Privé	Dom.	31,40	160	32,00	0,981
8	Citeaux	41	Privé	Dom.	23,05	70	22,03	1,044
9	Marchenoir	41	Privé	Privé	22,62	70	22,03	1,027
10	Marchenoir	41	Privé	Privé	22,50	80	24,17	0,931
11	Taille de Ruine	36	Privé	Privé	20,66	70	22,03	0,938
12	Loches	37	Privé	Dom.	27,10	130	29,50	0,919
13	Châteauroux	36	Dom.	Dom.	28,20	170	32,70	0,862
14	Bommiers	36	Dom.	Dom.	28,61	130	29,50	0,970
15	Bommiers	36	Com.	Dom.	27,92	165	32,35	0,863
16	Abbayes	18	Com.	Com.	30,08	110	27,25	1,104
17	La Romagère	36	Privé	Privé	26,56	115	27,82	0,955

Hauteur dominante futaie

(1) Indice de référence = $\frac{\text{Hauteur dominante futaie}}{\text{Hauteur dominante table PARDÉ à l'âge A de la futaie}}$

(2) Hauteur dominante à 160 ans = Indice de référence $\times$ Hauteur dominante table PARDÉ à 160 ans.

(3) Dom. : domaniale ; Com. : communale.

2.2. Indice de productivité de référence

2.2.1. Principe de sa mesure

La productivité relative des stations échantillonnées (nous ne les décrivons pas ici) peut être mesurée grâce à l'indice de productivité établi pour la futaie par référence à la table de production déjà citée de PARDÉ (1962), établie à partir de placettes permanentes installées sur sols de fertilité comparable et décrivant la croissance et la production moyenne de futaies de chêne rouvre ⁽⁶⁾ de « bonne » productivité (classe unique). La hauteur dominante d'un peuplement atteinte à un âge de référence a depuis longtemps prouvé son efficacité comme mesure de la productivité relative ; les conditions optimales de son estimation à partir d'études de croissance en hauteur basées sur des analyses de tiges d'arbres ont été exposées par ailleurs (LE GOFF, 1982). La méthode utilisée ici relève plus de celle à laquelle on doit recourir lorsque l'on ne dispose que de mesures instantanées et qui consiste à déduire la croissance en hauteur pour différentes productivités d'une courbe moyenne établie à partir des données sur l'âge et la hauteur des peuplements mesurés, grâce à une transformation affine ⁽⁷⁾ : l'indice de productivité apparaît alors directement comme le rapport de la hauteur atteinte par un peuplement à un âge donné à la hauteur au même âge déduite de la courbe moyenne. La courbe de croissance en hauteur de référence utilisée ici est celle déduite de la table de production de PARDÉ et qui provient d'un lissage par voie graphique des données des placettes permanentes précitées. L'indice de productivité des placettes de futaie de chêne, dénommé I_F par la suite, a alors été évalué comme le rapport de leur hauteur dominante à celle lue dans la table de PARDÉ au même âge (ou évaluée par interpolation entre deux âges consécutifs de la table). Les biais éventuels de la méthode de base ⁽⁸⁾ tiennent beaucoup à l'établissement de la courbe moyenne, et ne devraient donc pas se retrouver ici tandis que le principe de courbes affines pour rendre compte de la croissance en hauteur, bien que souvent démenti, peut être acceptable dans un intervalle d'âges pas trop grand.

2.2.2. Données recueillies et calcul de l'indice des couples

La hauteur dominante des placettes de futaie de chaque couple, définie comme la hauteur de l'arbre de surface terrière égale à la surface terrière moyenne des 100 plus gros arbres à l'hectare, a été déterminée après inventaire complet des circonférences des arbres (mesurées à 1,30 m) dans des placettes circulaires de 20 ares (sauf pour 4 placettes ⁽⁹⁾) et établissement d'une relation liant la circonférence et la hauteur des

(6) La distinction entre chêne rouvre et chêne pédonculé n'a pas été faite dans la présente étude : les chênaies de la région Centre sont mixtes avec dominante du chêne pédonculé ou du chêne rouvre (pour les forêts de cette étude) suivant la nature du sol [d'après la carte de la végétation potentielle de la France établie par TIMBAL (voir BECKER *et al.*, 1981)].

(7) La transformation affine est telle que le rapport des hauteurs de deux de ces courbes à un âge donné est indépendant de l'âge.

(8) Des rappels plus détaillés sur cette méthode sont donnés par OTTORINI *et al.* (1981, pp. 227-228), ainsi qu'une amélioration possible de celle-ci lorsque l'on peut mettre en évidence l'effet sur la croissance en hauteur d'un ou plusieurs facteurs du milieu (cas de l'altitude pour le pin sylvestre en Margeride).

(9) Deux placettes de 15 ares, une de 25 ares et une de surface non délimitée (couple 13) en coupe de régénération où la hauteur moyenne de 14 arbres restés sur pied a été prise comme estimation de la hauteur dominante.

arbres d'un échantillon représentatif des classes de circonférence. L'âge de la futaie a été défini comme le nombre de cernes moyen compté sur des carottes de sondage effectuées à 30 cm de haut sur deux ou trois arbres et augmenté de 3 années pour tenir compte du temps mis pour atteindre cette hauteur. Les données hauteur dominante/âge de chacun des 17 couples ont été reportées sur la figure 1 qui présente également l'évolution de la hauteur avec l'âge pour les peuplements de futaie de la table de PARDÉ.

FIG. 1

Hauteur dominante et âge des placettes de futaie des 17 couples futaie/taillis-sous-futaie.

Courbe de croissance en hauteur issue de la table de production de PARDÉ (trait plein) et courbes déduites par affinité (trait fin) délimitant trois classes de productivité pour les couples.

Top height and age of the oak high forest in the 17 experimental areas constituted of a pair of adjacent plots (high forest/coppice-with-standards) identical with regard to fertility.

Also shown are the top height/age curve for the single fertility class of the yield table for oak high forests in the Center of France (thick line) and derived fertility classes (delimited by thin lines).

Les indices de productivité de référence de chaque couple, déterminés selon le principe défini précédemment, figurent au tableau 1, de même que l'estimation qui en est déduite de la hauteur atteinte à l'âge de référence de 160 ans et qui permet de mieux juger de la gamme des productivités représentée : 8 couples sur les 17 se situent au niveau de la classe de productivité définie par la table, l'amplitude de variation de la hauteur dominante à 160 ans pour une classe étant fixée à 4 mètres ; 6 couples se situent au-dessous de ce niveau et seulement 2 au-dessus (fig. 2). Ainsi peut-on peut-être déjà situer le niveau de productivité équivalent au-dessus duquel un taillis-sous-futaie de chêne peut être sans problème converti ou transformé, indice égal ou supérieur au minimum de la classe de PARDÉ par exemple, soit 30 mètres de hauteur dominante à 160 ans pour la futaie.

FIG. 2

*Répartition des couples futaie/taillis-sous-futaie
par classe de hauteur dominante de la futaie à 160 ans
(la classe 30 à 34 m correspond à celle de la table de production de PARDÉ).*

*Distribution of pairs of plots (high forest/coppice-with-standards)
by classes of top height of oak high forest reached at age 160.*

3. Principes pour la recherche d'un indice de productivité des taillis-sous-futaie Recueil des données

3.1. Productivité et accroissement en circonférence des chênes de réserve

On doit attribuer sans aucun doute au travail continu de générations de sylviculteurs ayant opéré dans les taillis-sous-futaie et contrôlé inventaire après inventaire (chacun séparé par une période de 20 à 30 ans, durée de révolution du taillis) l'évolution du matériel restant sur pied, d'avoir permis d'établir que « l'accroissement moyen en circonférence des réserves d'un taillis-sous-futaie, mesuré à périodicité fixe, est toujours figuré par une courbe sensiblement rectiligne, à partir de l'état de baliveau ou de jeune moderne et jusqu'aux plus fortes dimensions atteintes par l'espèce dans la station considérée » (PERRIN, 1939). Il suffirait alors comme le dit DE LEMPS (1951), de prendre comme indice de productivité une échelle d'accroissement moyen en circonférence des réserves et pour plus de facilité même, de ne considérer que les arbres parvenus au terme d'exploitabilité du peuplement et dont il est facile de retrouver l'âge au moment de la coupe. DE LEMPS a pu ainsi caractériser la productivité de quatre types de stations (définis auparavant pédologiquement) de la région de Dijon dont l'accroissement moyen en circonférence des arbres réservés âgés de 125 à 150 ans variait de 30 à 60 cm environ par révolution de 25 ans.

L'utilisation effective de cet indice, tout trouvé, pour les taillis-sous-futaie de la région Centre ne serait cependant envisageable que pour ceux d'entre eux conduits « normalement », les coupes de taillis et d'éclaircie ayant été faites de façon régulière, la composition en réserves comparable, le terme d'exploitabilité identique ou proche : en somme des conditions de peuplement bien définies ; nul doute en effet qu'elles conditionnent l'indépendance de l'accroissement moyen en circonférence des réserves vis-à-vis de facteurs autres que la fertilité de la station. La condition des taillis-sous-futaie actuels en forêt privée est toute autre : pour beaucoup, les coupes régulières et les interventions culturales qui y sont liées ont été interrompues, pour d'autres une surexploitation des réserves a été opérée, entraînant en particulier une raréfaction des vieux arbres ; l'inventaire des placettes de taillis-sous-futaie de chaque couple donnera un aperçu de ces conditions diverses actuelles (voir le paragraphe suivant et le tableau 2).

Il n'en reste pas moins que l'accroissement en circonférence (à 1,30 m de haut) des réserves du taillis-sous-futaie est directement lié à la fertilité ; la considération des autres facteurs ayant pu influencer sur cet accroissement et leur prise en compte a finalement orienté la méthodologie proposée ainsi que l'échantillonnage et le recueil des données pour cette étude.

L'accroissement en circonférence est la différence entre les circonférences mesurées à deux moments donnés ; cet accroissement étant par ailleurs difficile à estimer sans observations suivies, c'est la croissance en circonférence reconstituée à partir d'un ensemble de données instantanées recueillies sur des arbres d'âges variés, qui constituera la base de cette étude : le parallèle peut être fait facilement avec la méthode utilisée pour reconstituer la croissance en hauteur avec des données de même nature (voir 2.21) et en déduire les courbes d'évolution moyenne pour des niveaux de productivité donnés. Les résultats acquis antérieurement, et dont il vient d'être fait état, sur l'accroissement des chênes de réserve, notamment ceux de PERRIN (1939), seront cependant d'une grande utilité pour la recherche de la forme de la relation liant la circonférence à l'âge et aux autres facteurs pris en considération : vigueur ⁽¹⁰⁾ des arbres (liée au potentiel génétique), concurrence subie antérieurement (de la part du taillis et d'autres réserves éventuellement) et mesurée par une variable pouvant rendre compte globalement de ces effets, la hauteur relative du houppier (rapport de la hauteur du houppier à la hauteur totale de l'arbre) ⁽¹¹⁾, fertilité de la station enfin dont on cherche la mesure.

Le graphique de la figure 3 reproduisant les résultats de PERRIN suggère ainsi que, pour des conditions de concurrence identiques (traitement moyen semblable), les relations liant la circonférence à l'âge pour différents niveaux de productivité et pour des arbres de vigueur différente (arbres d'élite, moyens, retardataires), sont des droites qui se déduisent les unes des autres sensiblement par affinité.

Enfin, si rien n'a été dit sur la possibilité, comme cela est plus habituel, de se baser plutôt sur la croissance en hauteur pour un tel genre d'étude, c'est que l'on dispose d'informations moins précises sur l'allure de la croissance en hauteur, dont on sait par ailleurs qu'elle est influencée par le traitement en taillis-sous-futaie ⁽¹²⁾ (voir BARTET, 1891). De même, le recours à la hauteur des plus vieilles réserves comme indice de productivité (la croissance en hauteur serait très réduite après 150 ans), utilisé avec un relatif succès dans certaines études (BECKER, 1979), ne pouvait être ici envisagé pour les raisons édictées plus haut et relatives à la composition actuelle des taillis-sous-futaie, en particulier le manque fréquent de vieilles réserves.

(10) Dans cette étude, la vigueur d'un arbre d'âge donné traduira ses performances de croissance en circonférence, toutes conditions extérieures à l'arbre étant égales par ailleurs (fertilité de la station, statut concurrentiel). Dans une population d'arbres d'âge donné, on pourra ainsi définir des classes de vigueur pour les arbres ; selon, par exemple, que leur circonférence est supérieure, égale ou inférieure à la valeur médiane des circonférences observées dans la population : pour les premiers cités, on parlera alors d'arbres d'élite et c'est à eux que l'on s'intéressera surtout dans ce travail.

(11) Les propriétés de la hauteur relative du houppier en tant que mesure de densité ont pu être déjà utilisées (LE GOFF & OTTORINI, 1979), mais son utilisation la plus concrète apparaît dans un article de CURTIN (1970).

(12) Cette influence a pu être confirmée indirectement dans cette étude et des recherches sont poursuivies, dont il sera fait état par ailleurs, pour tenter de rendre compte plus précisément de l'effet réel du traitement en taillis-sous-futaie sur la croissance en hauteur.

FIG. 3

Développement en circonférence des chênes de réserve des taillis-sous-futaie du Bassin de la Saône pour 4 groupes de stations (d'après PERRIN, 1939).

« Acc » désigne l'accroissement sur la circonférence pour une période de 25 ans.

Groupe I : Sols d'alluvions modernes fraîches et riches.

Groupe II : Sols marneux ou argileux de qualité moyenne.

Groupe III : Sols calcaires marneux, généralement médiocres.

Groupe IV : Sols de calcaires compacts, extrêmement superficiels.

Breast height girth development of the standards in coppice-with-standards of the « Bassin de la Saône » for 4 soil types.

(« Acc » is for girth increase during a 25 years period).

3.2. Recueil des données

En taillis-sous-futaie conduit normalement, c'est-à-dire suivant une norme fixant le nombre d'arbres à laisser dans chaque classe d'âge, la distribution des arbres en classes de circonférence se présente sous la forme d'une série de courbes « en cloche » chacune relative à une classe d'âge du taillis-sous-futaie. Dans ce cas, l'âge d'un arbre quelconque peut théoriquement s'évaluer assez précisément si l'on connaît l'âge des plus vieilles réserves (comptage des cernes sur leurs souches une fois abattus) ou celui de la dernière coupe, en supposant toutefois que les coupes soient intervenues régulièrement. Rien de tel lorsque la structure normale n'existe plus, ce qui doit être le cas pour la majorité des taillis-sous-futaie de la région concernés par cette étude et dont le traitement normal n'est plus suivi ; c'est le cas également pour les taillis-sous-futaie en voie de conversion qu'il a été nécessaire de retenir pour disposer d'un nombre suffisant de couples.

Aussi, à cause de la nécessité de sonder à la tarière les arbres échantillonnés pour connaître leur âge, l'échantillonnage a-t-il été limité aux arbres d'élite normalement situés dans la partie droite de l'histogramme des circonférences relatif à chaque classe

d'âge ; leur choix n'a pas été toujours conforme aux prévisions (cf. fig. 4), mais l'échantillonnage réalisé permettra cependant la sélection d'un certain nombre d'arbres parmi les plus vigoureux du taillis-sous-futaie sur lesquels sera basée la mesure de la productivité, retrouvant par-là l'idée de DE LEMPS étendue, si l'on peut dire, à toutes les classes d'âge.

FIG. 4

Relevé (1) des valeurs de circonférences (prises à 1,30 m de haut) faisant apparaître une distribution en classes de 10 cm, chaque mesure étant représentée par le nombre de centimètres dépassant la valeur la plus basse de la classe (la classe de 30 cm a été démultipliée pour la représentation).

Exemple : 1120 correspond à 2 mesures de 112 et 110 cm de circonférence.

Statement of breast height girth values measured for a coppice-with-standards plot (pair n° 16) ; girth classes are 10 cm large and the girth value for a tree is represented by the number of centimeters above the lower limit of the required class (see MOSTELLER & TUKEY, 1977, pp. 43-48 for details on this type of data statement).

Cette figure, comparable à un histogramme, fait directement apparaître 4 classes d'âge notées 1 R, 2 R, 3 R, 4 R, où R désigne la période de rotation des coupes (ou durée de révolution du taillis) ; les arbres sondés et mesurés dans chaque classe (repérés par les différents symboles du tableau ci-dessus), montrent le recouvrement des classes 3 R et 4 R et explique ainsi la présence dans l'échantillon, d'arbres de circonférence inférieure à la valeur médiane des classes : ex. le 145, le 160.

This girth values statement allows to recognize age classes of the coppice-with-standards stands (4 age classes here called 1 R, 2 R, 3 R, 4 R ; R is for coppice revolution period). Trees sampled are identified by the above table symbols.

(1) Ce type de relevé est décrit plus complètement dans MOSTELLER & TUKEY (1977, pp. 43-48).

— Inventaire

Afin d'avoir une bonne représentation des différentes classes d'âge (le nombre d'arbres à l'hectare dans chaque classe décroissant fortement avec l'âge), des placettes de surface généralement comprise entre 0,5 et 1 hectare et ayant la forme d'un quadrilatère, ont été délimitées sur le terrain ; la nécessité d'avoir des conditions de station et de peuplement homogènes a cependant conduit à limiter la surface de certaines d'entre elles. Le tableau ci-dessous en donne la répartition par classes de surface :

Placettes	Surface des placettes de taillis-sous-futaie (ares)					
	30-40	40-50	50-60	60-70	70-80	80-90
Effectif	4	1	5	5	1	1
Couples	11, 13, 14, 15	1	6, 9, 12, 16, 17	2, 5, 7, 8, 10	4	3

La circonférence à 1,30 m de tous les arbres a été mesurée et les valeurs supérieures à 20 cm, seules retenues, ont été reportées directement sur imprimé de la façon décrite à la figure 4 ; ce mode de report a l'avantage de faire apparaître directement la forme de la distribution et de permettre de conserver les valeurs exactes mesurées.

TABLEAU 2

Résultats de l'inventaire des placettes de taillis-sous-futaie de chaque couple donnant la répartition des arbres en classes de circonférence.

Results from the inventory of the coppice-with-standards plots giving the distribution of trees in breast height girth classes (girth classes are intimately linked to age classes).

Catégorie d'arbre	Composition des taillis-sous-futaie (nombre de tiges à l'hectare)																
	Couples																
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Baliveaux	2	76	180	127	325	56	103	6	276	64	710	592	279	6	168	175	77
Modernes	149	141	141	192	81	61	71	121	122	51	119	200	104	102	207	61	185
Anciens	20	33	11	27	42	6	34	30	4	45	30	36	66	85	63	38	22
Total des tiges .	171	250	332	346	448	123	208	157	402	160	859	828	449	193	438	274	284

(Baliveaux : 10 à 50 cm ; Modernes : 50 à 130 cm ; Anciens : 130 à 270 cm ; ces trois classes de circonférences correspondent grossièrement à des arbres dont l'âge va croissant.)

Les résultats condensés des inventaires (tabl. 2) font apparaître des disparités importantes dans la composition des taillis-sous-futaie des différents couples, illustrant ce qui a été dit précédemment et conséquence de l'éloignement du traitement normal en taillis-sous-futaie pour certains peuplements. Bien qu'il ait été tenté de pousser plus loin l'analyse de la structure de chaque peuplement de taillis-sous-futaie, notamment par comparaison avec les normes théoriques établies par DE LEMPS (1951), il n'en sera pas fait état ici ; les conséquences des différences de traitement apparaîtront cependant clairement à travers l'évaluation du statut concurrentiel des arbres échantillonnés qui, nous le verrons au paragraphe suivant, permettra d'expliquer une partie de la variabilité des circonférences observées à un âge donné.

FIG. 5

Hauteurs relatives moyennes du houppier des arbres échantillonnés dans les différentes classes d'âge du taillis-sous-futaie de chaque couple.

Mean relative heights of crowns of sampled trees for the different age classes of the coppice-with-standards experimental plots.

— Echantillonnage et mesures

Un échantillon de 5 arbres choisis parmi les arbres d'élite, dans chaque classe d'âge repérée sur l'histogramme des circonférences des placettes de taillis-sous-futaie (cf. figure 4), a fait l'objet des mesures suivantes, outre celle de leur circonférence à 1,30 m (mesure au ruban) : hauteur totale et hauteur du houppier (la base du houppier étant définie par le niveau de la première branche participant effectivement au houppier de l'arbre), mesures effectuées au Blume-Leiss, âge après comptage des cernes annuels sur des carottes de sondage ⁽¹³⁾.

A partir de ces mesures, l'évaluation du statut concurrentiel de chaque arbre mesuré par la hauteur relative du houppier (cf. 3.1.) a été effectuée. Les valeurs moyennes (exprimées en pourcentage) pour les arbres d'une même classe d'âge ont été calculées dans chacun des couples ; ces valeurs sont reportées à la figure 5 en fonction de l'âge moyen des arbres. Il est ainsi possible de se rendre compte de la variabilité importante des conditions de densité rencontrées dans ces taillis-sous-futaie : la hauteur moyenne du houppier des arbres est comprise entre 30 et 70 p. 100 de la hauteur totale. Il faut noter cependant que des valeurs inférieures à 45 p. 100 ne se rencontrent que pour des âges inférieurs à 100 ans. A l'intérieur de chaque couple, la hauteur relative du houppier a tendance à augmenter avec l'âge, traduisant des conditions de concurrence plus fortes dans le jeune âge. Cependant, globalement, la diversité des statuts concurrentiels pour les arbres se retrouve aux différents âges, mis à part pour les plus fortes densités comme signalé ci-dessus ; ces faits apparaissent clairement dans le tableau qui suit :

Hauteur relative du houppier (en %)	Classes d'âge (ans)						
	0-25	25-50	50-75	75-100	100-125	125-150	150-175
Minimum	40	17	23	30	32	49	48
Maximum	78	74	77	77	79	75	76

La mise en évidence de l'effet de la concurrence, en fait des conditions de concurrence passées (synthétisées de façon simplifiée par la hauteur relative du houppier observée), sur la croissance en circonférence des arbres ainsi que sa prise en compte dans la relation de prédiction de la circonférence, fait l'objet du paragraphe suivant ; la réduction ainsi obtenue de la variabilité non expliquée de la circonférence atteinte à un âge donné, permettra dans la dernière phase de l'étude de proposer une meilleure mesure de la productivité relative des taillis-sous-futaie.

4. Analyse et traitement des données

Nous rappelons ici que les facteurs attendus pour expliquer les variations observées de la circonférence des arbres sont l'âge, les conditions de concurrence passées, la

(13) Les sondages ont été effectués à 1,30 m de haut et, pour avoir l'âge total, on a ajouté au nombre de cernes lu, le nombre d'années mis pour atteindre 1,30 m évalué sur les arbres les plus jeunes par un sondage supplémentaire au pied.

vigueur et enfin la fertilité de la station. Le présent paragraphe aura pour objet de mettre en évidence l'effet des deux premiers facteurs, les variations de la vigueur des arbres étant considérées comme aléatoires (il s'agit normalement seulement d'arbres d'élite), celles dues à la fertilité devant être appréciées en fonction de l'écart à la relation moyenne qui sera ainsi établie. Ainsi, c'est la dépendance de la circonférence à 1,30 m vis-à-vis de l'âge et de la hauteur relative du houppier, qui sera étudiée ici.

L'étude de cette dépendance s'appuiera sur la connaissance de certains faits (cf. 3.1.) et la formulation d'hypothèses, l'analyse des données proprement dite, venant seulement confirmer et préciser l'allure des phénomènes. La méthode utilisée pour l'analyse des données est celle exposée par OTTORINI (1981, pp. 489-490) : elle consiste à observer par voie graphique la dépendance de la variable à expliquer vis-à-vis d'une des variables explicatives, à ajuster une relation provisoire une fois la forme de dépendance reconnue (éventuellement après transformation de variable pour se ramener à une forme linéaire) et à examiner ensuite, avec les mêmes techniques, la dépendance des valeurs résiduelles provenant de l'estimation obtenue avec la relation provisoire vis-à-vis des autres variables explicatives retenues.

FIG. 6

*Age et circonférence des réserves de taillis-sous-futaie :
l'échantillon est constitué par des arbres choisis parmi les plus vigoureux
dans les différentes classes d'âge représentées dans chaque peuplement (voir 3.2.).*

*Scatter plot of the sampled coppice-with-standards trees girth (measured at breast height)
against age : trees sampled (= picked trees) are chosen in each « presumed » age class
of the coppice-with-standards plots so that their girth is superior or equal
to the median girth of the class (see also fig. 4).*

La forme reconnue de dépendance de la circonférence vis-à-vis de l'âge pour les réserves de taillis-sous-futaie est celle d'une relation linéaire (cf. fig. 3). La figure 6 présente les couples de valeurs de la circonférence et de l'âge pour les 344 arbres qui ont été mesurés dans les 17 couples : la dépendance linéaire se trouve confirmée, même s'il semble que l'on observe une légère courbure qui peut être due à l'échantillonnage (les arbres les plus âgés appartiennent en moyenne à des couples sur stations moins fertiles : 3 des 6 couples représentés (15, 13, 3) se situent dans la moins bonne classe de fertilité (cf. fig. 1). Une relation provisoire de la forme $C\ 130 = a + b\ Age$ a ainsi été ajustée à ces données.

La dépendance de $C\ 130$ vis-à-vis de la hauteur relative du houppier (HC/HT) peut être mise en évidence en partageant le nuage de points de la figure 1 suivant plusieurs classes d'âge et en calculant pour chacune d'elles les valeurs moyennes observées de la circonférence pour différentes classes de HC/HT . La figure 7 présente les résultats obtenus alors en portant en abscisse la valeur moyenne observée de HC/HT dans chacune des classes constituées (15 à 30 p. 100 ; 30 à 45 p. 100 ; 45 à 60 p. 100 ; 60 p. 100 et plus) et pour chaque classe d'âge. On peut ainsi observer que la circonférence moyenne croît avec HC/HT (si l'on exclut les points correspondant à des classes peu représentées) et ce d'autant plus que l'âge est élevé : la pente des segments de droite reliant des points pris dans deux classes de HC/HT moyennes croît avec l'âge, excepté pour les classes l'âge les plus élevées pour lesquelles on peut faire la même remarque qu'à l'alinéa précédent.

L'interaction entre deux variables indépendantes peut être observée directement en analyse de données en reliant la différence des logarithmes de la grandeur observée et de son estimation provisoire, avec la variable dont on veut tester l'interaction ⁽¹⁴⁾ (MOSTELLER, 1977, p. 435) : l'interaction entre l'âge et la hauteur relative du houppier a pu ainsi être confirmée (fig. 8a) et la forme sous laquelle intervient HC/HT précisée, après transformation logarithmique de cette variable (fig. 8b). Les valeurs résiduelles obtenues après ajustement linéaire de $C\ 130$ en fonction de la nouvelle variable $Age \times \text{Log}(HC/HT)$, portées en fonction des variables originelles Age et HC/HT , ont montré seulement un effet linéaire complémentaire de HC/HT exprimé sous la forme de son logarithme.

A ce stade, il restait alors à estimer les paramètres de la relation suivante liant la circonférence à l'âge et à la hauteur relative du houppier :

$$C\ 130 = a + b\ \text{Log}\ HC/HT + c(Age \times \text{Log}\ HC/HT) \quad (1)$$

La relation (1) a été ajustée par la méthode habituelle des moindres carrés utilisée en régression linéaire. L'examen simultané des valeurs résiduelles et des valeurs estimées, recommandé après un ajustement (DRAPER & SMITH, 1966), a montré une augmentation de la dispersion des valeurs résiduelles assez nette dans l'intervalle des circonférences estimées compris entre 20 et 100 cm ; une surestimation des faibles valeurs de la circonférence a pu aussi être observée. Afin de corriger cet effet, une méthode dérivée de celle des moindres carrés, dans laquelle on fait intervenir des pondérations a été employée ⁽¹⁵⁾ (MOSTELLER & TUKEY 1977, p. 356). Un examen des nouvelles valeurs

(14) Ceci n'est vrai cependant que si l'ajustement déjà réalisé est suffisamment bon.

(15) Pour plus de détails et une illustration de cette méthode d'estimation, on pourra se référer à OTTORINI *et al.* (1981, pp. 229-231).

FIG. 7

Circonférence moyenne des réserves de taillis-sous-futaie échantillonnées, observée pour des valeurs croissantes de la hauteur relative du houppier à l'intérieur de classes d'âge déterminées (1 : 0-25 ans, 2 : 25-50 ans, 3 : 50-75 ans, 4 : 75-100 ans, 5 : 100-125 ans, 6 : 125-150 ans, 7 : 150-175 ans).

Mean breast height girth of sampled coppice-with-standards trees of increasing relative heights and belonging to different age classes.

(On a fait figurer entre parenthèses le nombre d'observations attachées à un point lorsque celui-ci était inférieur à 5).

(Bracketed numbers on this figure represent the number of trees for one observation when this number is less than 5).

FIG. 8

*Dispersion des valeurs de la différence résiduelle
entre les logarithmes des circonférences observées et des circonférences estimées
par la relation provisoire $C\ 130 = a + b\ Age$:*

(a) en fonction de la hauteur relative du houppier,

(b) en fonction du logarithme de la hauteur relative du houppier.

La figure 8(a) permet de mettre en évidence l'interaction entre les variables indépendantes âge et hauteur relative du houppier ; la figure 8(b) révèle sous quelle forme intervient cette nouvelle variable explicative (voir le texte pour plus de détails).

Scatter plot of the residual differences between the logarithms of the observed values of breast height girth of standard trees and those estimated by the provisional relationship established between girth and age : $C\ 130 = a + b\ Age$

a) against the relative height of the crown of standard trees ;

b) against the logarithm of the relative height of the crown of standard trees.

résiduelles et des valeurs estimées ne montre pas cette fois-ci de surestimation ou de sous-estimation de la circonférence dans l'intervalle des valeurs estimées. Les paramètres de la relation (1) ont été obtenus après plusieurs ajustements successifs faisant intervenir des pondérations calculées de façon itérative : le processus a été arrêté lorsque les estimations obtenues ne se modifiaient plus que faiblement. Les valeurs finales estimées des paramètres de la relation (1) sont les suivantes :

$$\hat{a} = -116.8$$

$$\hat{b} = 32.6335$$

$$\hat{c} = 0.313705$$

avec les unités suivantes pour les grandeurs représentées : circonférence (C 130) en centimètres, âge en années, hauteur relative du houppier (HC/HT) en pourcentage.

La figure 9 est une illustration de la relation (1) : le comportement de la croissance en circonférence y est représenté pour différentes valeurs de la hauteur relative du houppier, dans le domaine des observations réalisées. L'interprétation suivante peut en être faite : pour des arbres gardant le même statut concurrentiel (valeur fixe de HC/HT), l'accroissement de la circonférence reste constant avec l'âge pour une période de temps donnée ; il croît lorsque les arbres sont moins concurrencés proportionnellement au logarithme de la hauteur relative du houppier.

5. Indice de productivité des taillis-sous-futaie de chêne

A ce stade de l'étude et pour atteindre l'objectif fixé, il restait alors à tenir compte, en plus des résultats qui viennent d'être obtenus, de ceux établis par PERRIN en 1939 dont il a été fait état au paragraphe 3.1. et illustrés par la figure 3. Si l'indice I caractérise la fertilité de la station et l'indice v_i la vigueur d'un arbre i sur cette station, la circonférence à 1,30 m de cet arbre à l'âge A , à un facteur aléatoire près est donnée par :

$$(C\ 130)_i = f[A_i, (HC/HT)_i] \cdot I \cdot v_i \quad (2)$$

où f est la fonction représentée dans la relation (1) ; on se trouve bien ainsi en accord avec les résultats de PERRIN : proportionnalité des courbes de croissance en circonférence lorsque la fertilité de la station varie et que change le niveau de vigueur de l'arbre (cf. arbres d'élite, moyens, retardataires de la figure 3). Pour une placette de taillis-sous-futaie j , la relation (2) fournit :

$$\{Iv_i\}_j = \left\{ \frac{(C\ 130)_i}{f[A_i, (HC/HT)_i]} \right\}_j \quad (3)$$

où $(C\ 130)_i$ est la circonférence observée de l'arbre i et $f[A_i, (HC/HT)_i]$, sa circonférence estimée, soit $(\widehat{C\ 130})_i$, par la relation (1).

Si l'échantillon des arbres de chaque placette de taillis-sous-futaie était de même vigueur moyenne V , la relation (3) appliquée à tous les arbres fournirait directement

FIG. 9

Développement caractéristique de la circonférence des réserves de taillis-sous-futaie dans des conditions de concurrence variables définies par la hauteur relative du houppier des arbres (variant ici de 20 à 70 %).

Characteristic development of the breast height girth of the standard trees in the coppice-with-standards with varied values of the competitive status of trees measured by the relative height of the crown of the standards (varying here from 20 % to 70 %).

C O U P L E S

FIG. 10

Dispersion des valeurs du rapport de la circonférence observée à la circonférence estimée [à l'aide de la relation (1)] des réserves de taillis-sous-futaie, en fonction de l'indice de productivité I_F basé sur la hauteur dominante du peuplement de futaie de chaque couple (voir 2.2).

Scatter diagram of the values of the ratio of observed breast height girth of the standards to girth estimated with relation (1) (in which girth is a function of both age and relative height of crown) against the relative productivity index (I_F) of each pair of plots based on top height of the high forest.

Ce rapport apparaît lié linéairement à I_F (les valeurs médianes (1), pour des niveaux variables de I_F, se situent sur une droite) et il sert de base à la définition de l'indice de productivité pour les taillis-sous-futaie.

(I_F is the ratio of the top height of the high forest to top height at the same age as determined for the single fertility class of the yield table for oak high forests in the Center of France : see fig. 1).

(1) Elles sont représentées par le symbole □.

un indice de productivité, soit I_V .⁽¹⁶⁾, l'indice proprement dit I étant multiplié par la constante V . Il a été signalé cependant précédemment (voir 3.2.) que l'échantillonnage réalisé n'a pas toujours permis de s'assurer d'une même classe de vigueur pour tous les arbres d'une même placette, en particulier pour celles dont la structure différerait de celle d'un taillis-sous-futaie normal ; les différences de vigueur moyenne des arbres d'une placette à l'autre apparaissent à la figure 10 où ont été reportées les valeurs de $C130/\widehat{C130}$ pour les arbres de chaque placette en fonction de l'indice de productivité de référence I_F déterminé par le peuplement de futaie de chaque couple (cf. 2.21.). On peut ainsi remarquer que la dispersion des valeurs de $C130/\widehat{C130}$ peut varier de façon importante pour des placettes d'indice I_F comparable, par exemple pour les couples 2 et 4 ou 8 et 9. L'examen, simultanément, des distributions des valeurs de $C130/\widehat{C130}$, réalisé selon le procédé décrit à la figure 4, montre de plus une hétérogénéité de la forme de la distribution (normale, dissymétrique à gauche ou à droite) liée à l'échantillonnage réalisé dans chaque placette ; dans un tel cas, la moyenne des valeurs observées (ici équivalente à $\bar{I}_V$), n'est pas le meilleur descripteur de la distribution (cf. ANDERSON *et al.*, 1974, pp. 88-92). La recherche d'un autre descripteur, davantage indépendant de l'échantillonnage réalisé et pouvant être identifié à un indice de productivité pour les taillis-sous-futaie, a porté sur des mesures de localisation de la distribution : valeur de $C130/\widehat{C130}$ au-dessus de laquelle se trouve un pourcentage donné de valeurs observées⁽¹⁷⁾. Différents indices ont ainsi été calculés pour lesquels on observait 10, 20, 30, 40 et 50 p. 100 de valeurs de $C130/\widehat{C130}$ supérieures : les valeurs d'indice ainsi obtenues pour chaque placette ont été observées conjointement avec l'indice de productivité de référence I_F de chaque couple. Les graphiques correspondants (non reproduits ici), font apparaître à chaque fois une relation linéaire entre les deux indices démontrant la validité de la mesure proposée pour identifier la productivité relative des taillis-sous-futaie (ce résultat était déjà apparent sur la figure 10 où ont été figurées les médianes de chaque distribution). La mesure de localisation retenue pour la distribution des valeurs de $C130/\widehat{C130}$ a été choisie pour qu'elle minimise l'expression $S^2(a, b)$, telle que :

$$S^2(a, b) = \sum_{j=1}^{14} \{[(C130/\widehat{C130})_{\alpha}]_j - [a + bI_F]_j\}^2$$

où $(C130/\widehat{C130})_{\alpha}$ désigne la mesure de localisation telle que α p. 100 des valeurs de la distribution soient supérieures à $(C130/\widehat{C130})_{\alpha}$. La valeur de α minimisant $S^2(a, b)$ a été trouvée égale à 30 p. 100 et le graphique correspondant

(16) On aurait en effet, en faisant la somme des valeurs I_V^j pour les n arbres de la placette j et en divisant cette somme par n :

$$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n I_V^j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{V_i^j}{V} = \frac{1}{n} \frac{n\bar{V}^j}{V} = \frac{\bar{V}^j}{V} = I_V^j$$

si la vigueur moyenne des n arbres $\bar{V}^j$ est égale à V pour toutes les placettes.

(17) Cette mesure de localisation revient à diviser le lot des observations ordonnées en pourcentages de valeurs observées : la valeur caractéristique pour laquelle on a α % d'observations supérieures à cette valeur (c'est la médiane si $\alpha = 50$ p. 100) peut être déterminée plus aisément en calculant les fréquences relatives cumulées de la distribution (pour plus de détails, voir ANDERSON *et al.*, 1974, pp. 71-75).

traduisant la relation linéaire entre l'indice de productivité ainsi déterminé pour les taillis-sous-futaie, soit I_{TSF} , et l'indice de référence de la futaie I_F apparaît à la figure 11. Trois couples (11, 4 et 16) se sont individualisés quelle que soit la valeur choisie de α et ils ont été éliminés de l'analyse (bien qu'ils soient représentés sur la figure 11) : pour le couple 11, la distribution des valeurs de $C\ 130/\widehat{C\ 130}$ est très dissymétrique à gauche, et il se peut que les arbres les plus vigoureux aient été systématiquement abattus lors des exploitations ; pour les couples 4 et 16 à distribution de $C\ 130/\widehat{C\ 130}$ presque normale, on peut remettre en cause l'identité des conditions de fertilité de station pour la futaie et le taillis-sous-futaie de chaque couple.

FIG. 11

Relation entre l'indice de productivité défini pour les taillis-sous-futaie (I_{TSF}) et l'indice de productivité de référence mesuré par la hauteur dominante relative de la futaie (I_F) : la relation linéaire établie ne tient pas compte des couples 11, 4 et 16 jugés « aberrants » (voir le texte pour les explications données).

Relationship between the relative productivity index defined for the coppice-with-standards (I_{TSF}) and the relative productivity index for the high forest (I_F) : the linear relationship shown is established without pairs of plots 11, 4 and 16 judged erratic.

L'indice de productivité du taillis-sous-futaie est défini comme suit : c'est la valeur prise par le rapport de la circonférence observée à la circonférence estimée par la relation (1) de l'arbre pris dans un échantillon d'arbres parmi les plus vigoureux du taillis-sous-futaie et tel que 30 % des arbres de l'échantillon aient une valeur de ce rapport supérieure à la sienne.

For the definition of I_F , see fig. 10. I_{TSF} is defined as follows : it is the value of the ratio of observed to estimated breast height girth [with relation (1)] of the standard tree of a coppice-with standards, so as 30 % of the values of the ratio for a sample of picked trees lie above it.

FIG. 12

Développement hypothétique de la circonférence des réserves de taillis-sous-futaie dans des conditions de concurrence variables, définies par la hauteur relative du houppier des arbres (variant ici de 20 à 70 %), et pour différents niveaux de productivité, niveaux correspondant à ceux définis pour la futaie (cf. fig. 1).

Hypothetical development of the breast height girth of standard trees in coppice-with-standards for various values of the competitive status of trees (mean relative crown height varying from 20 % to 70 %) and for three productivity classes identical to those defined in fig. 1.

Cette figure s'applique à des arbres dont la vigueur est équivalente à celle des arbres pris comme référence pour définir l'indice de productivité des taillis-sous-futaie (cf. fig. 11). Elle peut servir directement à estimer la classe de productivité des taillis-sous-futaie (voir Annexe pour des explications détaillées).

This figure applies to trees of the same vigour as those used as a reference for the definition of the relative productivity index for coppice-with-standards (see fig. 11); this figure can be used to identify the productivity class of a coppice-with-standards (see Appendix for explanations).

Finalement, la remarque suivante peut être faite concernant la mesure de localisation de la distribution des valeurs de $C\ 130/\widehat{C\ 130}$ retenue comme indice de productivité. Cette mesure consiste à prendre en considération la fraction des arbres de l'échantillon (30 p. 100) qui ont les valeurs de $C\ 130/\widehat{C\ 130}$ les plus élevées, c'est-à-dire les 30 p. 100 qui sont de vigueur supérieure (arbres d'élite) ; l'indice $(C\ 130/\widehat{C\ 130})_a$ s'applique alors à des arbres de vigueur comparable d'un peuplement de taillis-sous-futaie à l'autre.

6. Applications

Deux applications peuvent être données à l'issue de cette étude : la première répond à l'objectif principal fixé, c'est-à-dire la détermination d'un indice de productivité pour les taillis-sous-futaie de chêne, tel qu'il a été défini au paragraphe précédent. La deuxième application concerne la possibilité d'estimer l'indice de productivité équivalent pour un peuplement de futaie (tel que défini en 2.2.) ; en effet, la relation linéaire entre ces deux indices, décrite à la figure 11, peut être exprimée sous la forme :

$$I_F = a' + b'I_{TSF} \quad (4)$$

L'estimation par les moindres carrés des paramètres de la relation (4) a donné : $a' = 0.3729$; $b' = 0.5171$ (coefficient de corrélation $R^2 = 0.827$).

La figure 12 peut constituer alors une synthèse des résultats obtenus : le développement de la circonférence de réserves de taillis-sous-futaie, de vigueur équivalente à celle des arbres pris comme référence pour définir l'indice de productivité, répond aux différents schémas représentés lorsque le statut concurrentiel des arbres (mesuré par la hauteur relative du houppier) varie et lorsque changent les conditions de fertilité de la station : les trois niveaux de productivité figurés sont équivalents, pour la futaie, à ceux de la figure 1 et la zone en pointillé correspond de la même façon au niveau de productivité de la classe unique de la table de production de PARDÉ pour le chêne en secteur ligérien.

Cette figure permet également la détermination directe de la classe de productivité d'un taillis-sous-futaie donné à partir de la mesure d'un échantillon d'arbres (circonférence, âge, hauteur relative du houppier) choisis parmi les plus vigoureux des réserves de taillis-sous-futaie (tel qu'il a été procédé pour cette étude) ; il suffit pour cela de figurer les points représentatifs de chaque arbre sur le schéma voulu de la figure 12, dépendant de la valeur de HC/HT : le peuplement de taillis-sous-futaie appartiendra ainsi à celle des 3 classes de productivité (1, 2 ou 3) figurées pour laquelle la fréquence relative cumulée des valeurs de classe ordonnées (par productivité croissante) sera égale ou supérieure à 70 p. 100 ⁽¹⁸⁾. Des explications détaillées sur la détermination

(18) La classe de productivité du taillis-sous-futaie n'est pas la moyenne des valeurs de classe donnée par les arbres de l'échantillon, à partir de la figure 12 : celle-ci concerne en effet des arbres de vigueur bien déterminée, ceux servant de référence pour définir l'indice de productivité et ici la classe de productivité. On peut alors montrer que prendre la valeur de classe déterminée à partir de la figure 12, et telle que 30 p. 100 des valeurs de classe observées pour l'échantillon soient supérieures ou égales à celle-ci, revient bien à baser la classe de productivité sur des arbres de même vigueur que ceux considérés à la figure 12.

de la classe de productivité d'un taillis-sous-futaie figurent en Annexe de cet article, et un cas concret y est traité. L'estimation précise de l'indice de productivité du taillis-sous-futaie, basé sur la distribution des valeurs de $C\ 130/\widehat{C\ 130}$ de l'échantillon d'arbres, fait également l'objet d'un exposé détaillé en Annexe et du même cas concret d'application.

La détermination de la classe de productivité à partir de la figure 12 fournit immédiatement la classe de productivité équivalente d'un peuplement de futaie ; la relation (4) permet quant à elle d'estimer l'indice de productivité de la futaie correspondant à celui du taillis-sous-futaie, indice que l'on peut alors exprimer en termes de hauteur dominante du peuplement de futaie à l'âge de référence de 160 ans.

Ayant ainsi déterminé le niveau de productivité d'un taillis-sous-futaie, équivalent à celui d'une futaie sur station de fertilité comparable, il est possible de prévoir de manière approchée la productivité en volume qu'aurait ce peuplement s'il était converti en futaie en se référant à la table de production de PARDÉ (par exemple : 5,8 m³/ha/an à 160 ans pour le niveau de productivité correspondant à celui de la table). Il convient de noter aussi que la productivité en volume du taillis-sous-futaie, bien que plus difficile à évaluer, doit elle-même pouvoir être reliée à l'indice de productivité défini ici pour les taillis-sous-futaie : DE LEMPS a pu ainsi estimer pour les quatre types de stations de PERRIN (cf. fig. 3) l'accroissement en volume des réserves du taillis-sous-futaie au cours d'une révolution de 25 ans, pour une composition normale donnée ; on constate au tableau suivant que l'accroissement relatif du volume est bien lié au niveau de productivité (mesuré ici par l'accroissement moyen annuel sur le rayon des arbres d'élite parvenus à l'âge d'exploitabilité).

Type de station	Accroissement moyen sur le rayon (arbres d'élite) (mm)	Volume tige (1) initial (m ³ /ha)	Volume tige (1) final (m ³ /ha)	Accroissement en volume (m ³ /ha)	Accroissement relatif du volume
1	4,1	45	102,7	57,7	0,825
2	3,2	40	85	45	0,754
3	2,9	45	93	48	0,726
4	2,2	40	80	40	0,693

(1) Volume tige = volume découpe bois d'œuvre, sur écorce.

Les résultats de cette étude permettent enfin de mieux préciser, au moment où l'on parle de sylviculture à larges espacements pour le chêne, le gain attendu sur l'accroissement moyen radial des tiges quand on maintient les arbres à différents niveaux de concurrence. La figure 12 fournit ainsi pour des stations de fertilité équivalente à celle de la table de PARDÉ (il s'agit d'arbres d'élite) :

Hauteur relative du houppier (en %)	Accroissement moyen annuel sur le rayon à 160 ans (mm)
40	2,25
50	2,47
60	2,65
70	2,80

L'augmentation de l'accroissement moyen annuel radial quand le niveau de concurrence diminue reste assez faible ⁽¹⁹⁾. L'intérêt de maintenir les arbres dans des conditions de densité de peuplement faibles résiderait davantage dans la diminution de l'âge d'exploitabilité : un arbre de 60 cm de diamètre peut être récolté à 110 ans (classe de fertilité moyenne) si il est maintenu avec une hauteur relative du houppier de 70 p. 100, à près de 140 ans seulement si celle-ci n'est que de 40 p. 100. Mais d'autres facteurs peuvent intervenir, telle la longueur du fût qui diminue lorsque HC/HT augmente ou la décroissance de la tige, plus forte dans ces mêmes conditions.

7. Conclusion

A partir de données recueillies à un moment donné sur des arbres pris dans les différentes classes d'âge de peuplements de taillis-sous-futaie, il a été possible d'en déduire le développement caractéristique de la circonférence au cours du temps dépendant des conditions de concurrence dans lesquelles ont poussé les réserves des taillis-sous-futaie, conditions appréciées par la hauteur relative actuelle du houppier des arbres. Il a été possible ensuite, se basant sur deux hypothèses, proportionnalité des courbes de croissance en circonférence à la vigueur des arbres d'une part, à la fertilité de la station d'autre part, de déduire de la relation établie entre la circonférence, l'âge et la hauteur relative du houppier, un indice de productivité pour les taillis-sous-futaie de chêne : l'évaluation de la productivité relative des stations concernées par une mesure indépendante et couramment utilisée, hauteur dominante d'un peuplement de futaie à un âge déterminé ⁽²⁰⁾, a permis de s'assurer de la validité de la mesure proposée pour les taillis-sous-futaie et d'avoir une mesure moins dépendante de l'échantillonnage réalisé en se référant à des arbres de vigueur comparable.

Ces résultats devraient pouvoir être vérifiés dans le cadre d'une application à partir de mesures similaires à celles réalisées ici dans quelques couples futaie/taillis-sous-futaie nouveaux. Une autre vérification consisterait à étudier l'effet des conditions de station (sol, topographie, climat) sur la productivité du chêne à partir d'évaluations de la productivité faites en futaie et en taillis-sous-futaie.

(19) A titre de comparaison, l'accroissement moyen sur le rayon à 160 ans des arbres de la placette de futaie du couple 7 (même productivité que celle de la Table de production de PARDÉ) est le suivant : 1,66 mm pour l'arbre de surface terrière moyenne des 100 plus gros à l'hectare, 1,88 mm pour l'arbre de surface terrière moyenne des 10 plus gros à l'hectare.

(20) Ici, en fait, la productivité relative de la futaie est mesurée directement par un indice, rapport de la hauteur dominante de la futaie à la hauteur dominante au même âge donnée par la table de production pour les futaies de chêne du Centre.

La recherche d'un indice de productivité fiable pour des peuplements inéquiennes et de structure variable comme ces taillis-sous-futaie a nécessité des considérations concernant en particulier l'effet de la concurrence et de la vigueur des arbres sur leur croissance. Elle devrait permettre d'étendre la méthodologie employée à des peuplements de structure aussi éloignée de celle des peuplements purs et équiennes que ceux étudiés ici.

Des indications peuvent être déduites de cette étude concernant la productivité en volume attendue de peuplements de taillis-sous-futaie qui seraient convertis en futaie de densité proche de celle de la table de production établie pour le chêne dans cette région. Ces conditions de sylviculture ne peuvent cependant concerner que des massifs assez importants et de bonne productivité ; les conditions de croissance du chêne traité en peuplements moins denses et donc à âge d'exploitabilité plus jeune doivent être mieux étudiées : ces conditions existent dans les taillis-sous-futaie, et on peut se demander comme DE LEMPS si ce traitement n'est pas à nouveau à redécouvrir, tout du moins pour la forêt privée, et s'il n'a pas pâti de n'être pas suivi rigoureusement par le contrôle du matériel à laisser sur pied grâce à des normes adaptées à la fertilité des stations.

Remerciements

1) La collaboration du Centre régional de la Propriété forestière de la région Centre (MM. J. DOUSSINEAU, M. FORMERY) a permis, grâce à une prospection sur le terrain, la détermination d'un nombre suffisant de couples futaie/taillis-sous-futaie, base de cette étude. Elle a facilité également les relations avec les propriétaires forestiers particuliers.

2) L'aide de l'Office National des Forêts (Centres de Gestion de Blois, Montargis et Bourges : MM. R. LAFOUGE, J. HUBERT et Y. RICHER DE FORGES) nous a également été précieuse pour la détermination de certains couples futaie/taillis-sous-futaie.

3) Les analyses graphiques nécessaires pour cette étude ont été grandement facilitées grâce à un programme informatique (sur le mode conversationnel) conçu par J.-M. OTTORINI à la Station de Sylviculture et de Production et permettant d'analyser les données selon les principes exposés au paragraphe 4 de cet article.

4) Au cours de ce travail, il a également été fait large usage de la programmhèque de la Station de Biométrie du C.N.R.F. installée sur un ordinateur Mini 6 et dont un manuel de présentation et d'utilisation « Amance 81 » a été édité. L'existence de plusieurs terminaux (écrans notamment) a grandement facilité les examens graphiques cités précédemment.

5) La réalisation des figures de cet article est due à L. GARROS, technicien à la Station de Sylviculture et de Production, la dactylographie et la mise en page du manuscrit à R. GROSS de cette même Station.

6) Suivant la suggestion des lecteurs du manuscrit, N. DECOURT et M. HUBERT, ainsi que celle de H. OSWALD, une Annexe a été ajoutée à la suite de cet article à l'intention des personnes susceptibles d'utiliser les résultats de ce travail dans le cadre d'une application.

Summary

A measure of relative productivity for oak coppice-with-standards in the Center region of France.

The aim of this study is to know and measure capability for growth and production of oak of sites actually covered with stands treated as oak coppice-with-standards and often poor with standards in the Center region of France. Seventeen pairs of plots « high forest/coppice-with-standards » have been established : each pair of plots includes one plot in an oak coppice-with-standards and the other one in an oak high forest, both in the same site conditions.

The high forest plot of each « pair » gives a reference index of productivity for oak : it is defined as the ratio of top height of the stand to top height at the same age given by the single fertility class yield table for oak high forests of the Center region. Three productivity classes have been determined for the seventeen pairs of plots, top height at age 160 varying from 28 to 36 meters.

The research of and index of productivity for oak coppice-with-standards has been based on the study of girth development of the standards (previous results had shown a good relationship with fertility of sites). Other factors of girth growth have been considered : past competitive conditions for the standards synthesized by the actually measured ratio of crown height to total height of trees, individual variability of trees (in particular by sampling « picked trees » in the population of the standards of each coppice-with-standards).

A relationship between breast height girth of the standards, age and relative crown height of trees has been established. The productivity index for oak coppice-with-standards has then been identified as a particular measure of the distribution of values of the ratio of observed to estimated girth (former relation) of sampled standards in each coppice-with-standards plot.

A simple linear relationship has been established between the productivity index for oak coppice-with-standards and the productivity index for oak high forests. It allows comparison of relative productivity of sites with the one or the other type of oak stand. It allows also to predict volume productivity of known relative productivity oak coppice-with-standards which would be converted to high forests stands, with the help of the yield table for oak high forests of the Center region.

Practical application of the results of this study, that is estimation of the index of productivity of oak coppice-with-standards, received particular attention : people interested will find in Appendix, with a definite example, all details on the way to use basic relations and figures necessary for this estimation.

Reçu pour publication le 5 août 1982.

Accepté pour publication le 13 janvier 1983.

Références bibliographiques

- ANDERSON T.W., SCLOVE S.L., 1974. *Introductory statistical analysis*. Houghton Mifflin Company.
- BARTET E., 1891. Recherches sur le mode d'accroissement des chênes de taillis-sous-lutaie. *Rev. Eaux Forêts*, sept. 1891, 393-405.
- BECKER M., 1979. Une étude phyto-écologique sur les plateaux calcaires du Nord-Est (Massif de Haye - 54). Utilisation de l'analyse des correspondances dans la typologie des stations. Relations avec la productivité et la qualité du hêtre et du chêne. *Ann. Sci. For.*, **36** (2), 93-124.
- BECKER M., PICARD J.F., TIMBAL J., 1981. *La Forêt. Le milieu vivant. L'homme et la forêt. Les grandes forêts de France. Les arbres de la forêt*. Masson et Réalisations Editoriales Pédagogiques, Paris.
- CARMEAN W.H., 1975. Forest site quality evaluation in the United States. *Adv. Agron.*, **27**, 209-269.
- CURTIN R.A., 1970. Dynamics of tree and crown structure in *Eucalyptus obliqua*. *For. Sci.*, **16**, (3), 1970.
- DRAPER N.R., SMITH H., 1966. *Applied regression analysis*. John Wiley and Sons, Inc. New York.
- LE GOFF N., OTTORINI J.M., 1979. Normes de densité pour les hêtraies du Nord-Est et du Nord-Ouest de la France. *Ann. Sci. For.*, **36** (4), 281-298.
- LE GOFF N., 1982. Productivité du Frêne en région Nord-Picardie. A. - Courbes de croissance en hauteur. *Ann. Sci. For.*, **30** (3), 259-287.

- DE LEMPS F., 1951. Volume critique, plan de balivage et composition normale dans les taillis-sous-futaie. *Rev. For. Fr.*, n° 9, 552-572.
- MOSTELLER F., TUKEY J.W., 1977. *Data analysis and regression. A second course in statistics*. Addison-Wesley Publi. Cy.
- OTTORINI J.-M., NYS C., 1981. Application des données de l'I.F.N. à l'étude de la production du Pin sylvestre en Margeride. A. - Etude de la croissance en hauteur. *Ann. Sci. For.*, **38** (2), 223-236.
- OTTORINI J.-M., 1981. Application des données de l'I.F.N. à l'étude de la production du Pin sylvestre en Margeride. B. - Etude de la production totale en volume. *Ann. Sci. For.*, **38** (4), 487-502.
- PARDE J., 1962. Table de production pour les forêts de Chêne rouvre de qualité tranchage du secteur ligérien. Notes Techniques Forestières. Mars 1962, Note n° 11. Station de Recherches et Expériences Forestières, Nancy.
- PERRIN H., 1939. Sur l'accroissement des chênes de taillis-sous-futaie. *Rev. Eaux Forêts*, avril 1939.

Annexe

Détermination de la productivité relative d'un taillis-sous-futaie (exemple traité avec les données du couple 16)

1. Echantillonnage et mesures

Les arbres constituant l'échantillon sont choisis après inventaire complet des circonférences des réserves de taillis-sous-futaie (à partir de la dimension de baliveau) sur une placette de surface comprise entre 0,5 et 1 hectare ; les valeurs de circonférence sont reportées tel qu'indiqué à la figure 4 et les classes d'âge (supposées) délimitées. Les arbres à mesurer, au nombre de 5 par classe d'âge si possible, seront choisis parmi ceux de circonférence égale ou supérieure à la valeur médiane des circonférences de chaque classe d'âge (arbres « d'élite »).

Les arbres de l'échantillon feront alors l'objet des mesures suivantes :

- circonférence (C 130) mesurée au ruban à 1,30 m de hauteur,
- hauteur totale (HT) de la base de l'arbre au bourgeon terminal,
- hauteur du houppier (HC) de la base du houppier au bourgeon terminal (voir paragraphe 3.2. du texte pour définition précise),
- âge total,

on en déduira la hauteur relative du houppier (HC/HT), rapport (exprimé en %) de la hauteur du houppier à la hauteur totale.

Les données obtenues pour le couple 16 figurent au tableau 3 (trois premières colonnes).

2. Evaluation de la productivité relative du taillis-sous-futaie

Deux modes d'évaluation de la productivité relative peuvent alors être suivis :

- évaluation rapide par la détermination de la classe de productivité à l'aide d'une abaque conforme à celle de la figure 12,
- évaluation plus précise par la détermination de l'indice de productivité en utilisant la relation (3) (ce qui nécessite de disposer d'une petite machine à calculer).

2.1. Classe de productivité du taillis-sous-futaie

Les abaques de la figure 12 présentent les « plages » de circonférence pour les trois classes de productivité distinguées, suivant le statut concurrentiel des arbres (mesuré par la hauteur relative du houppier). Elles concernent cependant des arbres de vigueur bien déterminée (cf. paragraphe 6). La classe de productivité du taillis-sous-futaie sera alors obtenue de la façon suivante :

— détermination d'une valeur de classe pour chaque arbre de l'échantillon, en reportant sur l'abaque voulue de la figure 12 (dépendant de la valeur de HC/HT) le point représentatif (C 130, Age) de l'arbre considéré. Les données correspondantes pour l'exemple traité figurent au tableau 3, colonne 4 ;

— calcul des fréquences relatives cumulées des valeurs de classe des arbres, ordonnées par classe de productivité croissante.

La classe de productivité du taillis-sous-futaie est celle pour laquelle la fréquence relative cumulée des valeurs de classe ordonnées des arbres égale ou dépasse 70 p. 100.

Le tableau suivant présente les résultats obtenus pour l'exemple traité, à partir des données de la colonne 4 du tableau 3 :

Classes de productivité ordonnées	Fréquence des valeurs de classe	Fréquence cumulée des valeurs de classe	Fréquence relative cumulée des valeurs de classe (en %)
3	13	13	61,9
2	7	20	95,9
1	1	21	100
Total	21		

Le taillis-sous-futaie du couple 16 se situe ainsi sur une station de classe de productivité 2 car moins de 70 p. 100 des arbres indiquent une classe 3 (61,9 p. 100) et plus de 70 p. 100 indiquent la classe 2 ou 3 (95,9 p. 100).

Un peuplement de futaie de chêne sur cette station aurait donc une productivité comparable à celle des peuplements de la table de production de PARDÉ (correspondance entre les trois classes de productivité définies pour le taillis-sous-futaie et celles définies pour les peuplements de futaie).

2.2. Indice de productivité du taillis-sous-futaie (I_{TSF})

La relation (1) — cf. paragraphe 4 du texte — appliquée aux arbres de l'échantillon permet d'estimer la circonférence attendue $\widehat{C130}$ de ces arbres, compte tenu de leur âge et de la hauteur relative du houppier, pour les conditions de fertilité moyenne des stations étudiées (colonne 5 du tableau 3 pour l'exemple traité).

Le rapport de la circonférence observée C 130 à la circonférence estimée $\widehat{C130}$ des arbres de l'échantillon (colonne 6 du tableau 3) est à la base de la mesure de la productivité relative du taillis-sous-futaie : l'indice de productivité est en effet défini

comme la valeur du rapport $C\ 130/\widehat{C\ 130}$ au-dessus de laquelle se situent 30 p. 100 des valeurs de $C\ 130/\widehat{C\ 130}$ observées pour l'échantillon.

Cette mesure de localisation de la distribution des valeurs de $C\ 130/\widehat{C\ 130}$, notée $(C\ 130/\widehat{C\ 130})_u$ dans le texte (cf. paragraphe 5), peut être effectuée plus facilement en regroupant les valeurs de $C\ 130/\widehat{C\ 130}$ par classes : une valeur approchée de $(C\ 130/\widehat{C\ 130})_u$ est alors obtenue en calculant l'expression suivante :

$$1 + \frac{\left(\frac{70}{100} \cdot n\right) - b}{f} \cdot \omega$$

(d'après ANDERSON *et al.*, 1974, pp. 94-97).

où :

n = nombre d'observations (arbres échantillonnés).

l = valeur inférieure de la classe de $C\ 130/\widehat{C\ 130}$ contenant $(C\ 130/\widehat{C\ 130})_u$, c'est-à-dire pour laquelle la fréquence relative des valeurs observées de $C\ 130/\widehat{C\ 130}$ égale ou dépasse 70 %.

f = fréquence des valeurs de $C\ 130/\widehat{C\ 130}$ dans la classe contenant $(C\ 130/\widehat{C\ 130})_u$.

b = fréquence cumulée des valeurs de $C\ 130/\widehat{C\ 130}$ pour toutes les classes inférieures à celle contenant $(C\ 130/\widehat{C\ 130})_u$.

ω = largeur de l'intervalle des classes de $C\ 130/\widehat{C\ 130}$.

Le nombre de classes de $C\ 130/\widehat{C\ 130}$ — donc aussi l'intervalle des classes — peut être fixé d'après le nombre n d'observations. En pratique, n devrait être compris entre 10 et 25 (5 arbres mesurés par classe d'âge, 2 à 5 classes d'âge pour les peuplements de taillis-sous-futaie de cette étude) : pour un tel effectif, il est suggéré de faire 5 classes pour regrouper les observations (cf. ANDERSON *et al.*, 1974, p. 97).

La détermination de l'indice de productivité du taillis-sous-futaie du couple 16 servira à illustrer le mode de calcul de $(C\ 130/\widehat{C\ 130})_u$ qui vient d'être présenté. A partir des données du tableau 3 (colonne 6), les valeurs de $C\ 130/\widehat{C\ 130}$ pour l'échantillon d'arbres peuvent être présentées de la façon suivante :

$C\ 130/\widehat{C\ 130}$ (classes)	Fréquence des classes	Fréquence cumulée	Fréquence relative cumulée
0,7 - 0,9	5	5	23,8
0,9 - 1,1	9	14	66,7
1,1 - 1,3	6	20	95,2
1,3 - 1,5	0	20	95,2
1,5 - 1,7	1	21	100
Total	21		

TABLEAU 3

*Données dendrométriques relatives à l'échantillon
des réserves de taillis-sous-futaie du couple 16,
nécessaires à l'estimation de la productivité relative du taillis-sous-futaie.*

*Tree measures for the sample of standards of coppice-with-standards from plot n° 16,
and necessary for the estimation of its index of relative productivity.*

C 130 (cm)	Age total (ans)	HC/HT (%)	Classe ⁽¹⁾ de productivité (d'après la figure 12)	$\widehat{C\ 130}$ (C 130 estimée par la relation ⁽¹⁾) (cm)	$\frac{C\ 130}{\widehat{C\ 130}}$
35	24	56	3	44,5	0,787
45	27	57	3	49,1	0,916
43	23	74	3	54,5	0,790
48	23	78	3	56,6	0,848
50	26	62	3	51,2	0,977
75	51	48	3	71,9	1,043
70	50	62	3	82,3	0,850
77	50	50	3	71,9	1,071
80	35	49	1	52,9	1,512
89	49	59	2	79,3	1,122
112	84	72	3	135,0	0,830
122	87	60	3	128,5	0,949
148	70	77	2	120,1	1,232
132	76	62	2	116,4	1,134
145	109	63	3	159,9	0,907
160	111	66	3	166,1	0,963
168	93	61	2	137,5	1,222
187	111	79	3	178,1	1,050
199	118	62	2	170,8	1,165
202	117	78	2	185,7	1,088
226	118	67	2	175,8	1,285

(1) Trois classes de productivité ont été définies pour les taillis-sous-futaie de chêne en région Centre (classes 1, 2, 3 de la figure 12). Les points représentatifs (C 130, Age) des arbres, sur la figure 12, peuvent se situer en dehors des limites des classes : on affectera alors la classe 0 aux arbres dont la circonférence excède la valeur supérieure de la classe 1 au même âge et on affectera la classe 4 aux arbres dont la circonférence n'atteint pas la valeur inférieure au même âge de la classe 3.

La classe contenant $(C\ 130/\widehat{C\ 130})_n$ est la classe 1,1 - 1,3 car c'est dans cette classe que la fréquence relative cumulée de 70 p. 100 pour les valeurs de $C\ 130/\widehat{C\ 130}$ y est atteinte.

On a alors pour l'exemple traité :

$$l = 1,1 ; n = 21 ; b = 14 ; f = 6 ; w = 0,2.$$

$$I_{TSF} = (C\ 130 / \widehat{C\ 130})_a = 1,1 + \left[\frac{\left(\frac{70}{100} \times 21 \right) - 14}{6} \right] 0,2$$

$$I_{TSF}(\text{couple } 16) = 1,123$$

— L'indice de productivité équivalent pour un peuplement de futaie, I_F , peut alors être estimé à l'aide de la relation (4) :

$$I_F = 0,3729 + 0,5171 (I_{TSF})$$

soit, pour l'exemple traité : $I_F = 0,954$.

L'indice I_F peut lui-même être converti en hauteur dominante du peuplement de futaie à 160 ans (cf. 2.2.), soit $H_0(160)$:

$$H_0(160) = 32,0 \times I_F \text{ (en mètres)}$$

ce qui donne pour l'exemple traité $H_0(160) = 30,53$ m (la valeur ainsi estimée de la hauteur dominante du peuplement de futaie du couple 16 est sensiblement inférieure à la valeur réellement mesurée pour ce couple — cf. tableau 1 — ; il semble que la futaie se situe en fait sur une station de fertilité supérieure à celle du taillis-sous-futaie — cf. paragraphe 5 du texte).

Compte tenu de l'hétérogénéité de structure des peuplements de taillis-sous-futaie utilisés dans cette étude, il est permis de penser que la méthode d'estimation de la productivité relative des taillis-sous-futaie de chêne présente une bonne fiabilité et donne de bons résultats dans la plupart des cas. Cependant un cas particulier peut se présenter, celui où la réserve du taillis-sous-futaie a été surexploitée (et notamment les arbres d'élite : cas vraisemblable du couple 11) ; dans ce cas, on sous-estimera la productivité réelle du taillis-sous-futaie (il semble qu'alors la distribution des valeurs de $C\ 130 / \widehat{C\ 130}$ soit très dissymétrique : queue droite de la distribution très réduite ou même absente).