

La productivité des peuplements naturels de pin d'Alep dans la forêt de Tamga (Haut Atlas marocain)

par Bakhiyi BELGHAZI *, Mustapha EZZAHIRI * et François ROMANE **

Préambule

Cet article, déjà publié dans *Cahiers Agricultures* 2000 ; 9 ; 3 (BELGHAZI et al., 2000), est repris ici avec l'aimable autorisation de cette revue que nous remercions. Certaines parties ont été modifiées pour le centrer sur les résultats.

Nota : ha⁻¹, an⁻¹, ... signifie par ha, par an, ...

Introduction

Le pin d'Alep (*Pinus halepensis* Miller), bien que très répandu en Afrique du Nord comme essence de reboisement, est peu abondant à l'état spontané au Maroc (65 000 ha seulement) et dispersé en peuplements naturels disjoints, se répartissant entre le littoral méditerranéen et le Haut Atlas (Haute vallée du Sous, Tizi-n-Telghmt). Ces peuplements sont généralement mêlés (EMBERGER, 1939) de chêne vert (*Quercus ilex* L.), de thuya de Berbérie (*Tetraclinis articulata* (Vahl.) Masters) ou de genévrier de Phénicie (*Juniperus phoenicea* L.).

Faute d'aménagement, l'exploitation de ces pinèdes naturelles est limitée à des coupes sanitaires, visant à l'élimination de sujets dépréssants ou mal venants. Toutefois, le Maroc, très déficitaire en bois d'œuvre notamment de résineux, pourrait, par une exploitation rationnelle de ces pinèdes, réduire les importations massives de ces produits. Le pin d'Alep, en raison de sa rusticité et de sa plasticité, est parmi les premières essences à avoir été utilisées en reboisement au Maroc dès 1920-1925 (AZEBA, 1981). Le Plan National de Reboisement de 1970 (FAO, 1970) l'a retenu comme base des reboisements artificiels avec 130 000 ha, soit environ 40 % du total.

Le pin d'Alep est cependant l'une des essences autochtones les moins étudiées du point de vue de la productivité, les travaux disponibles portant surtout sur sa dynamique après le feu (KUTIEL & NAVEH, 1987a ; BARBERO et al., 1987 ; LEPORT & DEBUSSCHE, 1991 ; TRABAUD et al., 1997), sur son fonctionnement [KUTIEL & NAVEH, 1987b ; RAPP, 1990 ; GARCIA PIE et al., 1995] et très peu sur sa productivité (PARDE, 1957 ; NAHAL, 1962 ; SOULERES, 1975 ; AKRIMI, 1986). Pour essayer d'aller plus loin, nous avons choisi d'étudier la pinède de Tamga, le long de l'Oued Ahansal dans le Haut Atlas (Province d'Azilal), considérée comme l'une des plus belles pinèdes du Maroc et même du Bassin méditerranéen (QUEZEL, communication per-

sonnelle). Le pin d'Alep de Tamga est caractérisé par la rectitude des troncs et l'élancement particulier des arbres, qui le distinguent nettement des peuplements connus dans le reste du Maroc et dans le sud de la France.

Les objectifs de notre étude furent de définir des classes de croissance dans cette pinède en fonction des facteurs du milieu afin de proposer une typologie des stations à soumettre aux aménageurs.

Matériel et méthodes

Echantillonnage

L'hétérogénéité et la diversité des faciès, ont imposé une stratification de l'échantillonnage de la population. Une couverture aérienne panchromatique noir et blanc (1/30 000^e) de la forêt (environ 12 000 ha) a servi de base pour l'élaboration d'une carte des types de peuplements et d'une stratification en fonction de l'état de développement et de la consistance des peuplements.

Sur un total de 82 placettes circulaires de 5 ares, réparties dans des peuplements aussi réguliers que possible, selon l'allocation proportionnelle entre strates et d'une manière systématique à l'intérieur de chaque strate, le prélèvement de l'information a été opéré comme suit :

* Ecole Nationale Forestière d'Ingénieurs, B.P.511, 15000 SALE, Maroc

** CNRS-CEFE, 1919 route de Mende, 34293 MONTPELLIER CEDEX 5, France

- mesure des circonférences à 1,30 m du sol ($C_{1,30}$) de tous les arbres sur pied (circonference de précompage de 20 cm) ;

- estimation au relascope de Bitterlich de la hauteur totale des cinq plus gros arbres de la placette (arbres dominants) ;

- sondage à la tarière de Pressler (à 1,30 m au-dessus du sol) de trois arbres échantillon, sains, non fourchus et sans défauts graves. Ils correspondent à l'arbre moyen, au plus gros et au plus petit, situés le plus près du centre de la placette et ils seront utilisés pour l'estimation de la production. L'âge des arbres dominants a été évalué aussi de la même manière ;

- inventaire de la végétation et du milieu (GODRON et al., 1968), par prélèvement des descripteurs topoclimatiques (altitude, exposition, pente, position topographique), édaphiques (profondeur du sol, nature de la roche mère), la végétation (espèces et leurs recouvrements, première et deuxième espèces dominantes) ainsi que la géologie, la latitude et la longitude.

Estimation de la productivité et de la croissance en hauteur

L'estimation de la productivité d'une essence donnée peut être envisagée de plusieurs manières (DAGNELIE, 1956 ET 1957 ; DECOURT, 1973) parmi lesquelles nous avons retenu la méthode indirecte basée sur le concept de hauteur dominante du peuplement à un âge de référence donné (PARDE, 1956). Le choix d'un modèle de croissance de la hauteur dominante peut alors être fait selon deux approches, polymorphe et anamorphique. L'approche polymorphe est objective et précise, mais elle nécessite des mesures diachroniques dans des placettes permanentes ou des analyses de tiges. En l'absence de placettes permanentes ainsi que dans l'impossibilité de faire des analyses de tige, méthode destructive trop coûteuse de par la perte de matériel dans des peuplements très performants, cette approche n'a pas pu être retenue. C'est donc l'approche anamorphique qui, à défaut de mesures diachroniques, a été retenue ici. Elle suppose que la croissance suit une évolution parallèle dans toutes les

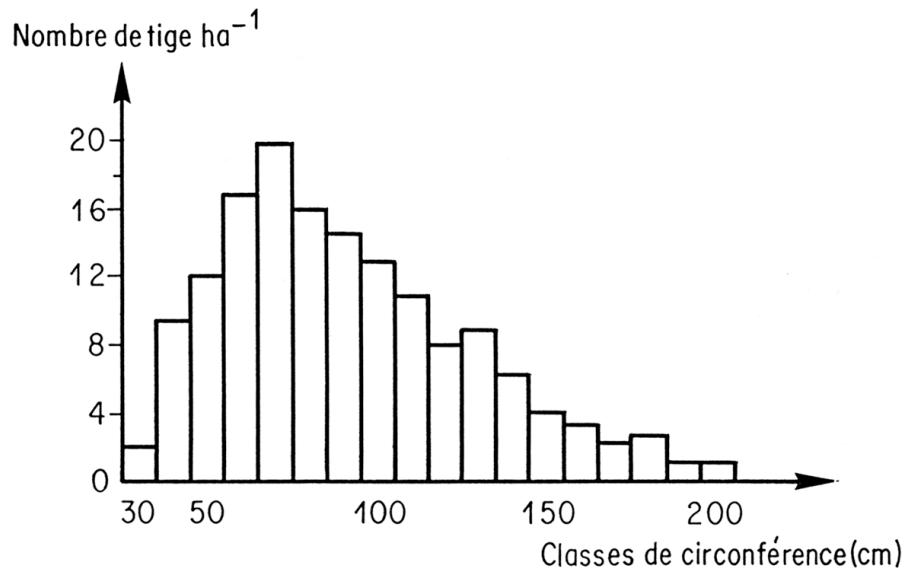


Fig. 1 : Histogramme de fréquence des pins d'Alep en fonction des classes de circonference des arbres à Tamga (Maroc)

stations, indépendamment de la fertilité, et que l'accroissement annuel courant en volume, tout en atteignant des valeurs différentes d'une station à l'autre, se produit à un même âge dans toutes les classes de productivité (DAGNELIE, 1956 et 1957). Les courbes de croissance étant des courbes affines se déduisent les unes des autres (CARMEAN, 1972 ; ALDER, 1980 ; COMMERÇON, 1984). Ces courbes affines n'exigent pas une précision élevée et sont utilisables pour une faible amplitude d'âge, ou encore lorsque les données sont trop peu précises ou trop peu nombreuses pour établir un système de courbes polymorphiques (DAGNELIE, 1956 et 1957 ; OTTORINI, 1981). La croissance en hauteur dominante en fonction de l'âge a été mesurée à 1,30 m du sol (STAGES, 1963 ; BRICKELL, 1968) et ajustée sur la base d'observations moyennes (hauteur moyenne et âge moyen des cinq plus gros arbres de la placette de 5 ares).

Choisir un modèle de croissance et un âge de référence sont les éléments de base pour définir l'indice de site S (*Site Index*), hauteur dominante à l'âge de référence retenu. Plus l'âge de référence est élevé, plus l'indice de production obtenu est en rapport avec la production totale (DECOURT & LEVY,

1974). Si l'âge de référence est très différent de l'âge actuel, l'évaluation de l'indice de site sera incertaine. Nous avons retenu un âge moyen de 60 ans, proche de celui de la révolution du peuplement (LE GOFF, 1982). Il est souvent admis que deux peuplements de 50 ans (ou de 60 ans) sont "distants" d'une classe de fertilité dès lors que leurs hauteurs dominantes sont différentes d'une valeur d'environ 2 à 3 m (PARDE & BOUCHON, 1988), pour autant que la structure du peuplement (distribution à l'hectare des diamètres à 1,30 m du sol), soit régulière, faute de quoi le concept de la hauteur dominante ne peut être utilisé.

Caractérisation des classes de croissance et leurs relations avec les facteurs du milieu

La comparaison des principaux caractères dendrométriques des classes de croissance a été abordée par l'analyse de la variance multiple (MORRISON, 1986). Mais ces classes de croissance, définies par un critère dendrométrique, ne donnent aucune information quant à leurs relations avec le milieu. Pour rendre plus facile

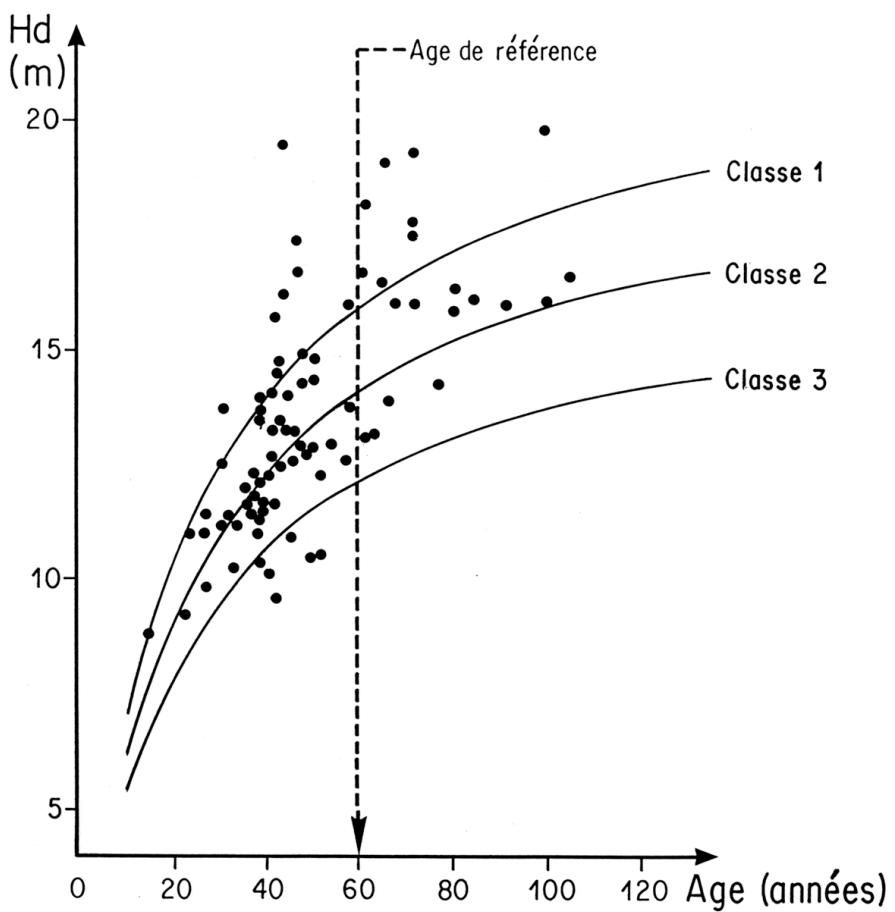


Fig. 2 : Courbe moyenne de la hauteur dominante en fonction de l'âge pour chacune des classes de croissance des pins d'Alep à Tamga (Maroc)

l'aménagement de cette forêt, et surtout pour mieux orienter le reboiseur quant au choix des essences, il est indispensable de faire un diagnostic phyto-écologique détaillé de ces classes, diagnostic abordé ici selon deux démarches complémentaires. Il s'agit, d'une part d'une méthode analytique basée sur l'étude des profils écologiques et sur le calcul de l'information mutuelle entre une espèce végétale et un descripteur du milieu (GOUNOT, 1969 ; GAUTHIER et al., 1977 ; DAGET & GODRON, 1982). Le mérite de cette méthode est son pouvoir de discrimination des descripteurs ainsi que la mise en évidence des groupes d'es-

pèces indicatrices. Dans cette approche analytique, pour mieux cerner les affinités des espèces vis-à-vis des classes de croissance, l'indice de site a été considéré comme un descripteur du milieu, ce qui permet d'avoir le comportement des espèces pour ce "descripteur".

D'autre part, une approche plus synthétique, basée sur l'analyse factorielle des correspondances (AFC), a été utilisée pour étudier les agencements entre les classes de l'indice de site, les groupes d'espèces indicatrices et les modalités des descripteurs efficaces du milieu, pour élaborer une typologie des stations (MERCIER et al., 1992 ; BECKER, 1979 ; PICARD, 1979).

Résultats

Croissance en hauteur

La structure du peuplement (Cf. Fig. 1) peut être considérée comme régulière d'après le test du Chi² ($\alpha = 0,05$), ce qui permet l'ajustement de plusieurs équations pour modéliser la croissance en hauteur (CARMEAN, 1972 ; LEMOINE, 1969), équations parmi lesquelles la meilleure s'est révélée être le modèle de Prodan, retenu sous la forme :

$$H_d - 1,30 = A / (1,4439 + 0,0519 A)$$

où H_d est la hauteur dominante du peuplement et A l'âge moyen de la placette à 1,30 m du sol.

Quant au choix du nombre de classes de croissance, toujours arbitraire, des considérations écologiques, en particulier dans la région, la grande amplitude écologique du pin d'Alep qui se trouve au contact du thuya de Berbérie (en bas de versant au niveau de Tillouguite) et du genévrier thurifère (*Juniperus thurifera* L.) en haut de versant à Tisselmit, nous ont conduits à distinguer trois classes (Cf. Fig. 2) dont les principales caractéristiques sont données dans le Tableau 1 :

- une **Classe 1** de bonne fertilité, dont l'indice de site S (H_d à 60 ans) est supérieur à 15 m (33 placettes),
- une **Classe 2** de fertilité moyenne, avec S compris entre 13,1 et 15 m (32 placettes),
- une **Classe 3** de fertilité médiocre, dont S est inférieur à 13,1 m (17 placettes).

Les valeurs moyennes des principales variables descriptives du peuplement sont statistiquement différentes entre ces trois classes (hauteur dominante moyenne, indice de site, surface terrière moyenne, volume moyen total et accroissement moyen en volume).

Croissance en hauteur et facteurs du milieu

Méthode analytique (profils écologiques)

La "hiérarchie" des descripteurs du milieu est un indice du rôle joué par chacun d'eux sur l'organisation des espèces vis-à-vis des descripteurs (DAGET & GODRON, 1982). Cette hiérarchie est obtenue par un graphique portant en abscisse l'entropie $H(L)$ du

Variables dendrométriques	Classes de l'indice de site								
	1			2			3		
	Moyennes et intervalle de confiance ($\alpha = 0,05$)	Valeurs extrêmes		Moyennes et intervalle de confiance ($\alpha = 0,05$)	Valeurs extrêmes		Moyennes et intervalle de confiance ($\alpha = 0,05$)	Valeurs extrêmes	
Indice de site (m)	16,9 + 0,6	22,4	15,2	13,9 + 0,2	15,0	13,2	12,3 + 0,5	13,1	10,5
Hauteur dominante moyenne (m)	15,9 + 0,9	19,8	8,8	12,9 + 0,6	16,5	9,2	11,3 + 0,6	13,2	9,7
Hauteur moyenne (m)	14,8 + 0,9	20,3	8,2	12,4 + 0,8	16,5	9,0	11,0 + 0,9	14,0	8,0
Circonférence moyenne à 1,30 m (cm)	115,0 + 10,1	176,2	65,3	100,8 + 12,8	206,0	67,6	87,0 + 10,7	139,8	65,5
Volume moyen total (m ³)	94,406 + 21,971	278,130	8,124	58,437 + 10,832	102,258	12,887	42,201 + 15,349	130,812	9,436
Age moyen (années)	51,2 + 6,4	100,0	14,7	50,0 + 7,8	105,0	22,0	45,0 + 5,2	63,3	27,0
Densité moyenne (tiges ha ⁻¹)	127,3 + 14,0	200,0	40,0	142,9 + 24,9	400,0	40,0	151,8 + 26,1	260,0	80,0
Surface terrière moyenne (m ² ha ⁻¹)	10,6 + 1,3	20,0	5,0	10,6 + 1,5	21,0	5,0	9,4 + 1,5	15,0	6,0
Accroissement moyen en circonférence (cm an ⁻¹)	2,0 + 4,1	3,0	1,4	1,7 + 0,1	2,5	1,2	1,6 + 0,2	2,1	1,2
Accroissement moyen en hauteur (m an ⁻¹)	0,30 + 0,02	0,4	0,2	0,2 + 0,02	0,3	0,1	0,2 + 0,02	0,3	0,1
Accroissement moyen en volume (m ³ ha ⁻¹ an ⁻¹)	1,401 + 0,265	3,901	0,343	0,856 + 0,122	1,963	0,347	0,722 + 0,202	1,801	0,186

Tab. I : Principales caractéristiques des trois classes de croissance de *Pinus halepensis* spontané au Maroc

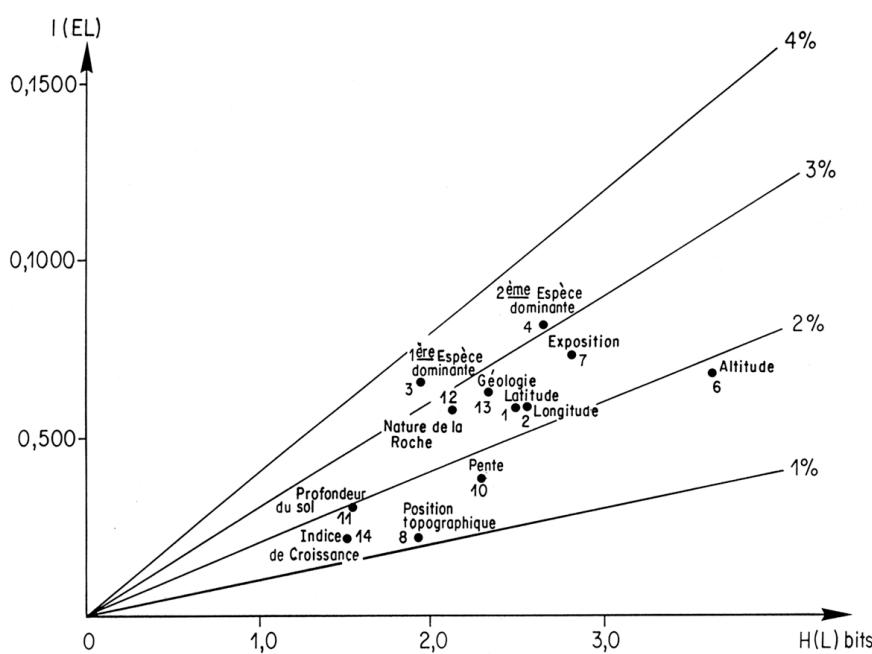


Fig. 3 : Efficacité des descripteurs du milieu en fonction de l'entropie, H(L), de chaque descripteur et de l'information mutuelle moyenne, I(EL), des 50 "meilleures" espèces

descripteur L qui peut être assimilée à la qualité de l'échantillonnage de ce descripteur (un descripteur est bien échantillonné quand il y a le même nombre de relevés dans chacune de ses classes), et en ordonnée l'information mutuelle moyenne, I(EL), des profils des espèces pour chaque descripteur (la valeur de I(EL) est élevée si l'espèce E "réagit" fortement au descripteur L). Dans cette étude n'ont été retenues pour établir cette moyenne que les 50 espèces qui apportent le plus d'information (Cf. Fig. 3). De cette hiérarchie il découle que les descripteurs altitude, exposition et deuxième espèce dominante sont efficaces et bien échantillonnés ; les descripteurs première espèce dominante, nature de la roche, géologie, latitude et longitude ont une information mutuelle également élevée, mais par contre leur entropie est plus faible (descripteurs mal échantillonnés). Le reste des descripteurs,

moyennement à mal échantillonnés, est peu efficace, y compris d'ailleurs l'indice de croissance S pris ici comme "descripteur du milieu" de la végétation. Nous avons néanmoins considéré les espèces indicatrices des trois classes de croissance, en les répartissant dans certains cas en sous-groupes à partir des informations acquises pour les autres descripteurs.

● Espèces indicatrices de la Classe 1 bonne fertilité

- Sous-groupe 1 : *Arbutus unedo* L., *Neotinea maculata* (Desf.) Stearn, *Globularia nainii* Batt., *Polygala rupestris* Pourret, *Thymus zygis* L.. Ce sous-groupe, peu cohérent, semble indiquer des sols peu profonds en bioclimat semi-aride à subhumide frais ;

- Sous-groupe 2 : *Onobrychis saxatilis* (L.) Lam., *Ononis pusilla* L. et *Psoralea bituminosa* L. Ces espèces notées surtout dans les basses altitudes de la vallée, correspondent généralement à des sols peu profonds en bioclimat semi-aride tempéré.

● Espèces indicatrices de la Classe 2 fertilité moyenne

Carex hallerana Asso, *Cistus villosus* L., *Festuca rubra* L. et *Stipa tenacissima* L.. On doit considérer ces espèces comme indicatrices localement dans le cadre de l'échantillonnage. *Cistus villosus* et *Festuca rubra* indiquent respectivement des milieux de dégradation et des milieux forestiers (Ben Abid, communication personnelle) en bioclimat frais à froid et *Carex hallerana*, souvent observée dans ces milieux, se trouve aussi à d'autres altitudes dans la vallée.

● Espèces indicatrices de la Classe 3 fertilité médiocre

- Sous-groupe 1 : *Fumana ericoides* (Cav.) Gand, *Fumana thymifolia* (L.) Spach ex Webb, *Helianthemum virgatum* (Desf.) Pers., *Juniperus phoenicea* L. et *Tetraclinis articulata*.

Ce groupe bien individualisé en contact avec la tétraclinaie est lié à des sols superficiels et aux milieux les plus chauds en bioclimat semi-aride tempéré.

- Sous-groupe 2 : *Genista pseudopilosa* Cosson, *Chrysanthemum gayanum* Ball., *Polygala balansae* Cosson et *Thymus saturejoides* Cosson. Ces espèces sont par contre d'écologie mal

définie, plutôt liées aux milieux frais du fond de la vallée.

De ces trois groupes d'espèces indicatrices il ressort que, s'il est facile de trouver un groupe d'espèces indicatrices bien individualisé pour la Classe 3 de croissance (c'est-à-dire la moins productive, très souvent proche de la tétraclinaie), il n'en est pas de même pour le deux autres classes, d'où l'approche de la question par l'analyse factorielle des correspondances.

Analyse factorielle des correspondances

L'analyse factorielle des correspondances a été effectuée sur l'ensemble des espèces et celui des états des descripteurs du milieu en ne retenant que les espèces présentes dans plus de trois placettes et les descripteurs efficaces tels que définis ci-dessus, en y ajoutant toutefois la profondeur du sol jugée très utile et l'indice de croissance S.

Dans cette analyse (Cf. Tab. II) les cinq premiers axes absorbent 63,5 % de l'inertie du nuage de points, avec une forte prépondérance du premier axe factoriel (21,5 %). Dans les plans factoriels 1-2 et 1-3 nous avons tracé l'enveloppe des points représentant une classe de croissance et des espèces correspondant à cette classe telles qu'elles ont été définies à partir des résultats des profils écologiques.

Si on examine le plan factoriel 1-2 (Cf. Fig. 4), il apparaît que l'axe 1 met en opposition la première et la troisième classe de croissance. Sur la partie droite de cet axe, on retrouve la Classe 3 (fertilité médiocre) avec son cortège floristique de basse altitude, sur sols superficiels et sur versants chauds. Les espèces *Polygala balansae* et *Chrysanthemum gayanum*, présentes moins de 4 fois, n'apparaissent pas dans ce groupe. Ce cortège déjà mis en évidence par les profils écologiques, correspond à l'étage thermoméditerranéen supérieur (QUEZEL, 1976) et à un bioclimat semi-aride tempéré (EMBERGER, 1955).

Sur la partie gauche de cet axe 1, la Classe 1 (bonne fertilité) correspond aux formations à *Arbutus unedo* et surtout aux altitudes moyennes (1 500 m environ) sur sols profonds et sur versants frais. Les quelques espèces caractéristiques de cette Classe 1 (*Arbutus*

Axes	%
1	21,5
2	13,5
3	11,2
4	10,0
5	7,3
Total	65,3

Tab. II : Taux (%)de l'inertie absorbée par les 5 premiers axes de l'analyse factorielle des correspondances entre espèces et classes des descripteurs du milieu pour les formations spontanées de *Pinus halepensis* au Maroc

unedo, *Neotinea maculata*, *Polygala rupestris*, *Onobrychis saxatilis* et *Globularia nainii*) confirment qu'elle est dans l'étage méso-méditerranéen proposé par Barbéro (communication personnelle) et dans l'étage bioclimatique sub-humide frais. L'axe 2 qui absorbe une moindre part de l'inertie (13,5 %), pourtant non négligeable, est d'interprétation difficile.

L'examen du plan factoriel 1-3 (Cf. Fig. 5) montre que l'axe 3 fait ressortir la deuxième classe de croissance. Cette classe, assez hétérogène, correspond essentiellement aux milieux d'assez haute altitude, sur sols moyennement profonds et en versant nord. Les quelques espèces qui apparaissent près du point représentant cette classe (*Festuca rubra*, *Cistus villosus*, *Carex hallerana*, *Stipa tenacissima*) se placent plus particulièrement dans l'étage de végétation méditerranéen supérieur (BARBÉRO, communication personnelle) et dans l'étage bioclimatique sub-humide frais à froid.

Les résultats de l'analyse factorielle des correspondances sont donc cohérents avec ceux obtenus par la méthode analytique des profils écologiques et la typologie écologique suivante des classes de croissance peut être proposée :

- la Classe de croissance 1 (bonne fertilité) correspond aux formations à arbousier (*Arbutus unedo*), sur sols profonds et versants frais en bio-climat subhumide,

- la Classe de croissance 2 (fertilité moyenne), aux contours moins précis, correspond essentiellement aux formations assez dégradées d'altitude, sur sols moyennement profonds et aux versants frais à froids en bioclimat subhumide frais à froid,

- la Classe de croissance 3 (fertilité médiocre), la mieux définie, se place dans les formations en contact avec la tétraclinaie, sur sols superficiels en versants chauds et en bioclimat semi aride tempéré.

Conclusion

Comme cela avait été suggéré antérieurement par Emberger (1939), nous concluons à la large amplitude écolo-

gique des peuplements naturels de pin d'Alep de la vallée de Tamga (Haut Atlas marocain) présent à l'étage supérieur du thuya de Berbérie, à celui du chêne vert et, sur le haut de versants à l'abri des vents d'ouest, à celui du genévrier thurifère entre 2 200 et 2 400 m.

L'étude de productivité basée sur le concept de hauteur dominante, a défini trois classes de croissance dans ces peuplements. La première et la troisième classe (produisant respectivement $1,40 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$ et $0,72 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$) correspondent à des caractères phytogéologiques nets (formations à arbousier et formation de la tétraclinaie). La deuxième classe, avec une production moyenne de $0,85 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$, est moins bien différenciée sur le

plan phytogéologique. En se basant à la fois sur l'analyse des profils écologiques et sur l'analyse factorielle des correspondances, on peut la rattacher aux formations des étages bioclimatiques sub-humides frais à froid de la vallée.

Outre leur grande plasticité écologique, les peuplements naturels de pin d'Alep de Tamga apparaissent aussi intéressants du point de vue de la productivité, qui, dans les pinèdes du Haut Atlas de Marrakech (Zerkten et Amizmiz) varie entre $1,275 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$ pour la Classe 1 et $0,787 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$ pour la Classe 2 (ASSAHNAN, 1993). Ils sont plus productifs que ceux d'Algérie ou de Tunisie (BOUDY, 1950) avec un accroissement moyen de l'ordre de $1 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$ pour les

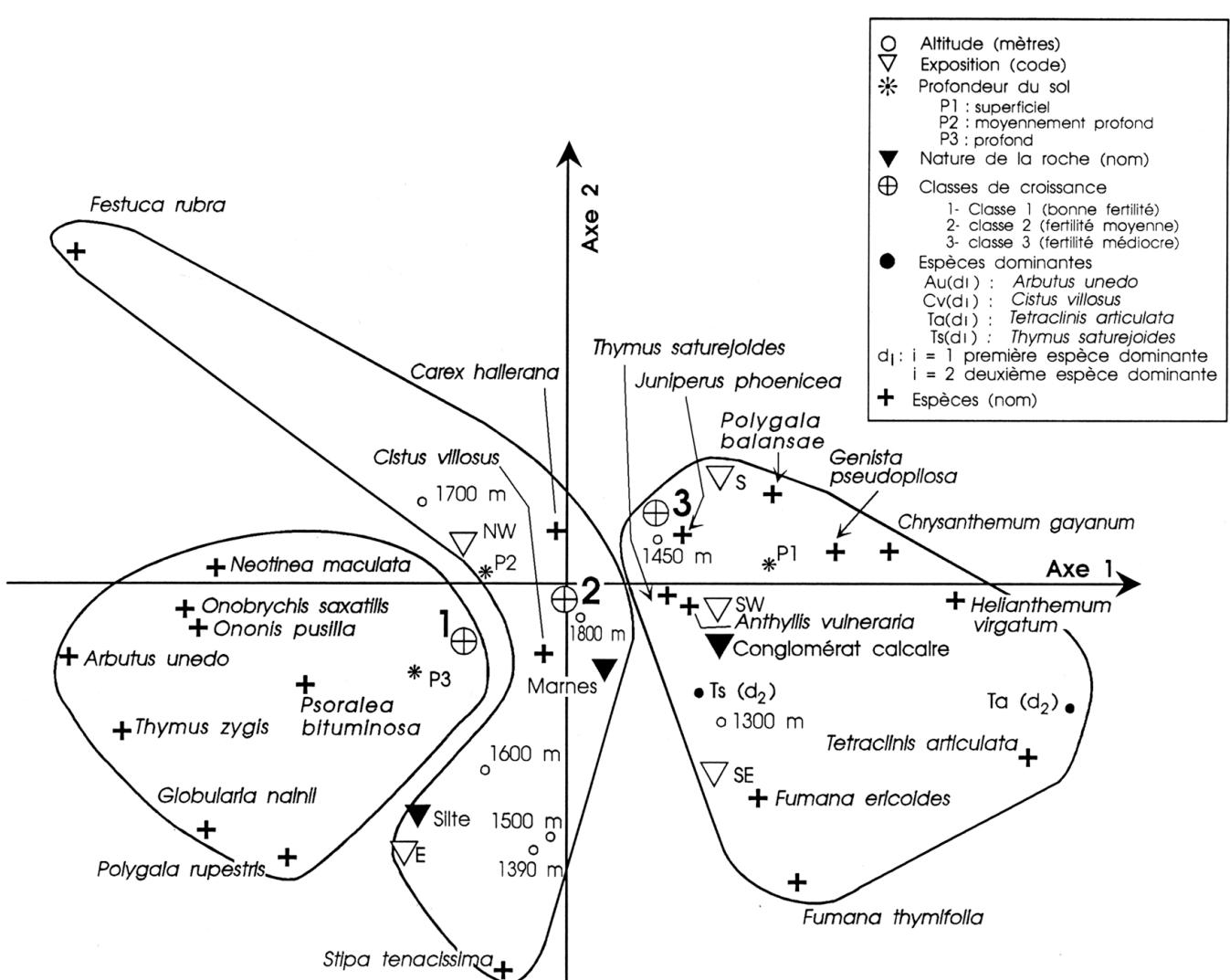


Fig. 4 : Analyse factorielle des correspondances entre espèces et classes des descripteurs du milieu. Représentation des espèces dans le plan factoriel 1-2

futaines pleines en Tunisie et un accroissement de 1,2 à 1,5 m³ ha⁻¹ an⁻¹ en bonnes conditions en Algérie. Un accroissement moyen de 0,30 à 0,86 m³ ha⁻¹ an⁻¹ a été aussi cité pour les 100 000 ha de pin d'Alep en Tunisie (SOULERES, 1975). En France (PARDE, 1957 ; NAHAL, 1962), on signale des accroissements variant de 1 m³ ha⁻¹ an⁻¹, dans les classes médiocres, à 5 m³ ha⁻¹ an⁻¹ dans les classes exceptionnelles.

Les peuplements naturels de pin d'Alep de Tamga devraient retenir l'attention des forestiers, non seulement pour leur production locale, mais aussi pour leur utilisation dans les reboisements hors de la zone d'étude. La forme particulière de arbres de ces peuplements suggère également que

des études génétiques soient menées pour préciser leur originalité intrinsèque.

B.B., M.E., F.R.

Bibliographie

AKRIMI N., 1986 - Production ligneuse des peuplements de pin d'Alep (*Pinus halepensis* Miller) de la forêt de Sakiet Sidi Youssef (Tunisie). *Ecologia Mediterranea*, 12 : 237-253.

ALDER D., 1980 - Estimation des volumes et accroissement des peuplements forestiers. Etude et prévision de la production. Etude FAO, Rome. Forêt, 22 : 1-229.

ASSAHNAN L., 1993 - Ecologie et productivité de *Pinus halepensis* Mill. en peuplements naturels du Haut Atlas occidental (cas des pinèdes de Zerkten et d'Amizmiz). Mémoire 3ème cycle. Ecole Nationale Forestière d'Ingénieurs, Salé (Maroc), 102 p. + annexes.

AZEBIA M., 1981 - Contribution à l'étude du comportement de la productivité de *Pinus halepensis* Mill. dans les reboisements du versant nord du Haut Atlas central (secteur oriental : Aït Ourir, Tizi N'Tichka). Mémoire 3ème cycle Eaux et Forêts, Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Rabat.

BARBERO M., BONIN G., LOISEL R., MIGLIORETTI F. & QUEZEL P., 1987 - Incidence of exogenous factors on the regeneration of *Pinus halepensis* after fires. *Ecologia Mediterranea*, 13 : 51-56.

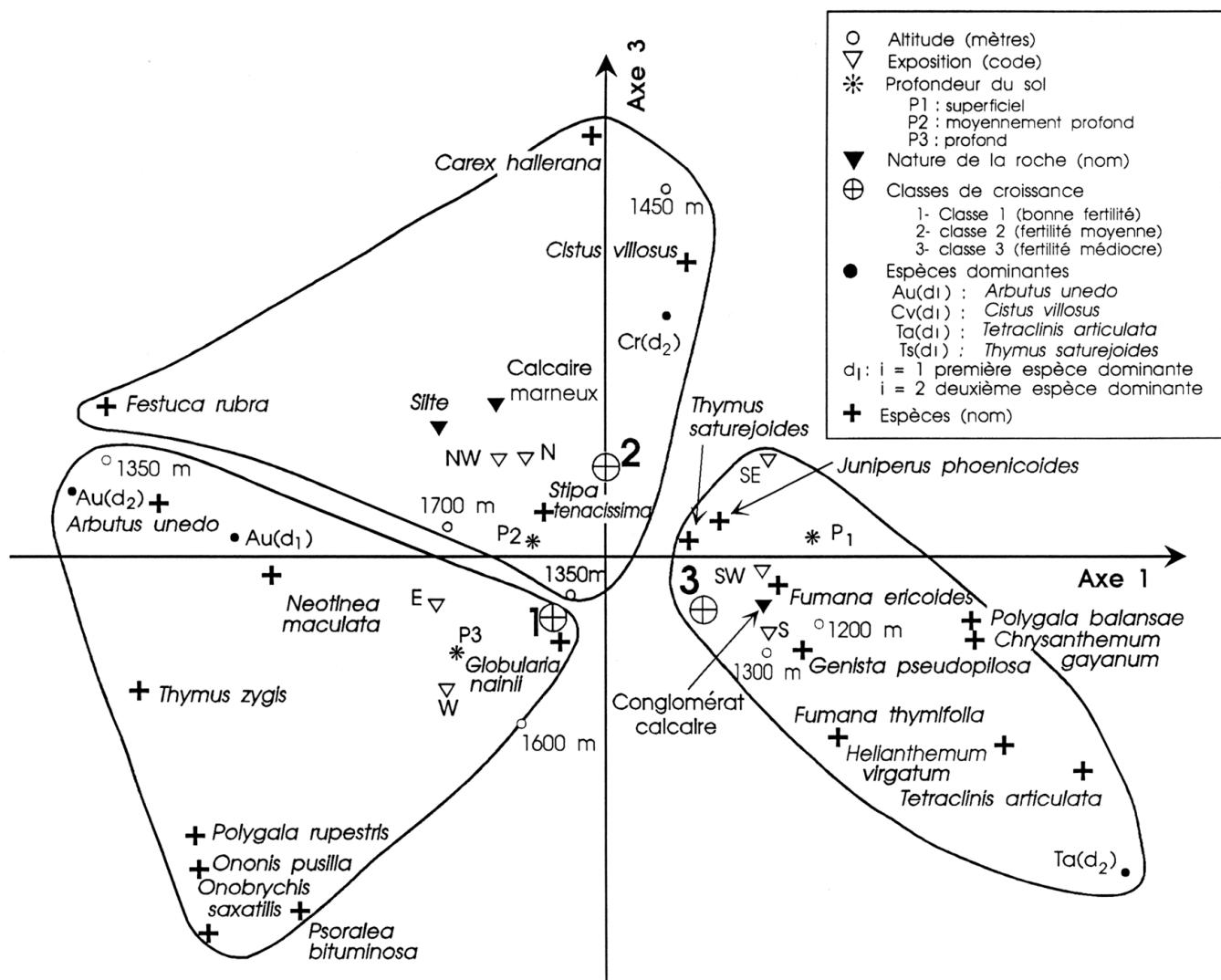


Fig. 5 : Analyse factorielle des correspondances entre espèces et classes des descripteurs du milieu. Représentation des espèces dans le plan factoriel 1-3

- 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. Relation avec la productivité et la qualité du hêtre et du chêne. Annales des Sciences Forestières, 36 : 93-124.
- BOUDY P., 1950 - Economie forestière nord africaine. Monographie et traitement des essences forestières. Larose, Paris, Fasc. II : 639-690.
- BRICKELL J. E., 1968 - A method for constructing site index curves from measurements of tree age and height. Its application to inland Douglas fir. USDA Forest Service Research ; Paper INT - 47. Intermountain Forest and Range experimental Station, Ogden, Utah, 23 p.
- CARMEAN W. H., 1972 - Site index curves for upland oaks in the central states. Forest Science, 18 : 109-120.
- COMMERÇON R., 1984 - Comportement du pin laricio en région méditerranéenne française. Mémoire Ecole Nationale des Ingénieurs des Travaux des Eaux et Forêts (Nogent sur Vernisson) & CEMAGREF, Groupement d'Aix-en-Provence, 87 p.
- DAGET P. & GODRON M., 1982 - Analyse de l'écologie des espèces dans les communautés. Collection. Ecologie, n° 18, Masson, Paris, 163 p.
- DAGNELIE P., 1956 - Recherches sur la productivité des hêtraies d'Ardennes en relation avec les types phytosociologiques et les facteurs écologiques (1^{re} et 2^{ème} partie). Bulletin de l'Institut Agronomique de Gembloux, 24 : 249-284 et 369-410.
- DAGNELIE P., 1957 - Recherches sur la productivité des hêtraies d'Ardennes en relation avec les types phytosociologiques et les facteurs écologiques (3^{ème} partie). Bulletin de l'Institut Agronomique de Gembloux, 25 : 44-94.
- DECOURT N., 1973 - Production primaire production utile : méthodes d'évaluation, indices de productivité. Annales des Sciences Forestières, 30 : 219-238.
- DECOURT N. & LEVY G., 1974 - La productivité de l'épicéa sur les sols hydromorphes de Lorraine : mesure et caractéristiques générales. Annales des Sciences Forestières, 31 : 71-82.
- EMBERGER L., 1939. Aperçu général sur la végétation du Maroc. Commentaire de la carte phytogéographique du Maroc au 1/1 500 000^{ème}. Veröffentlichungen des Geobotanischen Instituts Rübel, Zürich, Volume 14 et Mémoires d'Histoire et Sciences Naturelles du Maroc Volume de 1939 : 40-157.
- EMBERGER L., 1955 - Une classification biogéographique des climats. Recueil des Travaux du Laboratoire de Géologie & Zoologie de l'Université de Montpellier, série Botanique, 7 : 3-43.
- FAO, 1970 - Plan National de Reboisement. Direction des Eaux et Forêts et de la Conservation des sols, Rabat, n° AT2803, 92 p.
- GARCIA PIE C., VANRELL P., MOREY M., 1995 - Litter fall and decomposition in a Pinus forest on Mallorca. Journal of Vegetation Science, 6 : 17-22.
- GAUTHIER B., GODRON M., HIERNAUX P., LEPART J., 1977 - Un type complémentaire de profil écologique : le profil écologique " indicé ". Journal Canadien de Botanique, 55 : 2859-2865.
- GODRON M., DAGET P., EMBERGER L., LONG G., LE FLOC'H E., POISSONNET J., SAUVAGE C. & WACQUANT J. P., 1968 - Code pour le relevé méthodologique de la végétation et du milieu. Editions du Centre National de la Recherche Scientifique, Paris, 292 p.
- GOUNOT M., 1969 - Méthode d'étude quantitative de la végétation. Masson & Cie, Paris, 314 p.
- KUTIEL P. & NAVEH Z., 1987a - Soil properties beneath *Pinus halepensis* and *Quercus calliprinos* trees burned and unburned mixed forest of Mt Carmel, Israel. Forest Ecology and Management, 20 : 11-24.
- KUTIEL P. & NAVEH Z., 1987b - The effects of fire on nutrients in a pine forest soil. Plant Soil, 104 : 269-274.
- LE GOFF N., 1982 - Productivité du frêne en région Nord-Picardie. A - Courbes de croissance en hauteur. Annales des Sciences Forestières, 39 : 259-288.
- LEMOINE B., 1969 - Le pin maritime dans les Landes de Gascogne. Etude des relations d'allométrie concernant le volume des peuplements en liaison avec certaines caractéristiques de la station. Annales des Sciences Forestières, 26 : 445-473.
- LEPART J. & DEBUSSCHE M., 1991 - Invasion processes as related to succession and disturbance. In " Biogeography of Mediterranean invasions ", Groves R. H. & di Castri F. Eds. Cambridge University Press : 159-177.
- MERCIER P., CHESSEL D. & DOLEDEC S., 1992 - Complete correspon-dence analysis of an ecological profile data table: a central ordination method. Acta Oecologica, 13 : 25-44.
- MORRISON D. F., 1986 - Multivariate statistical methods. Mc Graw Hill Inc, 415 p.
- NAHAL L., 1962 - Le pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill). Etude taxonomique, phytogéographique, écologique et sylvicole. Annales de l'Ecole Nationale des Eaux & Forêts, 19 : 1-208.
- OTTORINI J.M., 1981 - Application des données de l'Inventaire Forestier National à l'étude de la production du pin sylvestre en Margeride. B - Etude de la production totale en volume. Annales des Sciences Forestières, 38 : 487-502.
- PARDE J., 1956 - Une notion pleine d'intérêt : la hauteur dominante des peuplements forestiers. Revue Forestière Française, 12 : 850-856.
- PARDE J., 1957. La productivité des forêts de pin d'Alep en France. Annales de l'Ecole Nationale des Eaux & Forêts, 15 : 368-411.
- PARDE J. & BOUCHON J., 1988. Dendrométrie. Editions de l'Ecole Nationale du Génie Rural des Eaux et Forêts, Nancy, 328 p.
- PICARD J.F., 1979 - Une méthode de définition des stations en forêt : Application à la forêt domaniale de Bellême. Annales des Sciences Forestières, 36 : 211-229.
- QUEZEL P., 1976 - Les forêts du pourtour méditerranéen. Ecologie, conservation et aménagement. Man And Biosphere 2, Note Technique UNESCO, Paris : 9-34.
- RAPP M., 1990. Nitrogen status and mineralization in natural and disturbed mediterranean forest and coppices. Plant Soil, 128 : 21-30.
- SOULERES G., 1975 - Classes de fertilité et production des forêts tunisiennes de pin d'Alep. Revue Forestière Française, 27 : 41-49.
- STAGES A. R., 1963 - A mathematical approach to polymorphic site index curves for Grand fir. Forest Science, 9 : 167-180.
- TRABAUD L., MARTINEZ SANCHEZ P., FERRANDIS P., GONZALEZ OCCHA A. & HERRANZ J. M., 1997 - Végétation épigée et banque de semences du sol : leur contribution à la stabilité cyclique des pinèdes mixtes de *Pinus halepensis* et *P. pinaster*. Journal Canadien de Botanique, 75 : 1012-1021.

Résumé

La forêt de pin d'Alep (*Pinus halepensis Miller*) de Tamga (Haut Atlas occidental du Maroc), encaissée dans la vallée de l'oued Ahansal, est caractérisée par une production remarquable par rapport aux performances habituelles de cette espèce. Notre étude a défini des classes de croissance dans cette pinède et a mis en évidence les facteurs du milieu susceptibles d'expliquer ces classes. L'étude de la productivité à partir de la notion de hauteur dominante à l'âge de référence de 60 ans, permet de proposer trois classes de croissance dont les moyennes de production sont de 1,4, 0,9 et 0,7 m³ ha⁻¹ an⁻¹. Une analyse de la variance multiple des variables dendrométriques montre que ces classes sont statistiquement différentes.

Mots clé : Haut Atlas ; Maroc ; *Pinus halepensis* ; Productivité ; Reboisement.

Summary

The productivity of Aleppo pine (*Pinus halepensis Miller*) in natural populations (Tamga forest, High Atlas, Morocco)

The natural forest of Aleppo pine (*Pinus halepensis Miller*) is rather scarce in Morocco, in comparison with the large areas afforested by this species. With this perspective in mind, the largest natural populations situated in the Tamga region (High Atlas) was studied in order to assess productivity levels and define the role they might play in afforestation in Morocco.

A site index (dominant height at 60 years) for this forest has been proposed and estimated. The productivity was quite high compared to the usual results of this tree species. Three growth classes based on dominant height at 60 years show average productivity of 1.4 m³ ha⁻¹, 0.9, and 0.7.

Using the ecological profile technique and factorial analysis, we also proposed for each class of the site index the main corresponding environmental factors and plant species groups. A clear connection exists between classes 1 and 3 and a particular group of plant species which could be useful in improving the management of these forests. On the other hand, it was more difficult to find a corresponding group for class 2.

Keywords : High Atlas; Morocco; *Pinus halepensis* Miller; Productivity; Afforestation.

ملخص:

إن انتاجية مجتمعات الصنوبر الحلبي الطبيعية (*Pinus halepensis Miller*) في غابة تمغا (الأطلس الأعلى-المغرب) بم. بلغازى، و. الزهيرى، فـ. رومان

إن مجتمعات الصنوبر الحلبي الطبيعية نادرة جداً في المغرب، بينما هناك مساحات واسعة مغروسة بهذا النوع ضمن إطار مشاريع إعادة تشجير. تمت دراسة المجتمعات الطبيعية الأكبر و الواقعه في منطقة تمغا (الأطلس الأعلى) و ذلك من أجل تقدير الإنتاجية و تحديد الدور الذي يمكن أن يلعبه هذا النوع في خطط التشجير في المغرب.

تم إعداد و تقويم دليل موقع من أجل غابات تمغا و هو الارتفاع السائد بعمر ٦٠ عام. وجد أن الإنتاجية كانت عالية جداً بالنسبة للنتائج المسجلة عادة من أجل اشجار هذا النوع. و تمت ملاحظة ثلاثة مستويات مختلفة معنوية من حيث الإنتاجية في الأشجار بعمر ٦٠ عام (العمر المرجع) و هي: المستوى ١، ٢ و ٣ من أجل الإنتاجية ١,٤ ٠,٩ و ٠,٧ م^٣ هكتار على التوالي. لقد استخدمنا كذلك تقنية المتغيرات البيئية و تحليل التطابق من أجل تحديد العوامل البيئية الرئيسية و بجموعات الأنواع النباتية المموافقة لكل مستوى من مستويات دليل الموقع. المستويان الأول و الثالث من الإنتاجية كانوا مرتبطين بشدة مع مجموعة محددة من الأنواع النباتية مما يمكن أن يفيد في تحسين إدارة هذه الغابات. و كان إيجاد مجموعة موافقة بالنسبة للمستوى الثاني هو أكثر صعوبة.