

CHAPITRE IX : PRODUCTIVITE DES PEUPLEMENTS REGULIERS ET TABLES DE PRODUCTION

CHAPITRE IX : PRODUCTIVITE DES PEUPLEMENTS REGULIERS ET TABLES DE PRODUCTION

I. ESTIMATION DE LA PRODUCTIVITE

La productivité revêt, à plusieurs égards, une importance considérable en matière d'aménagement des forêts. Sa connaissance conditionne largement le choix des essences et l'estimation de la « production » ligneuse, elle est aussi un élément essentiel dans le contexte de gestion durable des ressources forestières.

Dans le contexte dendrométrique, **nous assimilerons la productivité à la vitesse de production.**

La notion de productivité ou de « capacité de production » est étroitement liée à la notion de « *station* », celle-ci s'identifiant généralement pour le gestionnaire forestier à une étendue de forêt écologiquement homogène sur laquelle il peut pratiquer la même sylviculture et peut espérer obtenir une même production. Il arrive que l'on confonde souvent dans la littérature forestière « *productivité* » et « *fertilité* ». Pour mieux préciser les idées, la notion habituelle de productivité intègre généralement les effets des différents facteurs de production, qu'ils appartiennent à la station ou à l'espèce (ou à la provenance). Il semble plus logique de définir cet effet complexe par « *productivité* » et de réserver le terme de « *fertilité* » à ce qui concerne les facteurs liés à la station.

De manière générale, plusieurs démarches distinctes peuvent être utilisées dans **l'appréciation ou la prévision de la productivité** d'un site pour une essence donnée :

- soit qu'on fasse référence à des caractéristiques dendrométriques (hauteur dominante à un âge donné, production totale en volume à un âge donné d'un peuplement régulier,...) : **approche dendrocentrique** ;
- soit qu'on détermine ou mesure un ou plusieurs facteurs de l'environnement étroitement liés à la croissance des arbres (précipitations annuelles, température moyenne annuelle, type de sol, réserve maximale en eau du sol,...) : **approche géocentrique** ;
- ou encore qu'on analyse la végétation (groupes écologiques de plantes), elle même liée aux facteurs de l'environnement (sol, climat, topographie,...) : **approche phytocentrique**.

Dans ce chapitre, nous aborderons l'appréciation de la productivité uniquement sur base de critères dendrométriques.

Idéalement, ceux-ci doivent être faciles à mesurer, être convenablement corrélés avec la production et, si possible, être indépendants des variables autres que stationnelles influençant cette production.

On distingue deux types d'indices dendrométriques de productivité :

1. **indices dendrométriques directes** : le critère de production concerne la production totale de matière ligneuse, soit le volume total produit à un âge de référence, soit l'accroissement moyen annuel en volume à cet âge,
2. **indice dendrométriques indirectes** : le critère de productivité est défini par une caractéristique dendrométrique étroitement liée à la production totale en volume (hauteur dominante,...).

Ces critères seront qualifiés **d'indices de productivité (site index en anglais) lorsqu'ils font référence à un âge donné.**

1.1. METHODES D'ESTIMATION DIRECTE

Ces méthodes à caractère dendrométrique visent à estimer le volume total produit sur une station donnée et sur une période de temps donnée. Elles sont en principe les plus recommandables et sont applicables aussi bien en peuplements *homogènes équiennes* qu'en peuplements *hétérogènes mélangés*.

A. Productivité basée sur le volume

Le volume total de matière produite à un âge donné, le plus souvent à l'âge de référence de 100 ans, est l'expression dendrométrique la plus stricte de la productivité d'un milieu forestier. L'utilisation de ce critère n'est cependant pas très pratique, si l'on songe aux calculs longs et fastidieux que sa détermination nécessite (risques d'oublis ou d'erreurs de comptabilisation du matériel prélevé en éclaircie, pertes d'informations) et à l'obligation d'utiliser des volumes de référence strictement identiques (adéquation des tarifs de cubage) correspondant généralement au bois fort de la tige du moins en ce qui concerne les résineux.

B. Productivité basée sur l'accroissement annuel moyen total en volume :

La productivité peut aussi être exprimée au moyen de l'accroissement moyen annuel total en volume à **un âge donné**, par exemple à 100 ans, cet accroissement étant évidemment en relation directe avec le volume total dans les peuplements à *structure équiennne*. Souvent, on préconise d'utiliser comme critère de productivité, dans le cas des peuplements qui le permettent, le **maximum d'accroissement moyen annuel en volume**. Ce procédé élimine le problème de choix, toujours discutable, d'un âge de référence. Dans de très nombreux cas, ce critère est envisagé simultanément avec des estimations indirectes de la productivité basée sur la hauteur.

1.2. METHODES D'ESTIMATION INDIRECTE : productivité basée sur la hauteur dominante

A. Généralités

Une des lois fondamentales de la sylviculture (issue de la « loi » d'Eichhorn) dit que :

« Pour une essence donnée, dans une région climatique donnée, et pour une assez large gamme de traitements sylvicoles, la production totale en volume d'un peuplement équiennne, monospécifique, normalement dense dépend surtout de l'âge du peuplement et de la station ».

« Il existe une relation étroite entre la hauteur dominante et la production totale en volume d'un peuplement équiennne monospécifique normalement dense ». Cette relation serait indépendante de l'âge et, dans des limites relativement larges, de la fertilité de la station et du traitement pratiqué par le forestier ¹».

A l'origine F. Eichhorn²(1902) énonça que pour une hauteur moyenne d'un peuplement équiennne pur d'une essence donnée, il correspondra un même volume sur pied, quelque soit l'âge et la station.

La relation entre la hauteur moyenne et le volume fût établie scientifiquement par les forestiers allemands dès la première moitié du 19^{ème} siècles (Heyer C.³, 1841 ; Baur F.⁴, 1877) mais des observations avaient déjà été réalisées à ce sujet au 18^{ème} siècles par d'autres forestiers de ce pays (Oettelt C., 1764).

¹Commentaires :

Pour les peuplements répondant aux conditions sus-citées et pour une très large gamme de traitement sylvicole, on peut dire les deux choses suivantes :

- Deux peuplements quelconques d'un même âge sur une même station (et de même origine génétique) auront la même hauteur dominante et la même production totale depuis l'origine.
- Deux peuplements quelconques ayant la même hauteur dominante auront quelque soit l'âge et la fertilité de la station, la même production totale depuis l'origine.

² Fritz Eichhorn (Allemagne, 1870 – 1939) fût étudiant à l'école technique forestière de Karlsruhe. Il réalisa ses travaux qui le menèrent à énoncer sa célèbre règle (« le volume total produit par un peuplement équiennne monospécifique d'une essence donnée est, pour une hauteur moyenne donnée, identique pour tous les types de station ») à la station de recherches forestières de Baden (1897-1900), puis à l'école forestière de Karlsruhe (1900-1902). Ses travaux ont d'abord concerné le sapin pectiné, puis il confirma sa règle pour d'autres essences. Il publia ses résultats entre 1900 et 1904. Il entra ensuite à l'Administration forestière de Baden et cessa ses activités professionnelles en 1928.

³ Carl Justus Heyer (Allemagne, 1797-1856) fût probablement le premier à établir scientifiquement une corrélation entre la hauteur et le volume. Ceci le conduisit à considérer la hauteur moyenne d'un peuplement comme indice de productivité d'une station. Heyer fût professeur de sylviculture à l'Université de Giessen de 1835 à 1856.

⁴ Franz. Baur (Allemagne, 1830-1897) fût le premier à publier une table de production utilisant la hauteur (1881). Après avoir été étudiant à l'Université de Giessen (il eu comme professeur C. Heyer), il fit une carrière dans la recherche forestière, avant de devenir professeur à la chaire de sylviculture de l'Université de Munich (1878-1897).

La règle d'origine pose cependant plusieurs problèmes, ce qui conduira ultérieurement à la modifier pour aboutir à la loi énoncée ci-dessus.

1°) Problème posé par le type de volume :

A l'origine, Eichhorn faisait référence au volume sur pied du peuplement (et non pas à la production totale en volume). Cependant, à son époque, les éclaircies pratiquées dans les peuplements de sapin pectiné étaient réalisées très nettement par le bas et étaient de très faible intensité par rapport à ce qui se pratique de nos jours. Dans ce contexte, il y avait peu de différence entre la PTV et le volume sur pied du peuplement pour un âge donné (la différence de volume correspondant à l'auto-éclaircie des peuplements due à la mortalité des tiges surcimées). Ce sera un autre forestier allemand, Ernst Gehrhardt⁵ (1909) qui modifiera la règle d'Eichhorn pour prendre en compte la production totale en volume.

2°) Problème posé par le type de hauteur :

De nombreux auteurs (*Assmann E.*⁶, 1970), ont vérifié et accepté cette loi à condition d'utiliser non pas la hauteur moyenne, mais **la hauteur dominante**, peu sensible au traitement (autrement dit, la production totale en volume d'un peuplement équiennne, monospécifique, normalement dense n'est fonction que de la hauteur dominante).

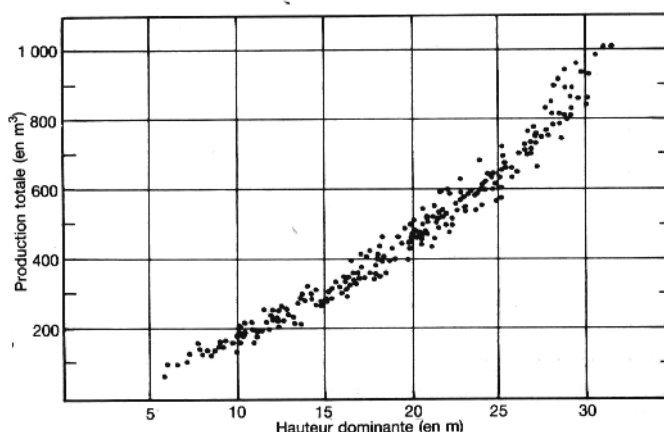


Figure 1 : Relation entre la PTV (production totale en volume) et la hauteur dominante : cas du hêtre en Suisse (Etter, 1949 in J.Bouchon et J Parde, 1988).

⁵ Ernst Gehrhardt (Allemagne, 1867-1936) fût étudiant à l'Université de Munich où il reçut l'enseignement de F. Baur. Il enseigna entre 1923 et 1934 à la faculté forestière de Hannovre.

⁶ Ernst Assmann (Allemagne, 1903-1979) fût professeur de dendrométrie à l'Université de Munich de 1951 à 1972. Il publia en 1970 un ouvrage qui fait encore actuellement référence : » *The Principles of forest yield study. Study in the organic production, Structure, Increment and Yield of Forests Stands*” Pergamon Press, Oxford.

3°) Problème posé par l'hypothèse d'une relation unique (pour une essence donnée) entre la PTV et la hauteur dominante :

Différents chercheurs forestiers ont émis comme condition de validité de la relation entre la PTV et la hauteur dominante (pour une essence donnée), de rester dans des *conditions climatiques suffisamment homogènes*.

Cette dernière restriction conduit donc à se montrer prudent quant au caractère constant de la relation unissant la production totale à la hauteur dominante. *Cette relation ne serait pas unique* mais bien *liée à la région de croissance et plus spécialement à ses caractéristiques climatiques* (voir figure 2).

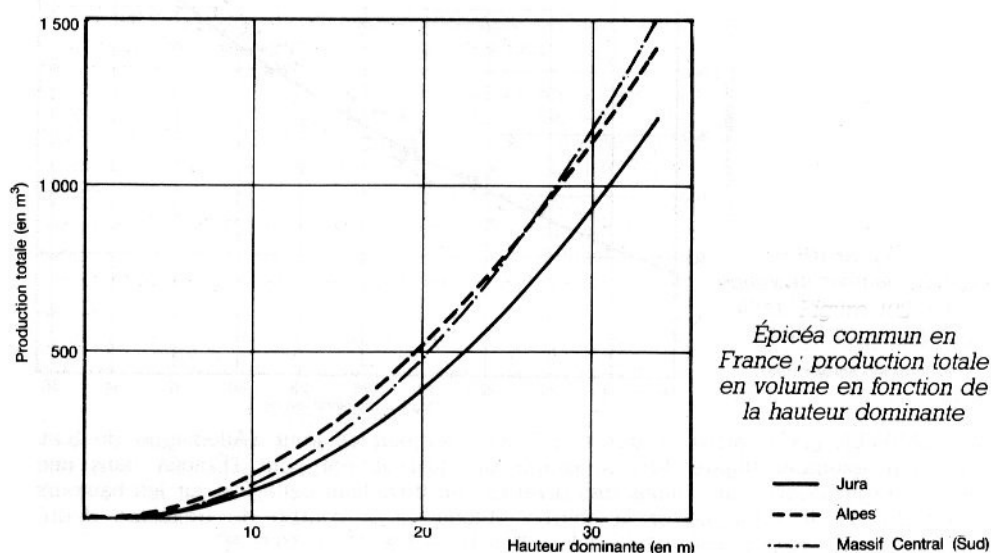


Figure 2 : La relation entre la PTV (production totale en volume) et la hauteur dominante dépend de la région climatique (J.Bouchon et J Parde, 1988).

Selon DECOURT (1964), on peut , en première approximation, définir comme région de même croissance (« Wuchsgebiet en allemand), l'ensemble des stations où le développement de l'essence considérée suit une même loi d'EICHHORN.

D'une manière générale, à même latitude, les climats de type océanique (Angleterre, Irlande) se prêtent mieux à de fortes productions ligneuses que les climats de type plus continental suite à des températures moyennes plus douces, à des saisons de végétation plus longues et à une meilleure distribution annuelle des pluies.

4°) Problème posé par le traitement sylvicole (régime d'éclaircies) :

Durant la fin du 19^{ème} siècles et dans la première moitié du 20^{ème} siècles, des expériences de modalités d'intensité d'éclaircies ont été effectuées sur diverses essences un peu partout en Europe. Ces expériences ont montré **dans une majorité des cas** que la production totale en volume atteinte à un âge donné était assez peu influencée par le régime d'éclaircies pratiquées, du moins dans une assez large gamme de modalité. Cependant, Assmann (1954, 1970) ainsi que d'autres auteurs (Schutz, 1990), ont montré que pour une essence donnée et à un âge donné, il existe une surface terrière optimale, permettant d'obtenir le maximum de productivité (figure 3), ceci pour un même type de station.

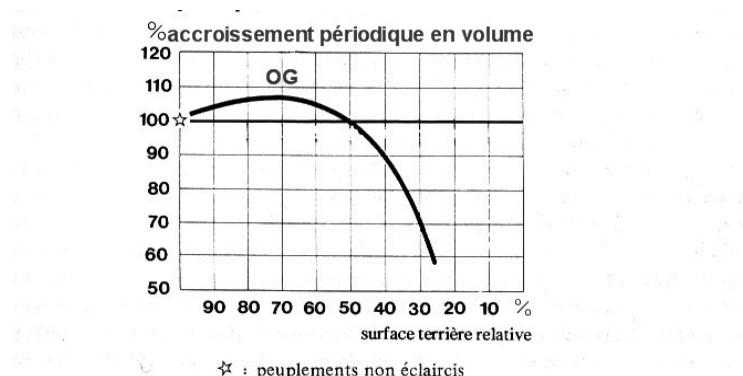


Figure 3 : Relation entre la productivité (mesurée par l'accroissement périodique en volume) et la densité (G) d'un peuplement (Schutz J-Ph, 1990). OG représente la densité permettant d'obtenir la productivité optimale.

La forme de ces courbes productivité-densité est influencée par l'âge : pour les peuplements âgés, l'optimum se déplace vers la gauche et sur les stations les plus fertiles, l'optimum se trouve à un niveau plus élevé de productivité relative (par rapport à un peuplement non éclairci). Au delà d'une certaine réduction de la densité, la productivité a tendance à chuter (perte de production due à une sous-occupation de l'espace par les arbres du fait de l'espace important entre les houppiers).

Fait intéressant, pour les jeunes peuplements, l'optimum se trouve assez nettement éloigné vers la droite du graphique. Ce qui souligne l'intérêt de pratiquer des éclaircies vigoureuses dans le jeune âge, puis de réduire leur intensité dans les peuplements plus âgés (remarque valable pour des essences comme le hêtre, le chêne sessile, le pin sylvestre essences pour lesquelles on dispose d'expériences : Kennel, 1973 ; Schütz et Badoux, 1979 ; Schmidt, 1973).

Lors du bilan de trente années d'un dispositif de tests de modalités d'éclaircie de l'épicéa commun dans les Ardennes belges, Balleux P. et Ponette Q.(2006) ont montré que la PTV était finalement peu affectée pour une large gamme de traitements. Une sylviculture dynamique de l'épicéa, basée sur des accroissements sur le rayon d'environ 4 mm (2,5 cm de circonférence), qui n'implique pas une diminution significative des qualités technologiques du bois, est donc tout à fait justifiable de ce point de vue. D'autant plus qu'une sylviculture dynamique permet de raccourcir les révolutions, d'améliorer la stabilité des peuplements (H/D) et d'obtenir des produits d'éclaircies de plus grosse dimension, plus facilement vendables. Cet objectif est rencontré en maintenant la surface terrière des pessières entre 35 m²/ha avant éclaircie et 30m²/ha après éclaircie.



Figure 4 – Évolution de la production totale en volume (m^3/ha) des différents traitements et du témoin (dispositif de Libin, 1970 à 2000, 23 à 53 ans).

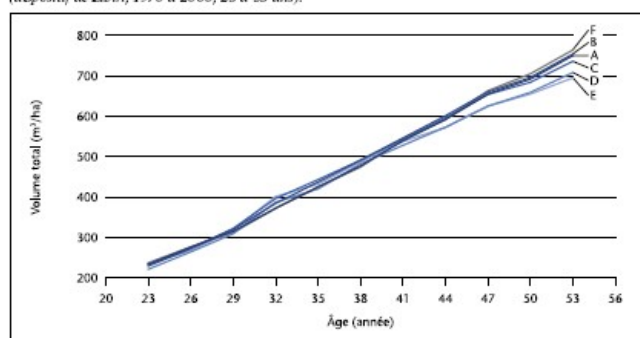
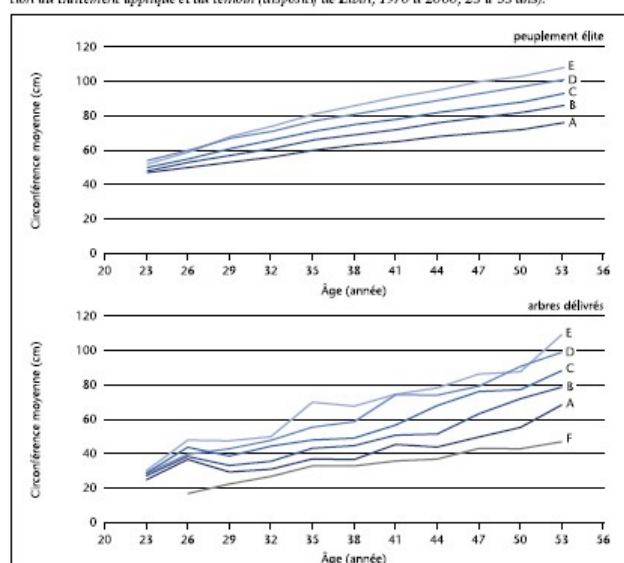


Figure 3 – Évolution de la circonférence moyenne (cm) du peuplement élite et des arbres délivrés en fonction du traitement appliqué et du témoin (dispositif de Libin, 1970 à 2000, 23 à 53 ans).



B. Intérêt des courbes de productivité

La hauteur dominante atteinte à un âge donné permet de fixer les **niveaux de productivité** ou encore de classer les peuplements selon leurs potentialités productives. Chaque niveau est lui-même représenté par la courbe de croissance de la hauteur dominante en fonction de l'âge des peuplements (voir figure 5). L'intérêt des courbes de productivité est de pouvoir situer les peuplements dans des classes de productivité.

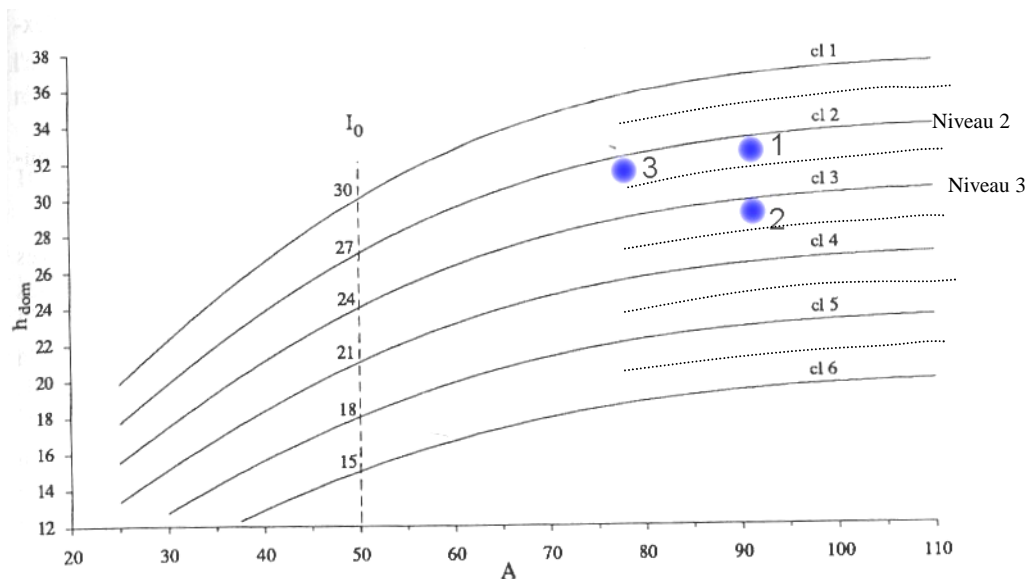


Figure 5 : Courbe de productivité établies pour l'épicéa commun dans les Ardennes belges (Dagnelie P., Rondeux J. et al, 1988). I₀ = indice de productivité (site index) : hauteur dominante atteinte à 50 ans .

Dans l'exemple ci dessus (figure 4), les peuplements 1 et 3 sont situés en classe 2 de productivité, cette dernière regroupant les niveaux 1,5 à 2,5 de productivité. Le peuplement 2, du même âge que le peuplement 1, est en classe 3 de productivité.

Si la relation entre la hauteur dominante et l'âge, dans le cas de peuplements homogènes équiennes, est un moyen assez pertinent de caractériser la productivité forestière, elle n'a plus guère de sens dans les peuplements d'âges multiples ou hétérogènes mélangés, à moins qu'il ne soit possible de définir ou d'isoler des unités suffisamment homogènes dont on connaît les âges. En effet, dans ceux-ci, la notion d'âge est difficilement envisageable et la croissance en hauteur dépend davantage des conditions mêmes rencontrées au sein des peuplements. Il paraît tout à fait plausible d'envisager la hauteur totale moyenne des arbres dominants arrivés à maturité ou d'une proportion des plus gros arbres (10 par hectares, par exemple), car la notion même de hauteur dominante est, dans pareille structure, beaucoup plus ambiguë.

C. Etablissement des courbes de productivité

Imaginons que l'on désire comparer la productivité de plusieurs peuplements équiennes d'une essence donnée dans une région donnée. Nous avons vu plus haut que la hauteur dominante est un bon critère de comparaison si, toutefois, l'on tient compte de l'âge des peuplements à comparer. Dès lors, deux problèmes viennent à l'esprit :

1. Comment peut-on exprimer l'évolution de la hauteur dominante en fonction de l'âge et selon différents niveaux de productivité?,
2. Comment récolter les données nécessaires?.

a) Récolte des données

Les données dendrométriques mesurées ou calculées (dont l'âge et la hauteur dominante) peuvent provenir de trois types de placettes :

- soit de **placettes temporaires** installées dans des peuplements choisis : on y effectuera les mesures qu'une seule fois et ces placettes ne seront donc pas matérialisées (par marquage des arbres faisant partie de la placette, par exemple). Le graphique traduisant l'évolution de la hauteur dominante en fonction de l'âge sera formé d'un *nuage de points*, ceux-ci n'ayant aucune liaison entre eux par le fait qu'ils caractérisent des peuplements différents (il faudra, en outre, veiller à recouvrir un maximum d'âges différents pour chaque niveau de productivité observé dans la région étudiée).
- ou de **placettes semi-permanentes** : il s'agira de suivre les peuplements pendant un laps de temps déterminé (5 à 15 ans par exemple). Le graphique sera alors constitué de *fragments de courbes de croissance* .
- soit de **placettes permanentes** : celle-ci seront mesurées à plusieurs reprises et matérialisées. Le graphique sera alors formé de *courbes de croissance continues* (figure 7) et l'allure générale de la croissance en hauteur sera beaucoup mieux précisée. Cette dernière méthode étant difficilement réalisable en pratique, on lui préférera souvent celle de **l'analyse de tiges** (voir chapitre 8) : cette technique consiste à retracer l'évolution de la croissance d'arbres au cours du temps. Les arbres-échantillons pris seront des tiges dominantes, abattues au sein de chaque placettes.

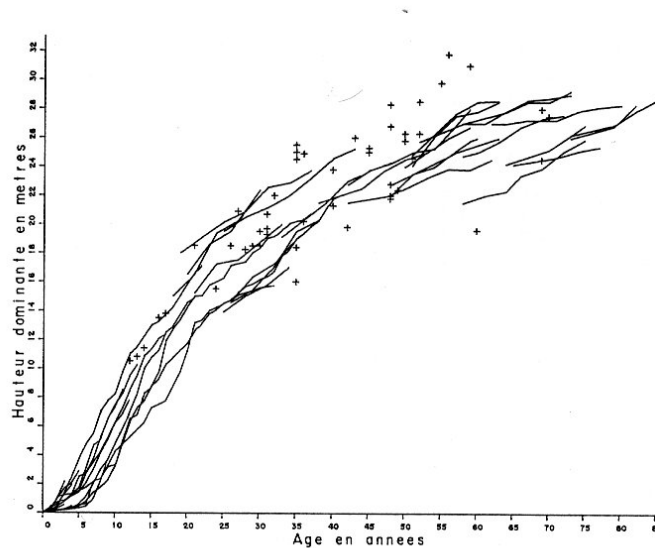


Figure 6 : Construction des courbes de productivité pour le frêne commun dans le Condroz belge (Claessens H. et al., 1992). Les données proviennent de 27 placettes semi-permanentes, 48 placettes temporaires et 10 analyses de tiges.

b) Fixation des différents niveaux de productivité

Les **niveaux de productivité** de référence (**site index**) correspondent généralement à des valeurs de **hauteurs dominante atteinte à un âge déterminé**. Dans ce cas, on détermine des **classes de productivité (site class)** correspondants à des intervalles égaux de hauteur dominante à un âge fixé (figure 7).

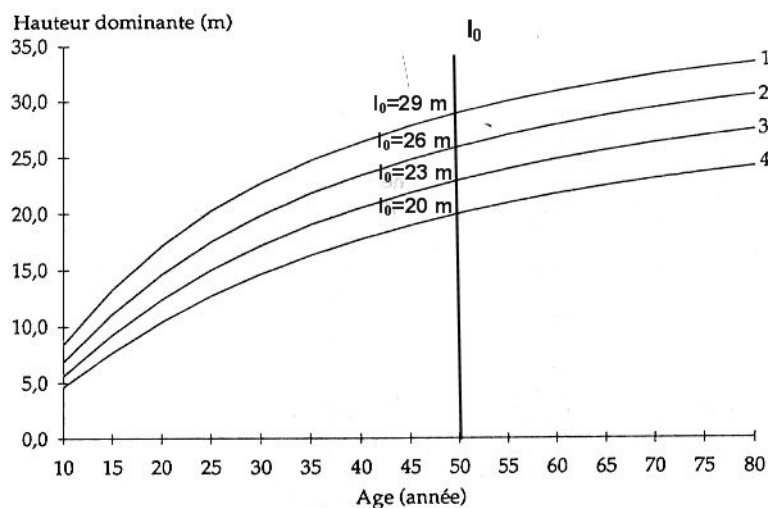


Figure 7 : Courbes de productivité (site index curves) établies pour le frêne commun dans le Condroz belge (Claessens H. et al., 1992). I_0 représente l'indice de productivité de référence (à l'âge de 50 ans) pour chaque courbe de productivité.

On peut aussi envisager des intervalles de classes inégaux en hauteur dominante à l'âge de référence si l'on choisit comme critère de détermination des niveaux de productivité l'accroissement moyen annuel maximum en volume (figure 8).

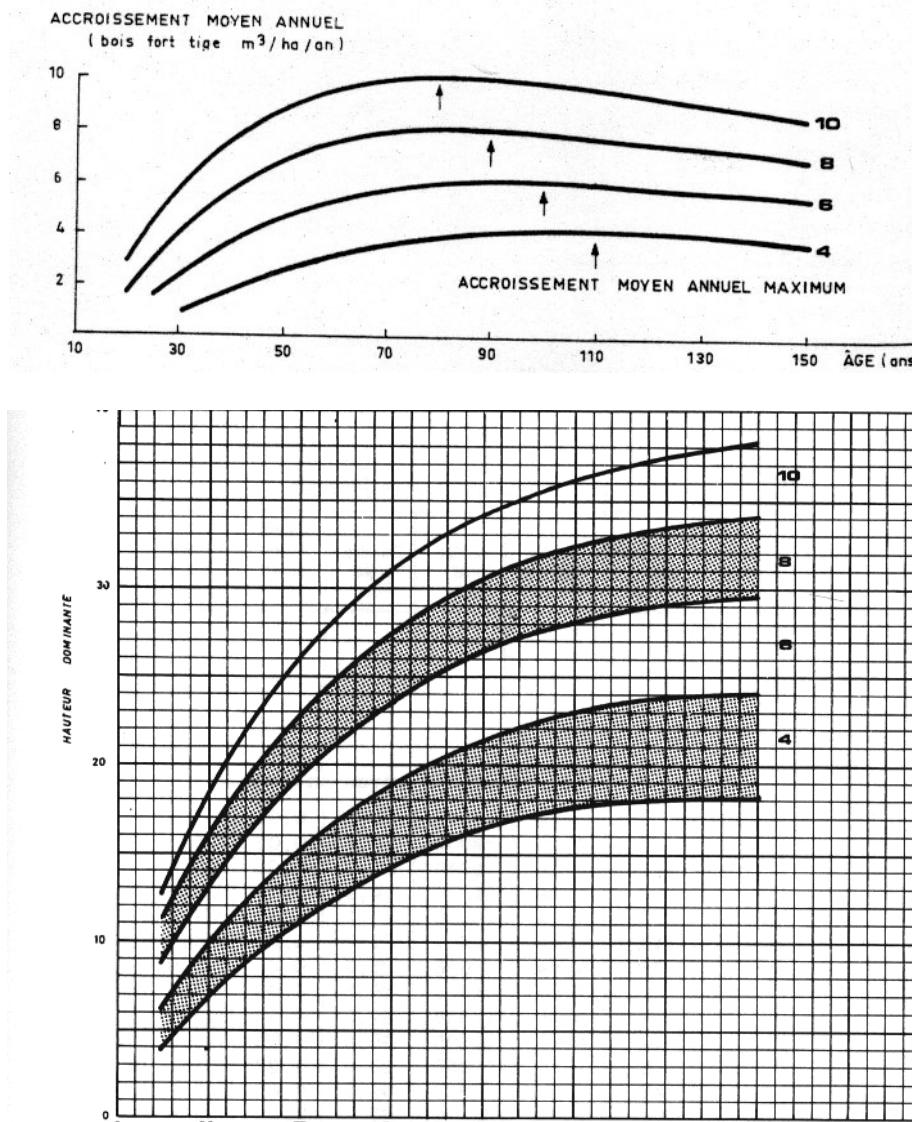


Figure 8 : Courbes de productivité anglaises (site index curves) valables pour le hêtre en Haute Normandie – hautes futaies équiennes (Hamilton et Christie., 1971). Le chiffre en gras à droite représente la valeur du maximum de l'accroissement moyen annuel en volume.

c) Matérialisation des courbes de productivité

L'étude de l'établissement des courbes de productivité, traduisant l'évolution de la hauteur dominante en fonction de l'âge à travers toutes les classes de productivité est complexe. Toutefois, signalons sommairement deux groupes de méthodes :

- **méthodes graphiques** : il s'agira par exemple de tracer trois courbes représentant le mieux possible l'évolution moyenne que suggèrent :
 1. les points du bord inférieur du nuage,
 2. les points du bord supérieur du nuage,
 3. l'allure générale moyenne du nuage.

On peut ensuite, sur cette base, tracer d'autres courbes intermédiaires.

- **méthodes mathématiques ou statistiques** : il faudra veiller à la qualité de l'ajustement.

d) Remarques

Les courbes liant la hauteur dominante à l'âge ne sont pas toujours caractéristiques de la productivité de la station ou du milieu étudié. A cet égard, les différents cas suivants méritent d'être signalés :

- l'effet négatif d'une compétition trop forte ou trop faible sur les accroissements en hauteur,
- l'incidence de l'exploitation plus rapide des peuplements plus fertiles sur la représentativité des courbes de productivité,
- la mauvaise qualité de l'ajustement du modèle mathématique ou statistique à la croissance réellement observée,
- l'influence du traitement passé sur la croissance en hauteur (cas d'un taillis-sous-futaie, par exemple),

De plus, ces courbes peuvent évoluer au cours du temps :

- effets de l'amélioration génétique des arbres et du choix des provenances ;
- par l'amélioration ou la diminution de la productivité en conséquence des changements climatiques globaux annoncés.
- l'amélioration ou la diminution de la productivité au cours des générations successives d'une essence déterminée et un site donné (exemples : sur sols pauvres ardennais, il est possibles d'observer des baisses d'une classe de productivité sur deux générations successives d'épicéa commun).

II. LES TABLES DE PRODUCTION

2.1. DEFINITION ET OBJECTIFS

Les tables de production sont des tableaux de chiffres (figure 9) éventuellement mis sous une forme graphique ou mathématique. Dans ce dernier cas, il s'agira d'un enchaînement d'équations exprimant les liaisons existant aussi bien entre une caractéristique donnée et l'âge du peuplement ou entre les caractéristiques elles-mêmes.

Par exemple :

$$\begin{aligned} N &= f(H_{dom}) \\ G &= f(C_g, N) \\ V &= f(G, H_{moy}, N) \end{aligned}$$

Les tables traduisent, pour une essence donnée, le développement observé ou probable au cours du temps, soit de 5 en 5 ans, ou de 10 en 10 ans, de **peuplements homogènes** en principe **purs, équiennes, normalement denses**, sans vides ni excédents de matériel.

CLASSE DE FERTILITE 3

30 m de hauteur dominante à 50 ans **Tables de production du douglas (Rondeux J. et al,1996)**

TYPE DE TRAITEMENT C

2,00 cm d'accroissement moyen périodique en circonférence moyenne quadratique pour la classe 3

Age	HDOM	AVANT ECLAIRCIE				ECLAIRCIE				APRES ECLAIRCIE				ACCROISSEMENTS					Age
		N	G	CG	V	N	G	CG	V	N	G	CG	V	ACG	AMG	ACV	AMV	PTV	
20	13,3	2 419	26,9	37	163	640	5,3	32	36	1 779	21,6	39	127	1,98	1,35	20,1	8,2	163	20
25	16,8	1 779	31,5	47	228	499	7,1	42	51	1 279	24,4	49	177	1,73	1,47	20,0	10,5	264	25
30	20,1	1 279	33,1	57	277	310	6,2	50	51	969	26,8	59	226	1,52	1,52	19,4	12,1	363	30
35	23,0	969	34,4	67	323	206	5,6	59	51	763	28,8	69	272	1,36	1,52	18,8	13,2	461	35
40	25,6	763	35,6	77	366	145	5,2	67	51	619	30,4	79	315	1,27	1,50	18,4	13,9	555	40
45	27,9	619	36,7	86	407	106	4,7	75	50	513	32,0	89	357	1,15	1,47	17,6	14,4	647	45
50	30,0	513	37,7	96	445	80	4,4	84	50	433	33,3	98	396	1,08	1,44	17,1	14,7	735	50
55	31,9	433	38,7	106	481	62	4,1	91	48	371	34,6	108	433	1,00	1,41	16,4	14,9	821	55
60	33,6	371	39,6	116	515	49	3,8	98	46	322	35,8	118	468	0,92	1,37	15,6	15,0	903	60
65	35,1	322	40,4	126	546	40	3,6	107	46	283	36,8	128	500	0,88	1,30	15,2	15,1	981	65

Figure 9 : Extrait des tables de production belges relatives au douglas (Rondeux J. et al.,1996)

C3 = table pour une sylviculture « moyenne », classe 3 de productivité.

Chaque table se caractérise, en outre, par :

- l'essence et la région pour laquelle elle a été construite,
- le nom de l'auteur (DECOURT, DUPLAT, HAMILTON et CHRISTIE, DAGNELIE,...),
- l'année de sa publication,
- le type de traitement pratiqué (intensité des éclaircies,...) A noter ici que beaucoup de tables sont uniquement valables pour une sylviculture moyenne, reflet de celle pratiquée dans les peuplements ayant servi à leur construction, mais qu'il existe aussi des tables de production à sylviculture variable (par exemple : tables de production pour l'épicéa commun en Ardennes belges de Dagnelie P., Rondeux J. et al, 1988).

De façon générale, les tables de production fournissent, par unité de surface (hectare) et par niveau de productivité, les valeurs des caractéristiques dendrométriques suivantes :

- hauteur moyenne ou dominante,
- nombre de bois,
- surface terrière,
- diamètre /circonférence de l'arbre de surface terrière moyenne ou diamètre moyen / circonférence moyenne arithmétique,
- volume bois fort de la tige ou, plus rarement, du bois fort total.

Ces diverses caractéristiques concernent aussi bien le peuplement principal (arbres sur pied) que le peuplement accessoire (arbres prélevés en éclaircie) et permettent de calculer plusieurs caractéristiques du peuplement total (peuplement principal + peuplement accessoire), à savoir :

- la production totale en volume,
- l'accroissement courant annuel en volume et en surface terrière,
- l'accroissement moyen annuel en volume et en surface terrière.

2.2. METHODES DE CONSTRUCTION DES TABLES DE PRODUCTION : l'exemple de la méthode « DECOURT » (1972)

A. Hypothèses générales de construction

Les tables de productions de DECOURT (figure 10) ont généralement été construites sur les hypothèses fondamentales suivantes :

- la production à l'unité de surface d'un peuplement équiennne est en corrélation étroite avec sa hauteur dominante, et la production totale en volume atteinte pour une hauteur dominante donnée n'est pas influencée par le nombre d'années requis pour atteindre cette hauteur. Autrement dit, ***on suppose que la relation entre la production totale et la hauteur dominante est unique***. Ceci étant une interprétation de la loi d'EICHHORN.
- la croissance en hauteur n'est pas influencée par la sylviculture. De plus, l'accroissement en surface terrière et en volume d'un peuplement équiennne reste identique dans un vaste éventail de modes d'éclaircie différents (ce qui est, nous l'avons vus plus haut, contestable).

OUEST DU MASSIF CENTRAL

	ECLAIRCIES						Production totale (m³)	Accroissement courant (m³/an)	Accroissement moyen (m³/an)	Age ans
	Nombre de liges	Circonférence moyenne (cm)	Volume arbre moyen (m³)	Volume (m³)	Volumes totaux (m³)	% enlevé en éclaircie				
CL.1	241	(27)	(0,09)	(23)	23	11,2	205	(20,5)	10,2	20
	315	32	0,06	19	42	14,1	301	19,2	12,0	25
	239	36	0,10	23	66	16,6	397	19,4	13,2	30
	180	41	0,16	28	94	19,0	495	19,1	14,1	35
	143	44	0,21	30	125	21,1	589	18,2	14,7	40
	119	48	0,25	30	155	22,8	677	17,5	15,0	45
	91	51	0,36	33	188	24,6	764	16,9	15,2	50
	80	54	0,40	32	220	26,0	846	16,1	15,3	55
	64	57	0,52	33	254	27,4	926	15,4	15,4	60
	57	60	0,56	32	286	28,5	1001	14,8	15,3	65
CL.2	244	(24)	(0,05)	(13)	(13)	8,9	144	(16,4)	7,2	20
	338	28	0,04	14	26	11,8	223	16,0	8,9	25
	260	32	0,06	17	43	14,2	305	16,2	10,1	30
	201	36	0,10	20	63	16,3	386	16,1	11,0	35
	154	39	0,15	23	86	18,4	466	15,4	11,6	40
	131	42	0,17	22	108	20,0	540	14,7	12,0	45
	100	45	0,25	25	133	21,6	613	14,0	12,2	50
	88	48	0,26	23	156	22,9	680	13,3	12,3	55
	69	51	0,36	25	181	24,2	746	12,6	12,4	60
	63	53	0,36	23	204	25,3	806	11,9	12,4	65
CL.3	265	(19)	(0,02)	(5)	(5)	6,0	92	12,2	4,5	20
	351	24	0,02	9	14	9,3	155	13,0	6,2	25
	223	28	0,04	12	26	11,8	222	13,2	7,4	30
	166	31	0,06	13	39	13,6	288	13,2	8,2	35
	141	34	0,10	16	56	15,6	355	12,8	8,8	40
	110	37	0,11	16	71	17,1	416	12,1	9,2	45
	97	40	0,16	17	89	18,6	476	11,4	9,5	50
	74	42	0,16	16	105	19,7	531	10,7	9,6	55
	74	44	0,24	18	123	21,0	584	10,2	9,7	60
	67	46	0,24	16	139	22,0	633	9,3	9,7	65

EPICÉA COMMUN (DECOURT-1972)

	PEUPELEMENT APRÈS ÉCLAIRCIE							Volume (m³)
	Hauteur dominante (m)	Hauteur moyenne (m)	Nombre de liges	Circonférence moyenne (cm)	Circonférence dominante (cm)	Volume arbre moyen (m³)	Surface terrière (m²)	
CL.1	20	14,2	1886	44	68	0,10	29,5	182
	25	16,9	1571	52	78	0,16	33,7	258
	30	19,4	1332	59	87	0,25	37,1	331
	35	21,5	1152	66	95	0,35	40,0	400
	40	23,5	1009	73	103	0,46	42,4	464
	45	25,2	890	79	110	0,59	44,4	522
	50	26,8	799	85	117	0,72	46,2	576
	55	28,3	719	91	124	0,87	47,8	626
	60	29,6	655	97	130	1,02	49,3	672
	65	30,8	598	103	137	1,19	50,7	715
CL.2	20	12,2	2159	39	61	0,06	26,2	131
	25	14,8	1821	46	70	0,11	30,4	197
	30	17,0	1561	52	78	0,17	33,9	261
	35	19,1	1360	58	86	0,24	36,7	322
	40	20,9	1206	64	93	0,31	39,2	380
	45	22,5	1075	69	99	0,40	41,2	492
	50	24,0	975	74	105	0,49	43,0	480
	55	25,3	887	79	111	0,59	44,5	524
	60	26,5	818	84	116	0,69	45,9	565
	65	27,6	755	88	121	0,80	47,1	602
CL.3	20	10,2	2454	34	55	0,03	22,7	86
	25	12,6	2103	40	63	0,07	26,8	141
	30	14,7	1826	46	70	0,11	30,3	196
	35	16,6	1603	51	77	0,15	33,2	248
	40	18,3	1437	56	83	0,21	35,7	299
	45	19,8	1296	60	88	0,26	37,7	345
	50	21,1	1186	65	94	0,33	39,5	387
	55	22,3	1089	69	98	0,39	40,9	426
	60	23,4	1015	72	103	0,45	42,3	461
	65	24,4	948	76	107	0,52	43,4	493

Figure 10 : Extrait des tables de production de Decourt (1972) relatives à l'épicéa commun dans l'Ouest du Massif Central. (Corrèze, Creuse, Haute Vienne). Les éclaircies pratiquées sont par le bas, d'intensité modérée. Les plantations sont réalisées à 2m*2m.

B. Récoltes des données et établissement de relations mathématiques entre les caractéristiques dendrométriques des peuplements

Les données sont récoltées dans des *placettes temporaires* (par la force des choses car il n'existait pas à cette époque de placettes permanentes destinées à la récolte de données destinées à la construction de tables de production), suffisamment nombreuses et représentatives d'un maximum de conditions stationnelles et d'âges différents. L'originalité de cette méthode réside donc dans l'estimation de la production totale à partir de placettes temporaires, par addition du volume sur pied et des volumes estimés des éclaircies (en se basant sur une *sylviculture* « *moyenne* »)

Ensuite, à partir des hypothèses de construction citées ci-dessus et des données récoltées sur le terrain, on établit des relations entre les différentes caractéristiques dendrométriques :

$$\begin{array}{ll} N = f(H_{dom}) & (1) \\ \Delta N = f(H_{dom}) & (2) \\ H_g = f(H_{dom}, N) & (3) \\ C_g = f(H_g, N) & (4) \end{array} \qquad \begin{array}{ll} G = f(C_g, N) & (5) \\ V = f(H_g, G) & (6) \\ V_e = f(C_g) & (7) \\ \dots & \end{array}$$

Avec :

C_g = circonférence de l'arbre moyen après éclaircie ;
 H_g et H_{dom} = Hauteur de l'arbre moyen et hauteur dominante après éclaircie ;
 N = nombre de tiges après éclaircie ;
 ΔN = nombre de tiges de l'éclaircie ;
 G = surface terrière après éclaircie ;
 V = volume après éclaircie ;
 V_e = volume de l'éclaircie.

Ces relations vont servir à établir *une table de base*, qui ne dépend que de la hauteur dominante et est applicable à toutes les classes de productivité. Cette table de base est donc l'expression des relations établies ci-dessus caractérisant le peuplement et dans lesquelles l'âge n'intervient pas.

C. Etablissement des courbes de productivité

DECOURT fait l'hypothèse que la courbe moyenne du nuage de points (H_{dom} ; Age) peut être considérée comme une *courbe moyenne de croissance* en hauteur pour *l'essence*, le *niveau de productivité moyen*, et la *région considérée*.

Les autres courbes de productivité sont tracées à partir de la courbe moyenne, les niveaux de productivité étant déterminé sur base du calcul de *l'accroissement moyen annuel maximum en volume*⁷ (*indice de productivité*).

⁷ Pour établir des niveaux de productivité au moyen de ce critère, la fixation d'une série de hauteurs dominantes à un âge de référence donné sert d'intermédiaire ; par calculs successifs de plusieurs tables correspondant à des séries de hauteurs, on déduit chaque fois la valeur de l'accroissement moyen en volume. Il suffit ensuite, par interpolations et approximations successives, de mettre en évidence les valeurs de hauteur dominante qui correspondent à des valeurs prédéterminées de cet accroissement moyen maximum.

D. Calcul des tables de production

Il s'agit ici d'abord d'établir la relation entre la hauteur dominante d'une part, l'âge A et l'indice de productivité I :

$$\mathbf{Hdom = f (A, I)}$$

Cette relation caractérise la productivité et va être ensuite réinjectée dans les relations trouvées plus haut (relations 1 à 8). Cette opération permettra d'exprimer toutes les grandeurs caractérisant le peuplement en fonction de l'âge et de l'indice de productivité, et donc de construire la table de production proprement dite (figure 9).

Les premières tables de production « provisoires » construites de cette manière ont pu être validées grâce à la remesure de certaines placettes temporaires initiales et grâce à des analyses de tiges. Les segments de courbe suivaient relativement bien les courbes obtenues avec les seules placettes temporaires.

E. Critiques de la méthode DECOURT

Outres les réserves exprimées quant aux hypothèses de construction énoncées ci-dessus, il faut encore signaler les suivantes (Bouchon J. et Parde J., 1988) :

- Les peuplements les plus fertiles sont exploités plus précocement que les autres ; aussi, le nuage de points (Hdom ; Age) obtenu avec les seules placettes temporaires présente souvent un déficit important de ces peuplements pour les âges élevés. Les courbes obtenues de cette manière présentent donc un ralentissement de la croissance en hauteur plus fort qu'en réalité.
- Dans certaines régions, il y a une relation moyenne entre l'âge des peuplements et la fertilité ; par exemple, dans le Beaujolais, les douglas les plus âgés ont été plantés sur les premiers terrains abandonnés par les agriculteurs ; or, ces terrains sont moins bons que ceux abandonnés et reboisés récemment. Les peuplements âgés sont donc en moyenne moins fertiles que les peuplements les plus jeunes. S'ajoute à ce phénomène l'amélioration génétique du matériel planté.
- Les tables de production ainsi faites ne présentent qu'une sylviculture moyenne, le plus souvent assez traditionnelle.

2.3. LIMITES DE VALIDITE DES TABLES DE PRODUCTION

L'utilisation de tables de production ne peut être valablement envisagée qu'en tenant compte de l'existence de diverses limitations parmi lesquelles il convient de noter :

- la nature des tables de production,
- le territoire de croissance ou les conditions de fertilité,
- la nature et la structure des peuplements concernés,
- le traitement sylvicole pratiqué.

A. La nature des tables de production

Par définition, les tables de production contiennent des *valeurs moyennes* valables pour des aires géographiques relativement importantes. Dans la plupart des cas, ignorant les variations locales, les tables doivent être considérées à leur juste valeur : ***un point de repère et non une « Bible »***.

De plus, dans le **contexte des changements climatiques** futurs, impliquant des changements de productivité des peuplements, ces tables nécessitent d'être recalibrées périodiquement. Actuellement, on observe des sous estimations fréquentes de la productivité des peuplements lorsque l'on emploie des tables datant des années 1970 à 1990.

B. Limitations d'ordre géographique

L'allure de la croissance d'une essence peut varier très fortement avec les *conditions climatiques*. Ainsi, l'analyse de plusieurs tables de production européennes consacrées à une même essence montre que des productions différentes peuvent être observées pour une même hauteur dominante, ce qui tend par conséquent à nuancer la portée de la loi d'EICHHORN (paragraphe 1.2. A).

Il semble bien que cela provienne des différences qui existent entre le *rythme de croissance* en hauteur et le rythme de croissance en diamètre. Si les deux elongations débutent pratiquement ensemble au printemps, la croissance en hauteur porte sur une période de temps relativement courte et assez constante (de l'ordre de 2 mois) alors que la croissance en diamètre dure plus longtemps et est pratiquement liée aux caractéristiques de la *saison de végétation*.

De plus, rappelons que l'hypothèse d'une relation unique entre la production totale d'un peuplement et la hauteur dominante n'est pas, au sens strict, très acceptable.

Il faut donc, de toute évidence, se montrer particulièrement prudent dans l'utilisation de tables de production en dehors des zones qui ont servi à leur élaboration.

C. Limites liées à la nature et à la structure des peuplements concernés

Les tables de production classiques concernent, en principe, des peuplements *monospécifiques équiennes* ou, pour élargir ce concept, des peuplements au sein desquels les différents âges des arbres se situent dans une *fourchette ne dépassant pas 5 ans*.

Si les peuplements mélangés se prêtent mal à l'élaboration de tables de production fiables, en raison de conditions de croissance complexes, liées entre autres à des problèmes de compétition, on peut cependant admettre, dans certains cas, l'existence « fictive » d'un ensemble de petits peuplements auxquels on appliquera les tables.

Très souvent, un peuplement sera considéré comme pur si l'essence étudiée est présente à raison de *plus de 80 %* en nombre de tiges et en surface terrière.

D. Limites liées au traitement

Pour pouvoir être utilisées correctement en pratique, la table doit aussi *préciser le type de traitement adopté*, en indiquant, par exemple, à l'utilisateur le type et l'intensité des éclaircies (exemple à la figure 11 ci-dessous).

-1971)* NORD-OUEST

Age ans	ÉCLAIRCIES						Accroissement courant (m³/an)	Accroissement moyen (m³/an)	Age ans
	Nombre de tiges	Circonférence moyenne (cm)	Volume moyen (m³)	Volume (m³)	Volumes totaux (m³)	% enlevé en éclaircie	Production totale (m³)		
20	1272	7,6	0,02	25	26	23,4	56	10,3	2,8
25	1062	8,9	0,03	35	61	35,5	111	11,7	4,4
30	604	10,7	0,06	35	96	40,5	172	12,6	5,7
35	351	12,8	0,10	35	131	43,1	236	13,2	6,8
40	220	15,4	0,16	35	166	44,6	303	13,5	7,6
45	142	18,3	0,25	35	201	45,7	372	13,6	8,3
50	98	21,4	0,36	35	236	46,5	440	13,5	8,8
55	70	24,6	0,50	35	271	47,4	507	13,2	9,2
60	53	27,7	0,66	35	306	48,3	572	12,7	9,5
65	40	30,9	0,87	35	341	49,2	634	12,1	9,8
70	33	34,1	1,06	35	376	50,3	693	11,5	9,9
75	27	37,3	1,28	34	410	51,3	748	10,8	10,0
80	21	40,3	1,54	33	443	52,2	800	10,1	10,0
85	17	43,4	1,81	31	474	53,0	848	9,4	10,0
90	15	46,3	2,08	30	504	53,8	894	8,9	9,9
95	12	49,0	2,35	29	533	54,4	937	8,4	9,9
100	11	51,7	2,64	28	561	55,1	978	8,0	9,8
105	9	54,2	2,92	27	588	55,7	1017	7,6	9,7
110	8	56,8	3,22	26	614	56,3	1055	7,2	9,6
115	7	59,3	3,56	25	640	57,0	1090	6,8	9,5
120	7	61,6	3,85	25	665	57,6	1123	6,4	9,4
125	6	64,0	4,22	25	690	58,3	1154	6,1	9,2
130	5	66,3	4,46	24	714	59,0	1183	5,7	9,1
135	5	68,6	4,74	24	738	59,6	1211	5,4	9,0
140	5	71,1	5,09	23	761	60,3	1237	5,2	8,8
145	4	73,3	5,37	23	784	61,0	1263	4,9	8,7
150							1286	4,7	8,6

(*) Les classes de productivité sont basées sur l'accroissement moyen atteint à 100 ans.

HÊTRE (HAMILTON-CHRISTIE)

Age ans	PEUPELEMENT APRÈS ÉCLAIRCIE						Volume (m³)
	Hauteur dominante (m)	Hauteur moyenne (m)	Nombre de tiges	Diamètre moyen (cm)	Volume moyen (m³)	Surface terrière (m²)	
20	11,5	-	4672	7,8	0,01	21,9	56
25	14,3	-	2902	9,7	0,03	21,3	85
30	17,0	-	1840	12,0	0,06	20,8	111
35	19,3	-	1236	14,9	0,11	21,5	140
40	21,3	-	886	18,1	0,19	22,9	172
45	23,0	-	667	21,5	0,31	24,3	206
50	24,4	-	526	25,0	0,45	25,8	239
55	25,7	-	428	28,5	0,63	27,3	271
60	26,9	-	358	32,0	0,84	28,7	301
65	28,0	-	305	35,4	1,08	29,9	328
70	28,9	-	265	38,6	1,33	31,1	352
75	29,8	-	232	41,9	1,61	32,0	372
80	30,6	-	205	45,2	1,90	32,8	390
85	31,3	-	183	48,3	2,21	33,6	405
90	32,0	-	166	51,4	2,53	34,4	420
95	32,5	-	152	54,3	2,86	35,0	433
100	33,0	-	139	57,1	3,20	35,7	445
105	33,5	-	129	59,9	3,55	36,2	456
110	33,9	-	119	62,6	3,90	36,7	466
115	34,3	-	111	65,3	4,27	37,2	475
120	34,7	-	104	67,9	4,64	37,6	482
125	35,0	-	97	70,4	5,01	37,9	488
130	35,3	-	92	72,9	5,38	38,3	493
135	35,5	-	86	75,3	5,75	38,5	497
140	35,7	-	81	77,8	6,14	38,7	500
145	36,0	-	77	80,2	6,53	38,8	502
150	36,1	-	73	82,7	6,91	38,9	501

Classe 10 - Accroissement moyen maximum : 10 m³/ha/an

CLASSE 10

Figure 11 : Extrait des tables anglaises de production de Hamilton et Christie (1971) relatives au hêtre, construite pour l'Angleterre mais utilisable en Normandie dans les hautes futaies (forêt d'Eawy par exemple). Les éclaircies pratiquées sont mixtes et d'intensité modérée (en coupe d'amélioration, prélèvement de 70 % de l'accroissement moyen annuel en volume atteint au moment de l'éclaircie).