

# PRODUCTIVITE DU PIN MARITIME (*Pinus pinaster* Sol. var. *magh.*) EN PEUPLEMENTS ARTIFICIELS DANS LE NORD DU MAROC

par Bakhiyi BELGHAZI\* et François ROMANE\*\*

## INTRODUCTION

Au Maroc, où les besoins en bois d'œuvre et d'industrie ne sont pas couverts par la production du pays, la priorité a été donnée à la plantation d'essences à croissance rapide dans des milieux à forte potentialité (Plan national de reboisement). Parmi ces essences, le pin maritime de montagne (*Pinus pinaster* Sol. var. *magh.*), grâce à sa plasticité écologique (DESTREMAU, 1974) et à sa résistance au froid, est considéré comme une espèce de base pour les reboisements en montagne. Ces reboisements ont été réalisés le plus souvent dans les étages bioclimatiques subhumide et humide (EMBERGER, 1955) du Rif et du Moyen Atlas oriental où cette essence représente 90 % environ de l'ensemble des reboisements de la région. Or ces reboisements arrivent à l'heure actuelle à la moitié de leur révolution estimée sans qu'aucune politique d'aménagement n'ait été clairement définie pour eux.

\* Ecole nationale forestière d'ingénieurs, B.P. 511, Salé (Maroc)

\*\* CNRS/CEFE Louis Emberger, B.P. 5051, 34033 Montpellier Cedex 1 (France)

Cette contribution vise donc à estimer la productivité du pin maritime en fonction des milieux dans lesquels il a été introduit afin de pouvoir fournir les bases d'une telle politique et de disposer d'indications pour les reboisements ultérieurs au Maroc.

## MÉTHODE

L'estimation de la productivité est abordée ici par la notion, d'application simple, de hauteur dominante du peuplement. En effet, la hauteur dominante  $H_d$  d'un peuplement équienne à un âge de référence est considérée par beaucoup de forestiers comme le meilleur indice de qualité d'une station (SPURR, 1952). Tout récemment encore, SPURR & BERNES (1980) in MONSERUD (1984) rappellent que : "*The height of dominant tree of a given species and age is more closely related to the capacity of a given site to produce wood of that species than any other one measure*". De surcroît, la liaison étroite de la hauteur domi-

1 - N.d.a. : La hauteur des arbres dominants d'une espèce donnée, à un âge fixé, est plus liée, pour un site donné, à la capacité de production en bois de cette espèce qu'à tout autre critère.

nante avec la production ligneuse et son indépendance vis-à-vis des traitements sylvicoles sont admises depuis le début du siècle (EICHORN, 1904). Cette liaison est actuellement à la base de nombreuses tables de production (DECOURT, 1965 et 1967 ; OTTORINI, 1975). Quant à la hauteur dominante, elle a été définie ici comme étant la hauteur moyenne des 100 plus gros arbres par hectare.

L'application de cette notion à l'estimation de la productivité a été abordée par l'approche polymorphique où les courbes de croissance sont différentes d'un milieu homogène à un autre, alors que dans l'approche anamorphique les courbes de croissance sont des courbes déduites d'une seule courbe calculée pour l'ensemble de l'échantillon. Cette approche polymorphique est couramment employée par les forestiers nord-américains (STAGE, 1963 ; CARMEAN, 1972 ; BAILEY & CLUTTER, 1974 ; CLUTTER *et al.*, 1983 ; MONSERUD, 1984). Néanmoins, cette approche exige des mesures diachroniques<sup>2</sup> qui ne peuvent être obtenues que par comparaison d'inventaires

2 - N.d.e. : mesures effectuées à des époques différentes sur un même site.

dans des placettes permanentes ou par des analyses de tiges.

Si le modèle de croissance en hauteur retenu est du type :

$$[1] \quad H_d = f(A; b_1, b_2, \dots)$$

où A est l'âge,  $b_i$  (avec  $i = 1, 2, \dots$ ) des coefficients de régression, la construction de ces courbes polymorphiques peut être envisagée comme suit :

1) chercher pour chaque placette, à partir des résultats de l'analyse de tige, l'équation de la courbe traduisant au mieux la relation entre la hauteur dominante et l'âge ;

2) estimer à partir de cette courbe l'indice de site "S" (*site index* des anglosaxons) pour chaque placette, en se fixant un âge de référence qui dépend de l'essence, de la station et du traitement sylvicole. Cet âge doit correspondre, autant que faire se peut, à l'état de pleine croissance du peuplement. Mais, dans notre cas, les plantations étudiées étant encore jeunes, l'âge de référence noté à 30 cm du sol a été fixé à 17 ans. Si on suppose qu'en moyenne, les jeunes plants ont atteint 30 cm de hauteur en trois ans, l'âge de référence correspond en fait à 20 ans. Cet âge est certes très jeune, néanmoins pour des pins (*Southern pines*) du sud des Etats-Unis, DAVIS & JOHNSON (1987) retiennent l'âge à 25 ans et dans son travail sur les eucalyptus KNOCKAERT (1977) le fixe même à 10 ans ;

3) exprimer les coefficients  $b_i$  en fonction de S dans l'équation [1],  $b_i = g_i(S, \beta_i)$  où  $\beta_i = (\beta_{i1}, \beta_{i2}, \dots)$  est le vecteur ligne des coefficients de régression.

En définitive, l'expression de la hauteur dominante devient pour chaque placette :

$$[2] \quad H_d = f[A; g_1(S, \beta_1), g_2(S, \beta_2), \dots]$$

En fait, l'expression des coefficients  $b_i$  en fonction de S peut être faite de plusieurs manières (TROUSDELL *et al.*, 1974 ; MONSERUD, 1984). Les relations proposées par TROUSDELL *et al.* (1974), linéaires et d'application facile, et donc retenues ici, s'expriment par  $b_1 = \beta_1 + \beta_2 S$ ,  $b_2 = \beta_3 + \beta_4 S + \beta_5 S^2$  et  $b_3 = \beta_6 + \beta_7 S + \beta_8 S^2$ .

Pour les équations de la relation [1], ajustement des couples hauteur-âge, CARMEAN (1972) a étudié une quinzai-

ne de modèles linéaires ou non. Dans son analyse, l'auteur souligne l'efficacité et la grande souplesse du modèle logistique de Chapman-Richard, une généralisation du modèle de Bertalanfy,

$$[3] \quad y = A(1 - e^{-kx})^{1/(1-m)}$$

où y est la variable dépendante, x la variable indépendante, A, k et m les paramètres du modèle. Dans la suite de cet article nous utiliserons une expression simplifiée de [3] :

$$[4] \quad H_d = b_1[1 - \exp(-b_2A)]^{b_3}$$

où ( $H_d$ , A) est le couple hauteur-âge et les  $b_i$  ( $i = 1, 2, 3$ ) sont des coefficients de régression. Les performances de ces modèles ont été également confirmées par PIENAAR & TURNBULL (1973), MONSERUD (1984). Néanmoins, sur le plan pratique, l'estimation du modèle n'est pas toujours aisée. Dans certains cas simples, ALDER (1980) propose une résolution par des procédés graphiques, mais dans la majorité des cas l'estimation des coefficients  $b_i$  est obtenue par des méthodes itératives de programmation mathématique sous contraintes. Quelques algorithmes sont à ce sujet, proposés par DRAPER & SMITH (1966).

Une fois les courbes de croissance établies, la détermination des classes de croissance est basée sur la valeur de la hauteur dominante à un âge de référence donné. Le nombre de classes de fertilité retenu est variable suivant les auteurs et il dépend de la situation des placettes d'expérience. De fait on déclare souvent que deux peuplements de 50 ans sont "distants" d'une classe de fertilité dès lors que leurs hauteurs dominantes sont différentes d'une valeur de l'ordre de 2 à 3 m. L'utilisation de cette démarche pour toute nou-

velle placette n'est possible que dans la mesure où l'on y ferait une analyse de tige ce qui n'est guère envisageable sur le plan pratique. La solution retenue pour pouvoir utiliser néanmoins ces résultats est d'employer des classes de croissance exprimées chacune par une courbe de croissance "moyenne" et on peut alors classer toute nouvelle placette dont on connaît l'âge et la hauteur dominante.

## MATERIEL

L'hétérogénéité de la zone d'étude et le grand morcellement des périmètres de reboisement étudiés, ont conduit à un choix des placettes basé sur un sondage aléatoire stratifié donnant à chaque unité élémentaire de un hectare, la même chance d'être tirée. Les critères de stratification retenus sont la nature du substrat tel que décrit dans MAURER (1968) et l'âge du peuplement (Cf. Tab.I), les jeunes plantations âgées de moins de 10 ans n'étant pas prises en compte. C'est finalement un total de 149 placettes circulaires de 3 ares qui a été inventorié (mesure de la circonférence à 1,30 m du sol pour tous les arbres).

Comme il n'existe pas de placettes permanentes dans ces périmètres, les couples hauteur-âge ont été estimés par des analyses de tiges. En fait, deux arbres dominants par placette (PARDE & BOUCHON, 1988) devraient être analysés, mais du fait que cette méthode est destructive, un arbre seulement a été considéré. Cet arbre choisi parmi les plus gros, a été abattu et des rondelles ont été prélevées tous les mètres à partir de 30 cm du sol (niveau facile pour l'abattage des arbres). En fait pour ces jeunes peuplements nous

Lithologie \ Classes d'âge (années)	Schistes	Marnes et marnoschistes	Schistes et quartzites	Marnes et quartzites
10-14	16	30	14	/
15-19	21	21	21	9
20-24	3	6	2	2
≥ 25	3	1	/	/

Tab.I : Répartition des placettes dans les strates d'échantillonnage.

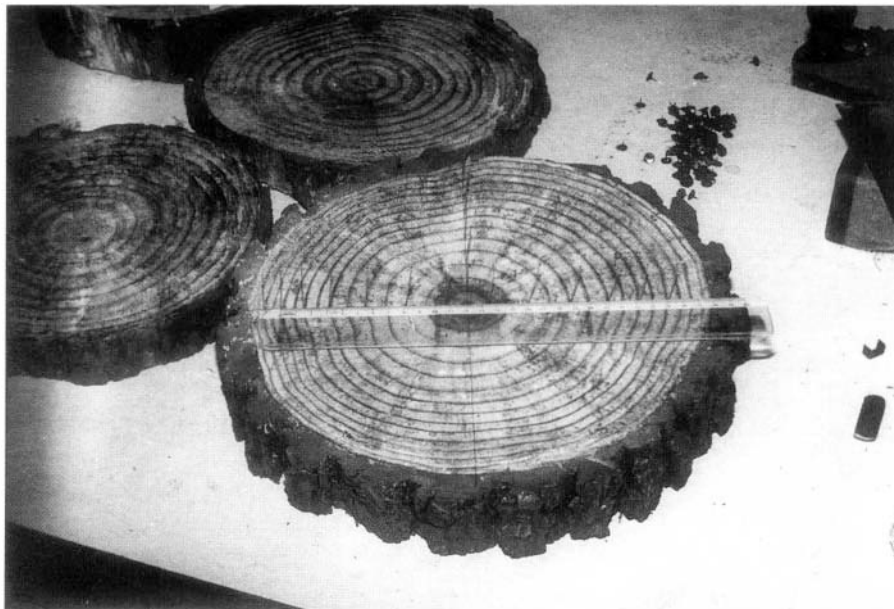
avons admis que l'arbre abattu a toujours été dominant, ce qui paraît acceptable du fait de la structure souvent régulière des cernes sur les rondelles prélevées à 1,30 m du sol. Depuis de nombreuses années, bien des spécialistes font intervenir ces analyses de tiges, pour préciser l'allure des courbes de croissance (PITA CARPENTER, 1964 et ADORJAN, 1965, cités par TOTH, 1974). L'avantage de l'analyse de tige, c'est que chaque tige fournit autant de couples hauteur-âge que le nombre de tronçons obtenus et analysés comme un arbre d'une placette d'expérience qui aurait été mesuré chaque année ; de surcroît, chaque tige donne une courbe de croissance. Ce choix correspond implicitement à l'hypothèse que l'arbre abattu a toujours été dominant au cours de son existence. Au vu des observations sur le terrain cette hypothèse semble pouvoir être retenue.

## RÉSULTATS

La première vérification à faire est bien entendu celle de la régularité de la structure du peuplement, régularité en dehors de laquelle le concept de hauteur dominante ne peut être utilisé. Cette structure est approchée par le nombre de tiges à l'hectare par classes de circonférence mesurée à 1,3 m. Le test d'adéquation par la loi du  $\chi^2$ , égal ici à 88,7, montre qu'effectivement la structure du peuplement est parfaitement régulière.

Quant à l'ajustement du modèle [4] pour chaque placette il a été effectué par la méthode itérative de la régression non linéaire avec l'aide du programme SYSTAT. Ici encore, le modèle de Chapman-Richard fait preuve de ses bonnes performances, car pour l'ensemble des placettes les moyennes des erreurs (différences entre hauteur dominante observée et estimée) absolue et relative sont respectivement égales à - 14 cm et - 0,002 ; l'erreur absolue est, pour la majorité des observations, inférieure à 10 cm ;

Compte tenu de la démarche proposée ci-dessus, l'indice de site  $S$  ( $S = b_1[1 - \exp(-b_2 A_r)^{b_3}]$ ), où  $A_r$  est l'âge de référence, est calculé pour chaque placette. Néanmoins, malgré la grande dispersion des plantations,



**Photo 1 : Rondelle (repérée par la règle) prélevée à 1,30 m du sol sur un arbre de la classe de croissance 1 à Bab Azhar (Moyen Atlas oriental). L'accroissement radial avoisine 3 cm an<sup>-1</sup>.**

Photo B. Belghazi

leurs âges encore jeunes et leurs hauteurs dominantes assez peu variées (amplitude égale à 5 m), nous ont conduits à limiter à trois le nombre de classes de croissance : la première classe, meilleure fertilité, regroupe 42 placettes (Indice de site  $S > 8,8$  m), la deuxième, fertilité intermédiaire, 48 placettes ( $7,1 < S \leq 8,8$  m), et la troisième, fertilité médiocre, 59 placettes ( $S \leq 7,1$  m).

L'ajustement des coefficients  $b_i$  ( $i = 1, 2, 3$ ) en fonction de  $S$  aboutit

aux résultats suivants :

$$b_1 = 1,479 S$$

avec un écart-type résiduel  $\sigma_r = 3,30$

$$b_2 = 0,030 S - 0,002 S^2$$

avec un écart-type résiduel  $\sigma_r = 0,06$

$$b_3 = 0,453 S - 0,026 S^2$$

avec un écart-type résiduel  $\sigma_r = 0,63$

Dans les trois cas, les constantes à l'origine ( $\beta_1$ ,  $\beta_3$  et  $\beta_6$ ) ne sont pas significativement non nulles au risque  $\alpha = 0,05$ . En définitive, l'équation de la courbe de croissance en hauteur en fonction de l'indice de site est donc :



**Photo 2 : Peuplement de la classe de croissance 2. Le pin maritime est en mélange avec du cèdre de l'Atlas spontané (Tizi Ifri, Rif).**

Photo B. Belghazi

$$[5] \quad H_d - 0,30 =$$

$$1,479 S(1 - \exp(-0,030 S + 0,002 S^2) A)^{0,453 S - 0,026 S^2}$$

avec  $R^2 = 0,70$ ,  $\sigma_r = 1,32$ , les erreurs moyennes absolue et relative étant respectivement égales à  $-0,19$  et  $0,024$  mètre.

Les courbes de croissance moyenne en hauteur pour chacune des classes sont obtenues en remplaçant S dans l'équation [4] par sa valeur moyenne correspondante (Cf. Fig. 1) :

[6]

$$H_d - 0,30 = 14,198 (1 - \exp(-0,104 A))^{1,953}$$

pour la classe 1,

[7]

$$H_d - 0,30 = 11,714 (1 - \exp(-0,112 A))^{1,957}$$

pour la classe 2,

[8]

$$H_d - 0,30 = 9,229 (1 - \exp(-0,109 A))^{1,814}$$

pour la classe 3.

Chacune de ces trois courbes de croissance atteint relativement vite un niveau proche de l'asymptote (Cf. Fig. 1), ce qui suggère, comme cela est le cas pour la sous-espèce *Pinus pinaster* var. *atlantica*, une courte révolution (30 à 35 ans) pour l'exploitation de ces peuplements.

Les caractéristiques principales de production des trois classes de croissance sont données dans le tableau II, à savoir les valeurs moyennes des principales variables dendrométriques et l'accroissement moyen annuel en volume (AMAV). Le volume total des tiges, obtenu au moyen d'un tarif de cubage individuel à une entrée (BELGHAZI, 1990), inclut tous les prélèvements antérieurs à cette étude ( $V = 2,721 C^{2,402}$ , où V est le volume individuel en  $\text{cm}^3$  et C la circonférence en cm à 1m30 du sol). Ce tarif a été choisi, parmi d'autres, à la suite d'une analyse statistique en retenant celui avec des résidus indépendants et identiquement distribués et à plus petite variance résiduelle.

## CONCLUSION

Cette étude, basée sur la hauteur dominante, montre donc que le pin maritime, considéré par le Plan national de reboisement (PNR) comme une essence de base pour les reboisements de montagne du Rif et de l'Atlas, est à admettre avec réserve. En effet sur un total de 149 placettes, 28 % seulement

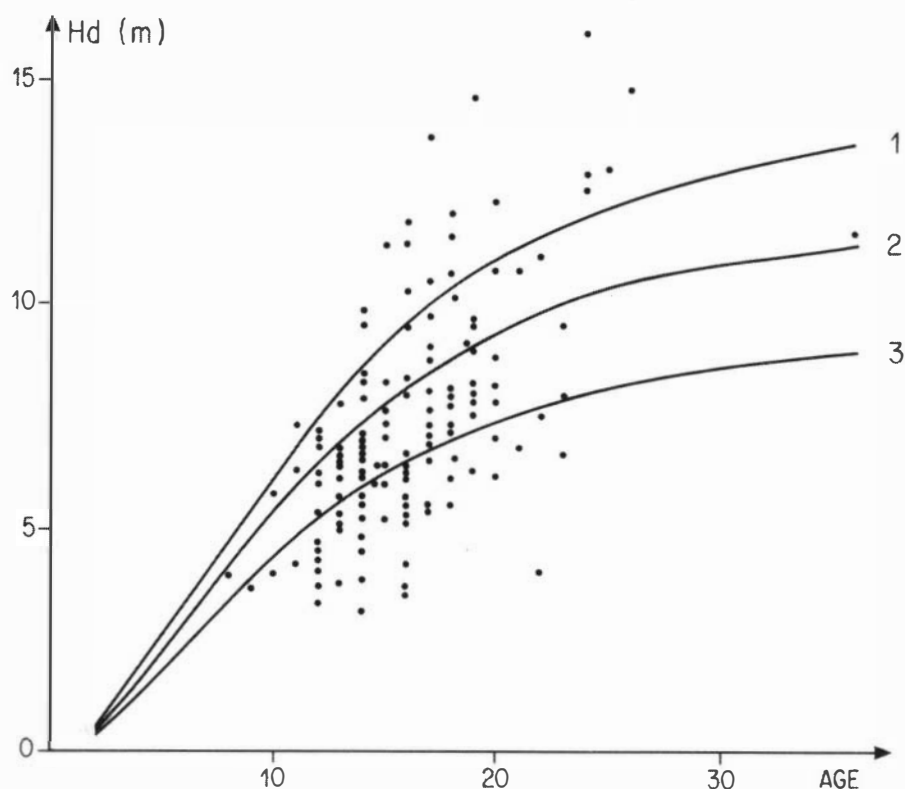


Fig. 1 : Hauteur dominante en fonction de l'âge et de la classe de croissance du pin maritime indigène (*Pinus pinaster* var. *maghrebiana*) pour des reboisements dans le nord du Maroc

sont des peuplements productifs (accroissement moyen annuel en volume, ou AMAV, supérieur au seuil minimum de  $4 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$  visé par le PNR) alors que 32 % des peuplements ont un rôle principal de protection des versants ( $\text{AMAV} = 3,3 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$ ). Quant au reste des placettes (40 %) dont l'AMAV est de l'ordre de  $1,6 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$ , il représente des peuplements sans avenir ne pouvant jouer aucun rôle si ce n'est celui de foyer de parasites dangereux pour les peuplements voisins. Toutefois ces résultats

valables pour les jeunes plantations ne peuvent être extrapolées qu'avec prudence. L'installation d'un réseau de placettes permanentes dans ces peuplements fournirait des renseignements fort utiles pour leur conduite future.

Comparativement à la variété landaise du sud-ouest de la France (*Pinus pinaster* var. *atlantica*) plantée au Maroc sur le littoral atlantique, on peut affirmer que la variété *maghrebiana* est moins productive que cette

Valeur moyenne	Classe de croissance		
	1	2	3
Indice de site (m) à 17 ans	10,4	7,8	5,9
Hauteur dominante (m)	10,3	7,5	5,3
Surface terrière ( $\text{m}^2 \text{ ha}^{-1}$ )	27,45	16,56	8,03
Volume total ( $\text{m}^3$ )	122,098	68,194	29,542
Accroissement moyen annuel en volume ( $\text{m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$ )	5,845	3,340	1,574

Tab.II : Valeurs moyennes de quelques variables dendrométriques (indice de site, hauteur dominante, surface terrière, volume total) pour des reboisements de pin maritime indigène (*Pinus pinaster* var. *maghrebiana*) dans le nord du Maroc.

variété *atlantica*. Dans son rapport sur les reboisements au nord du Maroc la société MAROC-DEVELOPPEMENT (1981) avance, pour la variété *atlantica* un accroissement moyen annuel de  $4,2 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$  à l'âge de 7 ans pour les peuplements de Larrache (nord-ouest du Maroc). Cet accroissement déjà supérieur au seuil minimum exigé par le Plan National de reboisement ne pourra que croître au cours des années à venir. Pour cette même variété *atlantica* en reboisement dans la forêt de la Mamora (environs de Rabat), BERNOUSSI (1982) signale des accroissements de  $4,9$  à  $7,0 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$  suivant les stations. Dans son aire d'origine en France, d'après la table de production proposée par LEMOINE (1982), les accroissements moyens en volume, qui culminent à 40 ans, varient de  $3,5 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$  (5<sup>ème</sup> classe de fertilité) à  $13,4 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$  dans la 1<sup>ère</sup> classe. Néanmoins cette suprématie de la variété landaise n'est valable que sur le littoral atlantique où les fortes températures estivales sont atténuées et où l'hygrométrie de l'air est relativement forte. Ainsi pour les reboisements d'Izaren dans la région d'Ouezzane, assez éloignés de la côte, l'accroissement moyen annuel en volume de cette variété *atlantica* ne dépasse pas  $1,8 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$  (ASKARN, 1982). Ceci conforte les options du Plan national de reboisement du Maroc qui préconise la variété landaise (*atlantica*) sur les sols siliceux de la frange atlantique et la variété indigène (*maghrebiana*) en montagne dans l'intérieur du Maroc.

Un diagnostic phyto-écologique de ces peuplements pourra fournir des informations encore plus intéressantes sur l'aire d'extension de cette espèce.

## B.B., F.R.



Photo 3 : Peuplement de la classe de croissance 3. Arbres chétifs sur marne (Aknoul, Rif). Photo B.Belghazi

## BIBLIOGRAPHIE

- ADORJAN J., 1965. L'analyse de tige dans le cadre d'une étude écologique pour substituer une essence. (A mézgás éger termöhelyek vizsgálata nemes nyárak telepítése szempont jából.). Erdészeti kutatások Budapest. 62. évf. 1-3 Sz., 89-111.
- ALDER D., 1980. Estimation des volumes et accroissements des peuplements forestiers. 2. Etude et prévision de la production. Etude FAO : Forêts 22/2, Rome, 229 p.
- ASKARN O., 1982. Comportement des résineux dans l'arboretum d'Izaren. Mémoire de 3<sup>ème</sup> cycle forestier de l'Institut National Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Rabat.
- BAILEY R.L. & CLUTTER J.L., 1974. Base-age invariant polymorphic site curves. For. Sci. 20(2), 155-159.
- BELGHAZI B., 1990. Etude de l'écologie et de la productivité du pin maritime (*Pinus pinaster* Sol. var. *magh.*) en peuplements artificiels au nord du Maroc. Thèse ès Sc. Agr. Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Rabat, 191 p.
- BERNOUSSI M., 1982. Contribution à l'étude de l'écologie et de la productivité du pin maritime des Landes dans les reboisements de la Mamora. Mémoire de 3<sup>ème</sup> cycle forestier de l'Institut National Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Rabat, 90 p.
- CARMEAN W.H., 1972. Site index curves for upland oaks in the central States. For. Sci. 18, 109-120.
- CLUTTER J.L., FORSTON J.C., PIENAAR L.V., BRISTER G.H. & BAILEY R.L., 1983. Timber management : a quantitative approach. J. Wiley & Sons, 333 p.
- DAVIS L.S. & JOHNSON K.N., 1987. Forest management. 3<sup>rd</sup> ed., Mc Graw-Hill Book Co. 790 p.
- DECOURT N., 1965. Le pin sylvestre et le pin laricio de Corse en Sologne. Tables de production provisoire et méthodes utilisées pour les construire. Ann. Sci. Forest. 22(2), 259-313.
- DECOURT N., 1967. Le Douglas dans le nord-est du Massif Central. Table de production. Ann. Sci. Forest. 24(1), 45-84.
- DESTREMAU D.X., 1974. Précisions sur les aires naturelles des principaux conifères marocains en vue de l'individualisation de provenances. Ann. Rech. Forest. Maroc 14, 3-90.
- DRAPER N.R. & SMITH H., 1981. Applied regression analysis. Sec. Edit., J. Wiley & Sons., 709 p.
- EICHHORN E., 1904. Beziehungen zwischen Bestandeshöhe und Bestandesmasse. AFJZ 80, 45-49.
- EMBERGER L., 1955. Une classification biogéographique des climats. Rev. Trav. Lab. Bot. Fac. Sci. Montpellier 7, 3-43.



- KNOCKAERT C., 1977. Table de production provisoire pour les peuplements de première génération d'*Eucalyptus camaldulensis* en forêt de Mamora. Ann. Rech. Forest. Maroc 17, 3-21.
- 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.
- MAROC-DEVELOPPEMENT, 1981. Inventaire et cartographie des périmètres de reboisement du nord du Maroc. Rapport méthodologique. D.E.F.C.S., Div. de D.R.S. et des reboisements, Rabat, 121 p.
- MAURER G., 1968. Les montagnes du Rif central. Etude géomorphologique. Travaux I.S.C. géol. et géog. Rabat 14, 1-481.
- MONSERUD R.A., 1984. Height growth and site index curves for Inland Douglas-fir based on stem analysis data and forest habitat type. For. Sci. 30(4), 943-965.
- OTTORINI J.M., 1975. En marge du calcul des tables de production pour le pin noir dans le sud-est de la France. INRA, CNRF, Stat. de Sylvic. et de Prod., Doc. n° 75, 8 p.
- PARDE J. & BOUCHON J., 1988. Dendrométrie. 2<sup>e</sup> éd. ENGREF, Nancy, 328 p.
- PIENAAR L.V. & TURNBULL K.J., 1973. The Chapman-Richards generalization of von Bertalanffy's growth model for basal area growth and yield in even-aged stands. For. Sci. 19, 2-12.
- PITA CARPENTER P.A., 1964. La calidad de la estacion en las masas de "*P. silvestris*" de la Peninsula Ibérica. A.I.F.I.E. Madrid 9, 5-28.
- SPURR S.H., 1952. Forest inventory. New York, The Ronald Press Co.
- SPURR S.H. & BARNES B.V., 1980. Forest ecology (3<sup>rd</sup> ed.) J. Wiley & Sons, New York, 687 p.
- STAGE A.R., 1963. A mathematical approach to polymorphic site index curves for Grand fir. For. Sci. 9(2), 167-180.
- TOTH J., 1974. Application du résultat de l'analyse de tiges pour la détermination des classes de production du pin noir d'Autriche dans le sud-est de la France. Doc. Int. Rech. Forest. Avignon, 16 p.
- TROUSDELL K.B., BECK D.E. & LLOYD F.T., 1974. Site index for Loblolly pine in the Atlantic Coastal Plain of the Carolinas and Virginia. USDA For. Serv., Res. Paper SE-115.

### Mots clés

Analyse de tige, Approche polymorphique, Hauteur dominante, Moyen Atlas, *Pinus pinaster*, Productivité

### Résumé

Le pin maritime (*Pinus pinaster* Sol. var. *magh.*), espèce des bioclimats méditerranéens subhumide et humide, est largement utilisé pour les reboisements en montagne au Maroc et tout particulièrement dans le Rif et le Moyen Atlas oriental où il représente environ 90 % des reboisements en résineux. Ayant atteint environ 15 à 20 ans, ces plantations n'ont en général pas encore d'aménagement normalisé. Dans la perspective d'arriver à une gestion appropriée de ces plantations, l'objectif est de parvenir ici à une estimation de la productivité du pin maritime en utilisant la hauteur dominante.

A la suite d'une stratification de l'échantillonnage des périmètres de reboisement basé sur l'âge du peuplement et la nature du substrat, 149 placettes circulaires de 3 ares ont été étudiées. Sur chaque placette un inventaire complet a été fait avec mesure pour tous les arbres de la circonférence à 1,30 m du sol et analyse de tige d'un arbre dominant. L'analyse des couples hauteur-âge par l'approche polymorphique, faite à partir du modèle de Chapman-Richard ajusté par la méthode itérative de la régression non linéaire, et le choix d'un âge de référence égal à 17 ans, permet de proposer trois classes de croissance, la classe 1 qui produit en moyenne  $5,3 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$ , la classe 2 avec  $3,3 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$  et la classe 3 avec  $1,6 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$ .

### Summary

The cluster pine (*Pinus pinaster* Sol. var. *magh.*), a Mediterranean species, has been widely used for reforestation in the mountains of Morocco, especially in the Rif and in the eastern part of the Middle Atlas. These planted trees are nowadays almost 20 years old, but the management rules of these forests are not yet decided. In order to be able to propose their suitable management, our objective is to estimate the cluster pine productivity, using the dominant tree height.

149 circular plots (300 m<sup>2</sup> each) have been selected by a stratified (lithology, tree age) sampling and in each plot we (i) recorded the DBH<sub>1.3</sub> for all the trees and (ii) analysed the stem of a dominant tree. Using the Chapman-Richard model and polymorphic site curves based on the age-height relationships, three growth classes are proposed, reference age being 17 years (Class 1:  $5.3 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ ; Class 2:  $3.3 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ ; Class 3:  $1.6 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ ).

### Resumen

Se utiliza mucho el pino marítimo (*Pinus pinaster* Sol. var. *magh.*), especie de los bioclimas mediterraneos subhúmedo y húmedo, para las repoblaciones forestales en las sierras de Marruecos y más particularmente en el Rif y en el Medio Atlas oriental donde representa unos 90 % de las repoblaciones de resinosos. De manera general, esas plantaciones que llegan a tener unos 15 o 20 años, no tienen todavía una ordenación normalizada. Dentro de la perspectiva de llegar a una gestión apropiada de esas plantaciones, el objetivo es de llegar aquí a una estimación de la productividad del pino marítimo aprovechando la altura dominante.

Después de una estratificación del muestreo de los perímetros de repoblación forestal apoyándose sobre la edad de la masa y la naturaleza del substrato, se han estudiado 149 parcelas circulares de 3 áreas. Se ha hecho para cada parcela un inventario completo para todos los árboles con medida de la circunferencia a 1,30 m del suelo y análisis del tronco de un árbol dominante. La análisis de los pares altura-edad con la aproximación polimórfica, hecha a partir del modelo de Chapman-Richard ajustado con el método iterativo de la regresión no lineal, y la elección de una edad de referencia de 17 años, permite proponer tres clases de crecimiento, la clase 1 que produce a vuelta de  $5,3 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ , la clase 2 con  $3,3 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  y la clase 3 con  $1,6 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ .