

CROISSANCE. ET PRODUCTION DU PIN MARITIME

OBJECTIFS ET METHODES

Par
B. LEMOINE

I.N.R.A., Laboratoire de Sylviculture et d'Ecologie de la Pinède
Landaise - Domaine de l'Hermitage - PIERROTON- 33610 CESTAS. FRANCE.-

1. Introduction.

Notre objectif est de construire une deuxième génération de Tables de Production. On recherche pour cela des lois de croissance en hauteur et en circonférence qui soient les plus générales possible. Le but final est de tenir compte, non seulement des différents types d'éclaircies, mais aussi des gains de production dus à la fertilisation phosphorée et à l'amélioration génétique.

Les modèles construits sont

situés au niveau du peuplement,
dendrométriques on n'utilise pas de variables extérieures à l'arbre, moyen ou dominant,
statistiques on cherche à réduire et à caractériser la variabilité observée,
déterministes on choisit les variables expliquant les paramètres principaux du peuplement de façon à rendre compte de certains effets - concurrence...

Ces modèles rendent compte en son entier du cycle de production du Pin maritime - de 10 à 60 ans -. C'est pour cette raison que nous n'étudions ici que les peuplements de sylviculture classique - non fertilisés -.

2. Matériel et méthodes.

Le matériel se compose

d'une part d'analyses de tiges de 33 peuplements dominants (10 à 15 tiges par peuplement)

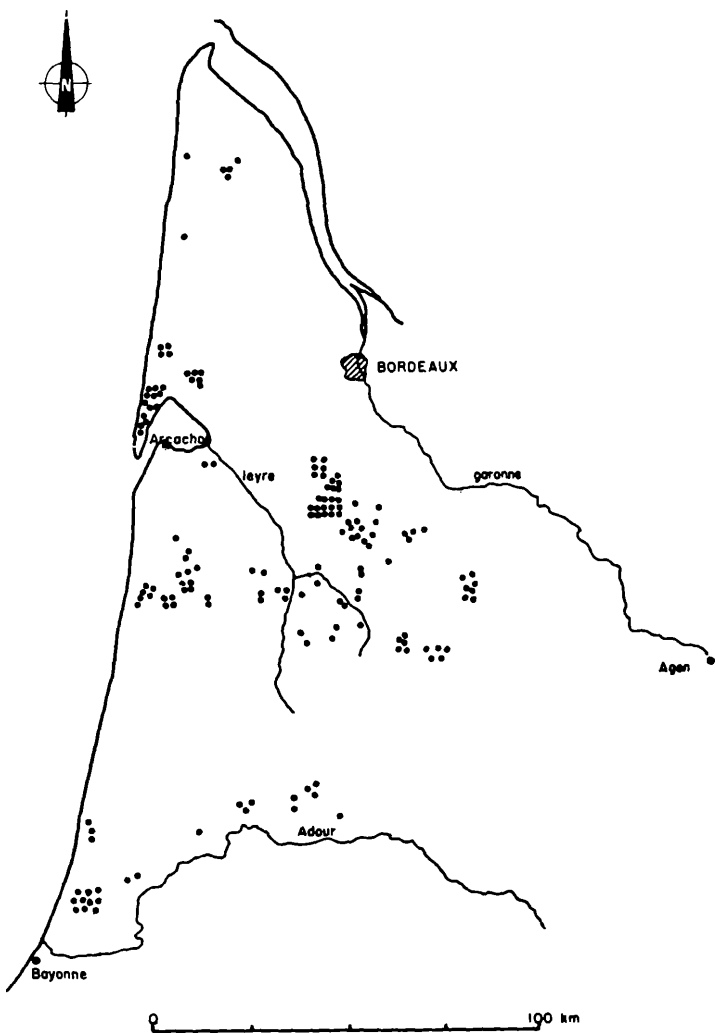


Figure 1 Placettes de Pin maritime dans les Landes de Gascogne
Plots of Maritime Pine in the Landes of Gascogne.

d'autre part de 157 placettes temporaires ayant fourni au minimum chacune une donnée d'accroissement pendant une période de quelques années exempte d'éclaircies 33 de ces placettes ont fourni 3 données d'accroissements successifs la carte de la figure 1 montre la répartition de ces placettes dans le massif forestier landais.

Les techniques de calcul sont

d'une part l'analyse factorielle en composantes principales
d'autre part les analyses de régression multiple associées aux analyses de variance et de covariance.

3. Résultats.

3.1. La croissance en hauteur, dominante.

3.11. Types de variabilité.

Nous résumons et illustrons ici un travail récent (LEMOINE B.1981)

On a étudié les 10 accroissements moyens annuels successifs en hauteur dominante de 0 à 50 ans de 33 observations peuplements. Les données relatives à ces 10 variables, $X(A) = \frac{\Delta H\phi}{\Delta A}$ ($H\phi$ = hauteur dominante ; A = âge) et aux 33 "individus", sont traitées par l'analyse factorielle en composantes principales. Il en résulte 3 composantes significatives, Z_i , assimilables à des paramètres non corrélés entre eux.

On revient aisément aux variables initiales par l'intermédiaire des "vecteurs propres" de l'analyse. On obtient une équation assimilable à une équation de régression, d'où le modèle

$$\widehat{X}(A) = \bar{X}(A) + \beta_1(A) Z_1 + \beta_2(A) Z_2 \dots \quad (1)$$

où l'on observe que

la séquence des dix $X(A)$ génère une "courbe guide" d'accroissements,

les coefficients $\beta_i(A)$ sont également des fonctions de l'âge seul.

chaque peuplement possédant ses propres valeurs pour chaque composante Z_i se trouve ainsi modélisé.

On passe aisément aux courbes de croissance cumulée d'où le modèle

$$H\phi(A) = \sum_0^A \bar{X} + Z_1 \cdot \sum_0^A \beta_1 + Z_2 \sum_0^A \beta_2 + Z_3 \sum_0^A \beta_3 \quad (2)$$

La figure 2 rend compte de la croissance, en hauteurs réelles $H\phi(A)$, de 4 peuplements "typiques" selon l'analyse factorielle. On remarque ainsi que

le couple L, L' (2 peuplements de lande) s'oppose au couple D, D' (2 peuplements de dune littorale) les hauteurs "finales" - à partir de 40 ans - diffèrent de près de 50 % on retrouve ici la notion de "Site index" ou S I les valeurs de la première composante Z_1 sont ainsi : > 0 pour L, L' et < 0 pour D, D'

le couple L, D s'oppose au couple L', D' les vitesse de croissance initiales - jusqu'à 25 ans - sont plus fortes pour L, D que pour L', D'; par la suite - après 25 ans -, c'est le contraire qui se produit d'où des taux de croissance $\tau\phi$ (voir plus bas) pour L', D' qui deviennent très tôt supérieurs à ceux de L, D les valeurs de la deuxième composante Z_2 sont ainsi $\gg 0$ pour L, D et < 0 pour L', D'.

On met donc ainsi en évidence 2 types de variabilité indépendants l'un de l'autre, de la croissance en hauteur dominante

- le "Site index",
- la "vitesse de croissance".

3.12. Système de courbes de "Site Index".

Le taux de croissance en hauteur dominante

$\frac{\Delta H\phi}{\Delta A} \cdot \frac{1}{H\phi} = \tau\phi$ est expliqué par l'équation de régression suivante (LEMOINE B., 1982) en utilisant 267 données de placettes tempo-

$$\widehat{\tau\phi} = -0,0315 + 2,067 A^{-1} + 4,15 A^{-2} + 5,320 \cdot 10^{-4} H\phi - 1,436 H\phi A^{-2} \quad (3)$$

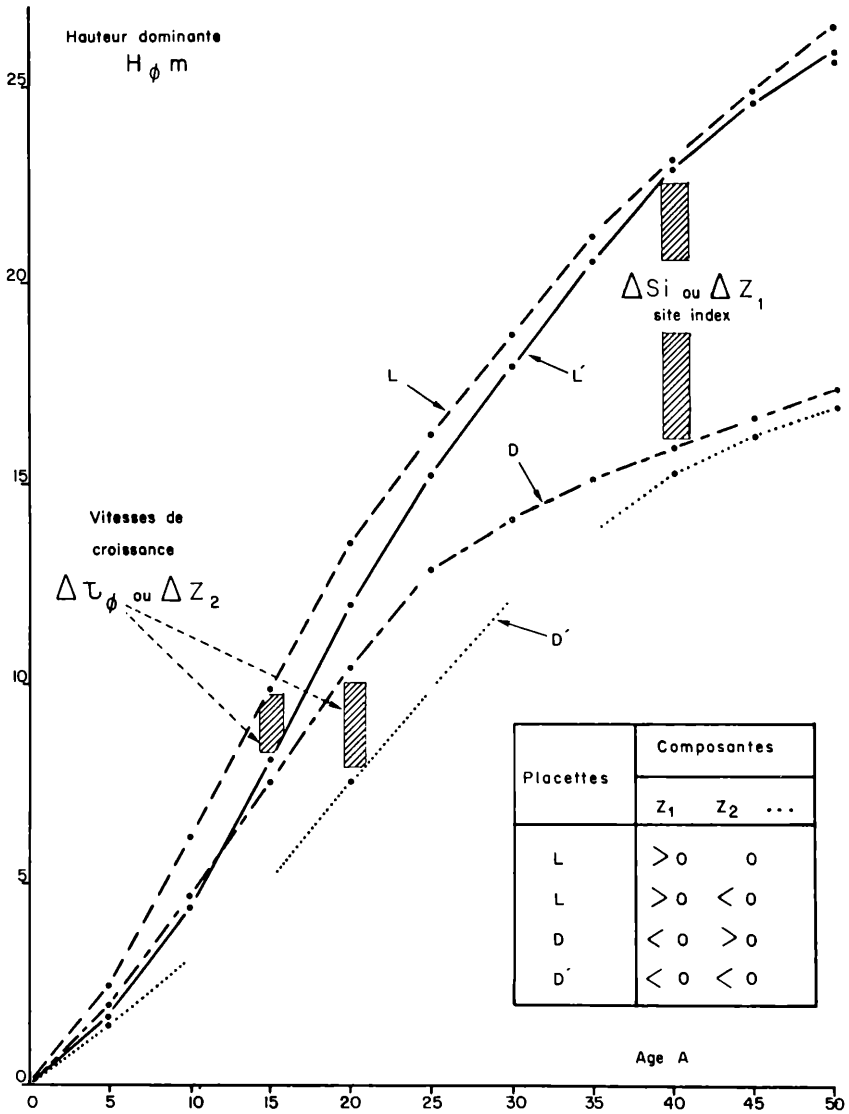


Figure 2 Croissance en hauteur dominante. Courbes réelles (4 peuplements) typiques selon l'analyse factorielle en composantes principales.

Top height growth. Real curves (4 stands) which are typical according to principal components factorial analysis.

On obtient ainsi un système de courbes de croissance à un seul paramètre, soit S I ou hauteur dominante \hat{H}_ϕ à 40 ans.

3.2. La croissance en circonférence, moyenne.

La variabilité complexe de la croissance en hauteur dominante se retrouve-t-elle intégralement dans la variabilité de la croissance en circonférence, ici la circonférence moyenne quadratique $C_{\bar{g}}$?

Nous proposons ici une démarche visant à résoudre les problèmes méthodologiques soulevés dans une tentative récente (LEMOINE B., 1982). Cette démarche a les caractéristiques suivantes

elle tient compte de l'erreur de mesure sur la croissance en hauteur

elle utilise une méthode de calcul synthétique.

La variable étudiée est le taux de croissance en circonférence moyenne $\frac{\Delta C_{\bar{g}}}{\Delta A} \cdot \frac{1}{C_{\bar{g}}} \tau_{\bar{g}}$

L'âge A considéré ici est l'âge à 1,30 m. que l'on estime, à partir de l'âge du peuplement et de sa hauteur moyenne, en utilisant l'équation (3).

3.2.1 La mesure du taux de croissance en hauteur H_ϕ .

On utilise uniquement les données des 33 placettes semi-permanentes soit 99 données. On travaille sur des corrélations simples \mathcal{R} .

On observe toute de suite que le taux de croissance en circonférence est beaucoup mieux corrélé à l'âge qu'au taux de croissance en hauteur, ainsi

$$\mathcal{R}_{\tau_{\bar{g}} \tau_{\phi}} = 0,867 \quad \text{et} \quad \mathcal{R}_{\tau_{\bar{g}} A^{-1}} = 0,932$$

On fait alors l'hypothèse que la hauteur H_ϕ est sujette à une forte erreur de mesure. Or les placettes semi-permanentes comportent 4 déterminations successives, à intervalle de 4 ans, de cette hauteur on peut donc tracer, ou calculer, le fragment de courbe de chaque placette P on effacera ainsi les irrégularités, de la courbe expériment-

tale, imputables à l'erreur de mesure. On crée ces hauteurs successives \tilde{H}_ϕ en utilisant une fonction de MITSCHERLICH à 2 paramètres (PRODAN, 1968):

$$\tilde{H}_\phi = M_p \cdot (1 - e^{-0,04 \cdot A})^{n_p} \quad (4)$$

On obtient ainsi 33 équations de régression, une pour chaque placette. Les paramètres obtenus varient selon les placettes entre les extrêmes réels ci-dessous

$$17,5 \text{ m.} \ll M_p < 36,5 \text{ m.}$$

$$1,1 \ll n_p < 2,4$$

le premier, ou valeur d' asymptote de croissance, est assimilable à un "Site index", le second à une "vitesse de croissance".

On relie alors le taux de croissance en circonférence au nouveau taux de croissance en hauteur on a ainsi la corrélation

$$r_{\tau_{\bar{g}} \tilde{\tau}_\phi} = 0,922$$

Le taux de croissance en circonférence $\tau_{\bar{g}}$ se relie donc mieux au taux de croissance en hauteur $\tilde{\tau}_\phi$ "ajusté" qu'au taux de croissance en hauteur τ_ϕ "mesuré" ($r = 0,867$) on a de plus

$$r_{\tau_{\bar{g}} (\tau_\phi - \tilde{\tau}_\phi)} = 0,110$$

ce qui signifie que les irrégularités de la courbe expérimentale de croissance en H_ϕ n'ont pas d'influence sur la croissance en circonférence elles peuvent donc être imputées à l'erreur de mesure.

3.22. Modèle de croissance en circonférence.

Il s'agit de tester l'effet des 2 types de variabilité de la croissance en hauteur sur la croissance en circonférence. Cela ne peut se faire sans envisager

d'une part l'effet d'autres variables comme la concurrence, d'autre part les interactions, au moins du 1er ordre, entre chacune des variables dites principales.

Les 5 variables principales sont

- l'inverse de l'âge, A^{-1} , à 1,30 m.,
- le "Site index" S I chaque placette P se voit ainsi attribuer une hauteur \hat{H}_ϕ à 40 ans, passée ou future, calculé d'après

l'équation (3) du système de courbes à un seul paramètre ;
 jusqu'ici on envisage seulement la répercussion du premier
 type de variabilité de la croissance en hauteur.

- c) le taux de croissance en hauteur $\widetilde{\tau}_\phi$ la placette P a été pla-
 à l'âge de son installation, sur une courbe du système
 généré par l'équation (3) or elle peut très bien ne pas sui-
 vre par la suite cette dynamique moyenne d'où la nécessité
 de faire référence à sa vitesse de croissance réelle.
- d) la surface terrière ST destinée à chiffrer l'effet de concur-
 rence instantanée.
- e) la circonférence moyenne $\overline{C_g}$ cette variable a subi l'effet des
 concurrences antérieures elle peut aussi avoir un aspect dyna-
 mique propre (KREUTZER, 1978).

La multiplication 2 à 2 de ces 5 variables principales génère
10 variables d'interactions.

La 16^è variable est le terme $\overline{\tau}_\phi - \widetilde{\tau}_\phi$ (cf. § 3.22.)

Le modèle général de régression multiple en fonction des variables

V_j est donc

$$\widehat{\overline{\tau}}_g = b_0 + \left[b_1 \cdot A^{-1} + b_2 \quad ST + b_3 \quad \overline{C_g} + b_4 \quad ST \quad A^{-1} + b_5 \quad \overline{C_g} \cdot A^{-1} \right. \\
 + b_6 \quad ST \quad \overline{C_g} \left. \right] \\
 + \left[b_7 \quad \widetilde{\tau}_\phi + b_8 \cdot \widetilde{\tau}_\phi \cdot A^{-1} + b_9 \quad \widetilde{\tau}_\phi \quad ST + b_{10} \cdot \widetilde{\tau}_\phi \quad \overline{C_g} \right. \\
 + b_{11} \quad \left. (\overline{\tau}_\phi - \widetilde{\tau}_\phi) \right] \\
 + \left[b_{12} \quad SI + b_{13} \quad SI \quad A^{-1} + b_{14} \quad SI \quad ST + b_{15} \quad SI \quad \overline{C_g} \right] \\
 + b_{16} \cdot \widetilde{\tau}_\phi \quad SI \quad \quad \quad (5)$$

ou

$$\widehat{\overline{\tau}}_g = b_0 + \sum_{j=1}^{j=16} b_j \quad V_j \quad (5')$$

Les corrélations multiples R sont les suivantes

| | |
|---|-------------------|
| <u>avec</u> les 16 variables | $R_{16} = 0,9863$ |
| <u>sans</u> les 5 variables contenant \overline{SI} | $R_{11} = 0,9820$ |
| <u>sans</u> les 6 variables contenant $\widetilde{\tau}_\phi$ | $R_{10} = 0,9760$ |

Les analyses de variance globales du Tableau 1 montrent que les effets du "Site index" SI et de la "vitesse de croissance" \hat{C}_ϕ sont tous deux significatifs.

Par ailleurs certaines variables V_j telles que des termes en ST (concurrence) et $C\bar{g}$ montrent des effets significatifs dans un processus de régression descendante on a en effet les valeurs de tests F suivants (dl 1 et 83)

$$7,13 \text{ pour } C\bar{g} \quad \hat{C}_\phi$$

$$28,71 \text{ pour ST} \quad A^{-1}$$

$$31,92 \text{ pour } C\bar{g} \quad SI$$

(Ces résultats sont obtenus en éliminant arbitrairement du calcul la variable V_6 ST $C\bar{g}$ car $b_6 > 0$, ceci sans perte de précision).

3.23. L'effet parcelle.

BJÖRNSSON (1978) montre l'intérêt du concept d'"erreur parcelle" dans l'analyse statistique d'expérimentations dont les mesures sont répétées dans le temps. Nous disposons ici précisément de 33 placettes P objets de 3 mesures successives d'accroissements.

Le modèle d'équation (5') devient alors

$$\hat{C}_g = b_0 + \sum_{j=1}^{j=16} b_j V_j + B_p \quad (6)$$

L'analyse de covariance du tableau 2 montre que l'effet résiduel placette B_p n'est pas significatif.

L'effet placette se réduit donc à l'effet des variables V_j .

TABLEAU 1 Analyses de variance globales
Régressions multiples expliquant $\tau_{\bar{g}} 100$
(taux de croissance en circonférence).

Analysis of variance - Multiple regressions
explaining $\tau_{\bar{g}} 100$

1. Effet de "Site index" SI.

| Source de variation | d.l | S.C.E. | C.M. | F |
|---|-----|--------|--------|---------|
| . Apport S I 5 termes en S I (j = 12 à 16) | 5 | 3,61 | 0,7220 | 5,1 *** |
| . 16 variables Ecart <u>avec</u> termes en S I | 82 | 11,60 | 0,1415 | |
| . 11 variables <u>sans</u> termes en S I | 87 | 15,21 | | |

2. Effet de la "vitesse de croissance"

$\tilde{\tau}_{\phi}$

| Source de variation | d.l | S.C.E. | C.M. | F |
|--|-----|--------|--------|----------|
| . Apport $\tilde{\tau}_{\phi}$ 6 termes en $\tilde{\tau}_{\phi}$ (j= 7 à 11 et j = 16) | 6 | 8,62 | 1,4367 | 10,2 *** |
| . 16 variables : Ecart <u>avec</u> termes en $\tilde{\tau}_{\phi}$ | 82 | 11,60 | 0,1415 | |
| . 10 variables <u>sans</u> termes en $\tilde{\tau}_{\phi}$ | 88 | 20,22 | | |

TABLEAU 2 Analyse de covariance multiple
Effet résiduel placette B_p sur $\bar{\tau}_g$ 100 (taux de croissance en circonférence).

Analysis of multiple covariance
Résiduel effect B_p of plot on $\bar{\tau}_g$. 100 (relative growth rate).

| Source de variation | d.l | S.C.E. | C.M | F |
|---------------------|-----|--------|-------|-------|
| . Placette B_p | 16 | 2,895 | 0,181 | 1,4 s |
| . Erreur E | 66 | 8,705 | 0,132 | |
| . $B_p + E$ | 82 | 11,600 | | |

4. Conclusion.

Les deux types de variabilité de la croissance en hauteur dominante, le "Site index" et "la vitesse de croissance", se répercutent sur la croissance en circonférence moyenne.

Nous constatons de plus

- d'une part des effets de concurrence, et de dimension au départ de l'accroissement,
- d'autre part l'absence d'effet résiduel placette.

Nous pouvons ainsi conclure que le modèle dendrométrique (5') suffit à expliquer les variations de croissance en circonférence moyenne enregistrées dans un dispositif de 33 placettes semi-permanentes. Ce modèle inclut des effets strictement biologiques et des effets sylvicoles.

OCTOBRE 1982

5. Summary.

The futur objective is to build a second generation of yield tables including silviculture as a parameter.

Study material consists of 157 plots that have different stand densities. So 275 data of girth and height current increment are obtained there was no thinning within the increment period. 33 plots were so measured for 3 periods in a row.

In a previous study a principal component analysis using stem analysis has shown that the variability of height growth of maritime pine stands is complex we must distinguish "Site index" and "growth velocity" variations.

We can conclude that the whole variability of height growth is included in the variability of girth growth. Concerning this parameter an multiple regression model is sufficient to explain the variations between the 33 half-permanent plots. This model use only dendrometric terms.

Keywords Maritime pine, Stands, Growth, Height, Girth.

6. Références bibliographiques.

- BJORNSSON H., 1978 Analysis of a Series of Long-term Grass - land experiments with Autocorrelated Errors. *Biometrics*, 34, 645-651.
- KREUTZER K., 1978 How do physical classifications contrast with site type classifications. In *The Ecology of even-aged forest plantations*. I.U.F.R.O. Institute of terrestrial ecology.
- LEMOINE B., 1981 Application de l'analyse factorielle à l'étude de la croissance en hauteur des arbres exemple du pin maritime. *Ann. Sci. For.*, 37 (2), 217-237.
- PRODAN M., 1968 *Forest Biometrics*. 447. Pergamon Press.
- LEMOINE B., 1982 Croissance et Production du Pin maritime I. Recherche d'un modèle et d'une méthode. *Ann. Sci. Forest.* 39 (4), 321-354.