

Productivité de peuplements naturels de pin d'Alep (*Pinus halepensis* Miller) dans la forêt de Tamga (Haut Atlas, Maroc)

Bakhiyi Belghazi, Mustapha Ezzahiri, François Romane

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 [1] de chênes verts (*Quercus ilex* L.), de thuyas de Berbérie (*Tetraclinis articulata* [Vahl.] Masters) ou de genévriers 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 dépérissants ou mal venants. Toutefois, le Maroc, très déficitaire en bois d'œuvre, notamment en résineux, pourrait, par une exploitation rationnelle de ces pinèdes, réduire les importations massives de ce produit. Le pin d'Alep, en raison de sa rusticité et de sa plasticité, est une des premières essences à avoir été

utilisées pour le reboisement au Maroc, et ce dès 1920-1925 [2]. Le Plan national de reboisement de 1970 [3] l'a retenu comme base pour les reboisements artificiels avec 130 000 ha plantés, soit environ 40 % du total.

C'est cependant l'une des essences autochtones les moins étudiées, les travaux disponibles portant surtout sur sa dynamique après le feu [4-7], sur son fonctionnement [8-10] mais très peu sur sa productivité [11-14]. 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 du Maroc et même du bassin méditerranéen (Quézel, communication personnelle). Les pins d'Alep qui la composent sont caractérisés par la rectitude de leur tronc et l'élanement particulier des arbres qui les distinguent nettement de ceux des peuplements du reste du Maroc et du sud de la France. Les objectifs de notre étude ont été 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 aménagements.

ture aérienne panchromatique noir et blanc (1/30 000) 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 leur état de développement et de leur consistance.

Sur un total de 82 placettes circulaires de 5 ares, réparties dans des peuplements aussi réguliers que possible, selon la répartition proportionnelle entre strates et d'une manière systématique à l'intérieur de chaque strate, il a été procédé :

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

- à l'estimation au relascope de Bitterlich de la hauteur totale des 5 plus gros arbres de la placette (arbres dominants) ;

- au sondage à la tarière de Pressler (à 1,30 m du sol) de 3 arbres échantillons, 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 ;

- à l'inventaire de la végétation et du milieu [15], par relevé des descripteurs topo-climatiques (altitude, exposition, pente, position topographique) et édaphiques (profondeur du sol, nature de la roche mère), ainsi que par la description de la végétation (espèces et leurs recouvrements, première et deuxième espèces dominantes), de la géologie, de la latitude et de la longitude.

Matériel et méthodes

Échantillonnage

L'hétérogénéité et la diversité des faciès ont imposé une stratification de l'échantillonnage de la population. Une couver-

B. Belghazi, M. Ezzahiri : École nationale forestière d'ingénieurs, BP 511, 15000 Salé, Maroc.

F. Romane : CNRS-CEFE, UPR 9056, 1919, route de Mende, 34293 Montpellier cedex 5, France.

Tirés à part : F. Romane

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 [16-18] parmi lesquelles nous avons retenu la méthode indirecte fondée sur le concept de hauteur dominante du peuplement à un âge de référence donné [19]. Le choix d'un modèle de croissance de la hauteur dominante peut alors être fait selon deux approches, polymorphique et anamorphique. L'approche polymorphique 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 et comme il a été impossible de faire des analyses de tige, méthode destructrice trop coûteuse en 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 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 [16, 17]. Les courbes de croissance étant des courbes affines, elles se déduisent les unes des autres [20-22]. 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 [16, 17, 23]. La croissance en hauteur dominante en fonction de l'âge a été mesurée à 1,30 m du sol [24, 25] et ajustée sur la base d'observations moyennes (hauteur moyenne et âge moyen des 5 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), ou 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 [26]. 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 [27]. 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

Encadré

L'analyse de variance multiple

Le principe de cette analyse repose sur l'expression

$$(n - 1 - (p + q)/2) \text{Ln}\Omega(x)$$

où n est la taille de l'échantillon, p le nombre de composantes du vecteur moyen, q le nombre de classes (de vecteurs moyens) à comparer, Ln la fonction logarithme népérien, et l'expression

$$\Omega = |\Sigma_1|/|\Sigma_2| \text{ avec } |\Sigma_1|$$

déterminant de la matrice de variation totale et $|\Sigma_2|$ celui de la matrice de variation résiduelle. Cette expression suit approximativement la loi du Chi carré avec $p(q - 1)$ degrés de liberté. Dans le cas où cette analyse confirme une différence globale des vecteurs moyens étudiés, il est alors utile de comparer ces vecteurs deux à deux grâce au test de Hotelling fondé sur la statistique

$$T^2 = n (\bar{X} - \mu)' S^{-1} (\bar{X} - \mu)$$

où \bar{X} est le vecteur moyen, μ son espérance mathématique, $(\bar{X} - \mu)'$ le vecteur transposé et S^{-1} l'inverse de la matrice des variances et covariances observées. Si on considère que les deux vecteurs moyens à comparer - $\bar{X}^{(1)}$ et $\bar{X}^{(2)}$ - ne sont pas différents au risque α , alors la quantité

$$Q = ([n_1 + n_2 - p - 1] T_0^2) / (p [n_1 + n_2 - 2])$$

suit un F ($p, [n_1 + n_2 - p - 1]$) où n_1 et n_2 sont la taille des deux échantillons, T_0^2 la statistique de Hotelling relative à la différence des deux vecteurs et F la statistique de Fisher-Snedecor.

Multiple variance analysis

hauteurs dominantes sont différentes d'une valeur d'environ 2 à 3 m [28], pour autant que la structure du peuplement (répartition 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 [29] (*encadré*). 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 l'aménagement de cette forêt et, surtout, pour mieux orienter le reboiseur sur le choix des essences, il est indispensable de faire leur diagnostic phyto-écologique détaillé, diagnostic abordé ici selon deux démarches complémentaires. Il s'agit, d'une part, d'une méthode analytique fondée sur l'étude des profils écologiques et sur le calcul de l'information mutuelle entre une espèce végétale et un descripteur du milieu [30-32]. Le mérite de cette méthode est son pouvoir de discrimination des descripteurs ainsi

que la mise en évidence des groupes d'espèces 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, fondée sur l'analyse factorielle des correspondances (AFC) [33], 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, afin d'élaborer une typologie des stations [34, 35].

Résultats

Croissance en hauteur

La structure du peuplement (*figure 1*) peut être considérée comme régulière d'après le test du Chi carré ($\alpha = 0,05$), ce qui permet l'ajustement de 3 modèles classiques pour modéliser la croissance en hauteur :

- le modèle de Schumacher [20] :

$$H_d - 1,30 = b_0 \exp(-b_1/A^k)$$

où H_d est la hauteur dominante du peuplement, A l'âge moyen de la placette à

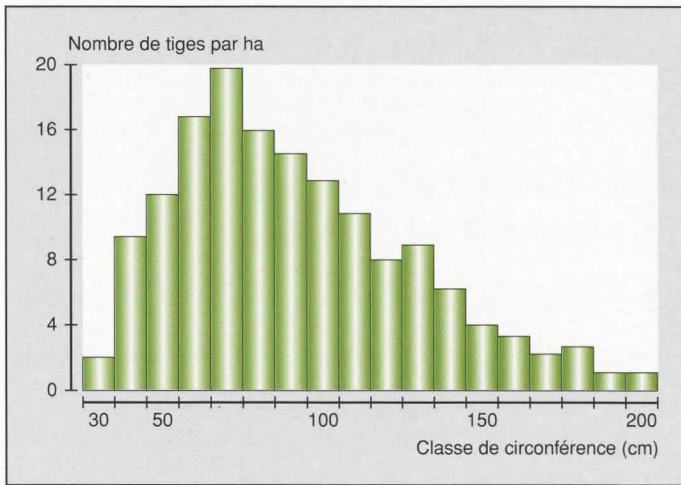


Figure 1. Histogramme de fréquence des pins d'Alep en fonction des classes de circonférence des arbres à Tamga (Maroc).

Figure 1. Histogramme of Aleppo pine frequency as a function of trunk circumference classes in Tamga forest (Morocco).

Tableau 1

Taux d'inertie absorbé 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

Axe	Taux d'inertie (%)
1	21,5
2	13,5
3	11,2
4	10,0
5	7,3
Total	65,3

Inertia rate represented by the first five axes in a correspondence analysis comparing species and environmental descriptor classes for wild *Pinus halepensis* stands in Morocco

1,30 m du sol et b_0 , b_1 et k des coefficients de régression à estimer ;
 – le modèle allométrique [36] :
 $H_d - 1,30 = b_0 A^{b_1}$;
 – le modèle de Prodan :
 $H_d - 1,30 = A^2 / (b_0 + b_1 A + b_2 A^2)$.

L'estimation des paramètres des 3 modèles a été effectuée après linéarisation, par la technique de la régression linéaire. Pour le modèle de Schumacher, cette linéarisation a été réalisée en fixant pour k une valeur égale à 0,5 puis 1,0 et 2,0 [21].

La comparaison des 3 modèles, en se fondant sur des critères statistiques (indice de Furnival, ou I, coefficient de détermination R^2 , répartition des résidus), nous a conduits à choisir le modèle de Prodan retenu sous la forme :

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

Quant au choix du nombre de classes de croissance, toujours arbitraire, des considérations écologiques, en particulier, pour 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 3 classes (tableau 1 et figure 2) :

- 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 15,0 m (32 placettes) ;
- une classe 3, de fertilité médiocre, dont S est inférieur à 13,1 m (17 placettes).

Sur le plan dendrométrique, l'analyse de la variance multiple des variables relative-

ment stables du peuplement (hauteur dominante moyenne, indice de site, surface terrière moyenne, volume moyen total et accroissement moyen en volume) montre que les 3 classes de croissance ne sont pas significativement toutes égales au risque $\alpha = 0,05$. La valeur de $(n - 1 - [p + q]/2) \text{Ln} \Omega(x)$ est égale à 52,4 alors que

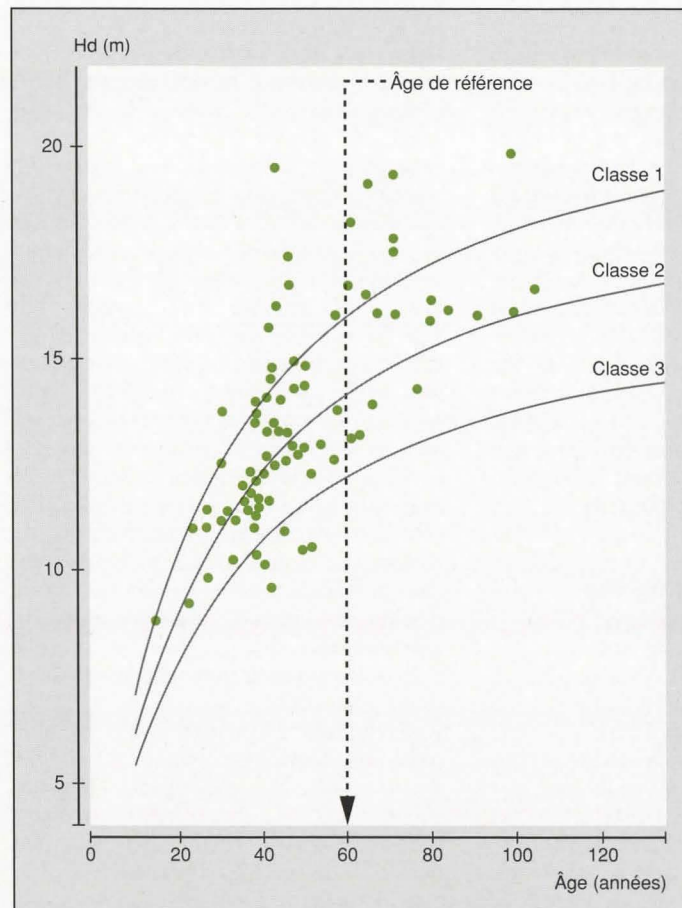


Figure 2. Courbe moyenne de la hauteur dominante en fonction de l'âge pour chacune des classes de croissance des pins d'Alep à Tamga (Maroc).

Figure 2. Mean curve for dominant tree heights as a function of age for each Aleppo pine growth class in Tamga forest (Morocco).

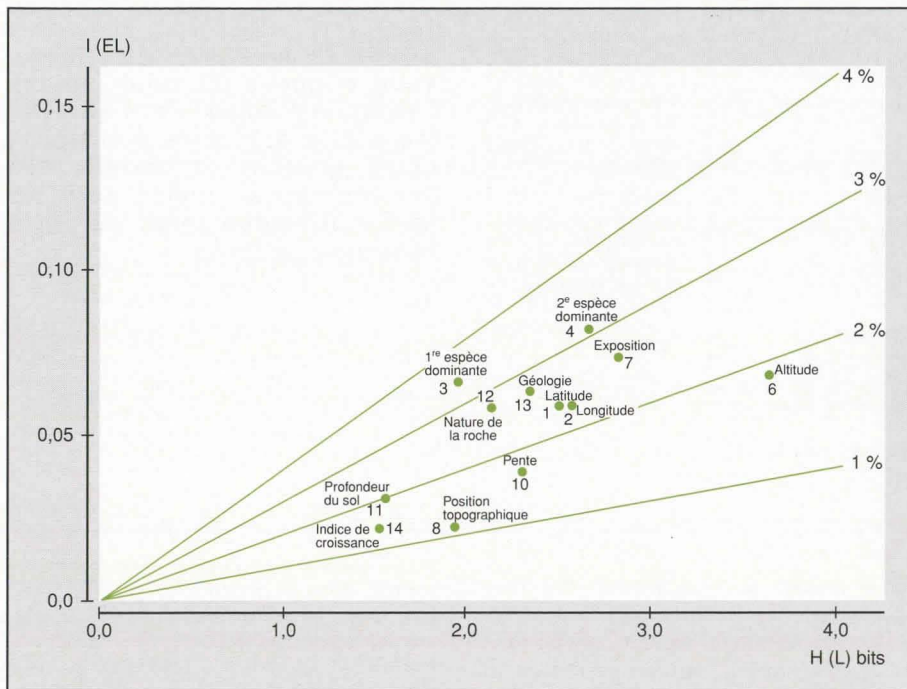


Figure 3. Efficacité des descripteurs du milieu en fonction de l'entropie, H(L), de chaque descripteur et de l'information mutuelle moyenne, I(EL), des 50 « meilleures » espèces.

Figure 3. Efficiency of environmental descriptors as a function of entropy, H(L), each descriptor and mutual information, I(EL), for the « best » 50 species.

la valeur du Chi carré au même risque α et à 8 degrés de liberté est de 15,5.

Quant au test de Hotelling appliqué aux 3 vecteurs moyens (valeurs moyennes par classe de croissance), les valeurs calculées de Q pour les 3 vecteurs considérés 2 à 2 ($\bar{X}^{(1)}$ et $\bar{X}^{(2)}$, $\bar{X}^{(1)}$ et $\bar{X}^{(3)}$, $\bar{X}^{(2)}$ et $\bar{X}^{(3)}$) valent respectivement 19,4 pour la première combinaison, 22,9 pour la deuxième et 15,5 pour la troisième. La valeur théorique au risque $\alpha = 0,05$ de la statistique de Fisher-Snedecor, avec 5 et respectivement 59,44 et 43 degrés de liberté, ne dépasse pas 2,44. On peut donc admettre que les valeurs moyennes du peuplement sont nettement différentes dans les 3 classes de croissance.

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 sur l'organisation des espèces [32] ; elle est obtenue par un graphique portant en abscisse l'entropie du descripteur – H(L) – et en ordonnée

l'information mutuelle moyenne – I(EL) – des profils des espèces pour chaque descripteur en ne retenant, dans notre cas, que les 50 espèces qui apportent le plus d'information (figure 3). Altitude, exposition et deuxième espèce dominante sont des descripteurs efficaces et bien échantillonnés ; la première espèce dominante, la nature de la roche, la géologie, la latitude et la longitude ont une information mutuelle également élevée mais, en revanche, 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. Nous avons néanmoins considéré les espèces indicatrices des 3 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 sub-humide frais ;

– sous-groupe 2 : *Onobrychis saxatilis* (L) Lam., *Ononis pusilla* L. et *Psoralea bituminosa* L. Ces espèces, relevées 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. *C. villosus* et *F. rubra* indiquent respectivement des milieux de dégradation et des milieux forestiers (Ben Abid, communication personnelle) en bioclimat frais à froid et *C. hallerana*, souvent observée dans ces milieux, se trouve aussi à d'autres altitudes dans la vallée.

• Espèces caractéristiques 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 sous-groupe bien individualisé en contact avec la tétracliniaie 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 saturoideus* Cosson. Ces espèces sont en revanche d'écologie mal définie, plutôt liées aux milieux frais du fond de la vallée. De ces 3 groupes d'espèces indicatrices il ressort que, s'il est facile de trouver un groupe d'espèces indicatrices bien individualisé pour la classe 3 (c'est-à-dire la moins productive, très souvent proche de la tétracliniaie), il n'en est pas de même pour les 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 des états des descripteurs du milieu en ne retenant que les espèces présentes dans plus de 3 placettes ainsi que 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 (tableau 2), les 5 premiers axes absorbent 63,5 % de l'inertie

Tableau 2

Caractères synthétiques des trois classes de croissance de *Pinus halepensis* spontané au Maroc

Variables dendrométriques	Classes de l'indice de site								
	1			2			3		
	Moyennes et intervalle de confiance ($\alpha = 0,05$)	Valeurs extrêmes Max.	Min.	Moyennes et intervalle de confiance ($\alpha = 0,05$)	Valeurs extrêmes Max.	Min.	Moyennes et intervalle de confiance ($\alpha = 0,05$)	Valeurs extrêmes Max.	Min.
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
Âge 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)	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)	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 ² /an)	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)	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/an)	1,401 ± 0,265	3,901	0,343	0,856 ± 0,122	1,963	0,347	0,722 ± 0,202	1,801	0,186

Synthetic characters for three growth classes in natural stands of *Pinus halepensis* (Morocco).

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 (figure 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 thermo-méditerranéen supérieur [37] et à un bioclimat semi-aride tempéré [38]. 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 (*Arbutus unedo*, *Neotinea maculata*, *Polygala rupes-tris*, *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 (figure 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

Summary

Productivity in natural stands of Aleppo pine (*Pinus halepensis* Miller) in Tamga forest (High Atlas, Morocco)

B. Belghazi, M. Ezzahiri, F. Romane

Natural stands of Aleppo pine (*Pinus halepensis* Miller) are quite rare in Morocco, whereas vast areas are planted with this species within the framework of reforestation projects. The largest natural stands, which are located in the Tamga region (High Atlas), were studied to assess productivity and determine the potential role of this species in afforestation schemes in Morocco. A site index (dominant height at 60 years) was drawn up and evaluated for Tamga forest. The productivity was found to be quite high in relation to results usually obtained for this tree species. Three significantly different classes were noted for 60-year-old trees (reference age) in terms of productivity, i.e. 1.4, 0.9 and 0.7 m³.ha⁻¹ for productivity classes 1 to 3 respectively. We also used the ecological profile technique and correspondence analysis to identify – for each class in the site index – the main corresponding environmental factors and related plant species groups. Productivity classes 1 and 3 were closely correlated with a specific group of plant species, which could be useful for improving the management of these forests. It was more difficult to find a group that corresponded to class 2.

Cahiers Agricultures 2000 ; 9 : 39-46.

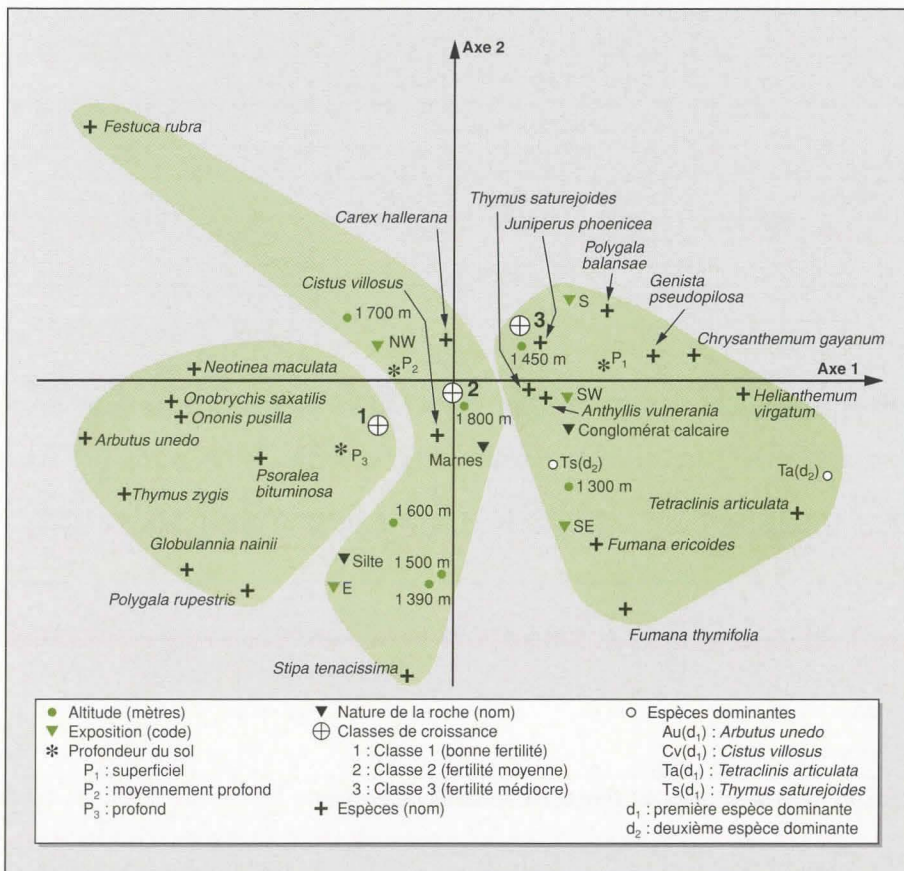


Figure 4. Analyse factorielle des correspondances entre espèces et classes des descripteurs du milieu. Représentation des espèces dans le plan factoriel 1-2.

Figure 4. Correspondence analysis comparing species and environmental descriptor classes. Species representation in a 1-2 factorial design.

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. Ainsi, la typologie écologique suivante des classes de croissance peut être proposée :

- la classe de croissance 1 correspond aux formations à arbousier (*Arbutus unedo*), sur sols profonds et versants frais en bioclimat sub-humide ;
- la classe de croissance 2, aux contours moins précis, correspond essentiellement aux formations assez dégradées d'altitude, sur sols moyennement profonds et aux versants frais à froids en bioclimat sub-humide frais à froid ;

– la classe de croissance 3, la mieux définie, se place dans les formations en contact avec la tétracliniaie, sur sols superficiels en versants chauds et en bioclimat semi-aride tempéré.

Conclusion

Nous concluons [1] à la large amplitude écologique des peuplements naturels de pin d'Alep de la vallée de Tamga associés, à l'étage supérieur, au thuya de Berbérie, au chêne vert et au genévrier thurifère (sur le haut de versants à l'abri des vents d'ouest) entre 2 200 et 2 400 m. L'étude de productivité, fondée sur le concept de hauteur dominante, a défini 3 classes de croissance dans ces peuplements. La première et la troisième classe (produisant respectivement 1,40 et 0,72 m³/ha/an) correspondent à des caractères phyto-écologiques nets (formations à arbousiers et formation de la

tétracliniaie). La deuxième classe, avec une production moyenne de 0,85 m³/ha/an, est moins bien différenciée sur le plan phyto-écologique. En s'appuyant à la fois sur l'analyse des profils écologiques et sur celle, 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 semblent également être intéressants du point de vue de la productivité qui, dans les pinèdes du Haut Atlas de Marrakech (Zerkten et Amizmiz), varie entre 1,275 m³/ha/an pour la classe 1 et 0,787 m³/ha/an pour la classe 2 [39]. Ils sont plus productifs que ceux d'Algérie ou de Tunisie [40] (accroissement moyen de l'ordre de 1 m³/ha/an pour les futaies pleines en Tunisie et de 1,2 à 1,5 m³/ha/an en bonnes conditions en Algérie). Un accroissement moyen de 0,30 à 0,86 m³/ha/an a été aussi cité pour les 100 000 ha de pins d'Alep en Tunisie [13]. En France [11, 12], on signale des accroissements variant de 1 m³/ha/an, dans les classes médiocres, à 5 m³/ha/an dans les classes exceptionnelles.

Les peuplements naturels de pins 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 des arbres de ces peuplements suggère également que des études génétiques soient menées pour préciser leur originalité intrinsèque ■

Références

- Emberger L. Aperçu général sur la végétation du Maroc. Commentaire de la carte phytogéographique du Maroc au 1/1 500 000. *Veröff Geobot Inst Rübel* 1939 ; 14 : 40-157.
- Azeba M. 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 de 3^e cycle Eaux et Forêts. Rabat : Institut agronomique et vétérinaire Hassan II, 1981.
- FAO. Plan national de reboisement. Rabat : Direction des eaux et forêts et de la conservation des sols, 1970 ; 92 p. (n° AT2803).
- Kutiél P, Naveh Z. Soil properties beneath *Pinus halepensis* and *Quercus calliprinos* trees burned and unburned mixed forest of Mt Carmel, Israel. *For Ecol Manag* 1987 ; 20 : 11-24.
- Barbero M, Bonin G, Loisel R, Miglioretti F, Quézel P. Incidence of exogenous factors on the regeneration of *Pinus halepensis* after fires. *Ecologia Mediterranea* 1987 ; 13 : 51-6.

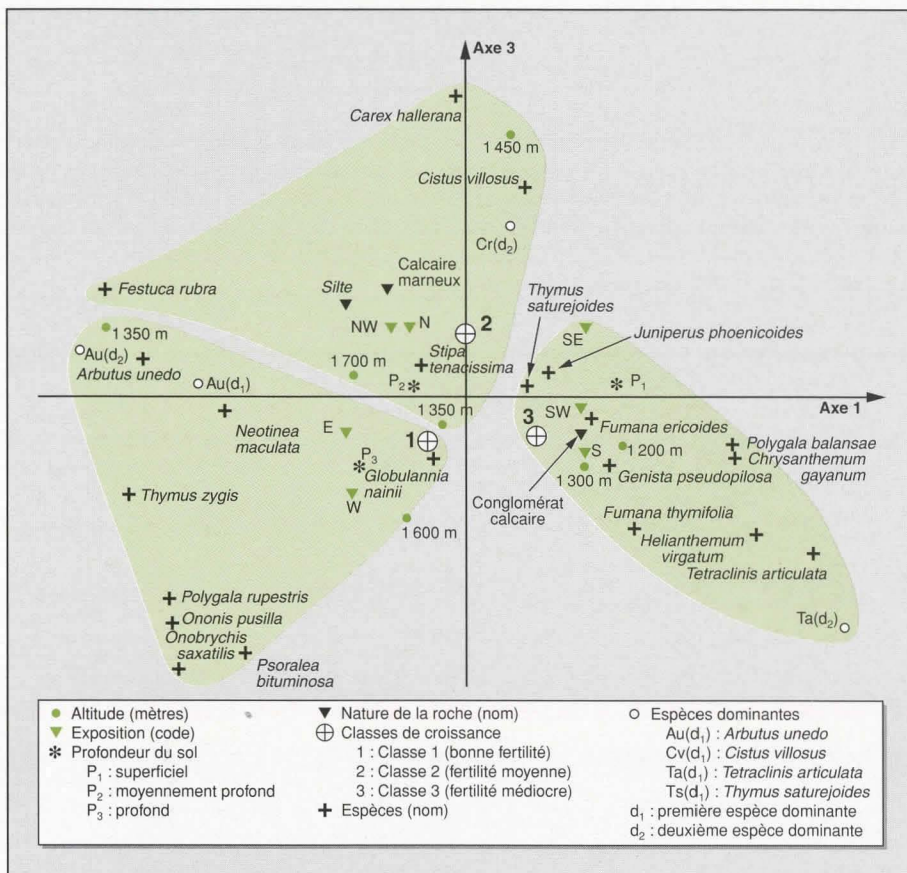


Figure 5. Analyse factorielle des correspondances entre espèces et classes des descripteurs du milieu. Représentation des espèces dans le plan factoriel 1-3.

Figure 5. Correspondence analysis comparing species and environmental descriptor classes. Species representation in a 1-3 factorial design.

6. Lepart J, Debussche M. Invasion processes as related to succession and disturbance. In : Groves RH, di Castri F, eds. *Biogeography of Mediterranean invasions*. Cambridge : Cambridge University Press 1991 : 159-77.

7. Trabaud L, Martinez Sanchez P, Ferrandis P, Gonzalez Ochoa A, Herranz JM. Végétation épigée et banque de semences du sol : leur contribution à la stabilité cyclique des pinèdes mixtes de *Pinus halepensis* et *P. pinaster*. *J Can Bot* 1997 ; 75 : 1012-21.

8. Kutiel P, Naveh Z. The effects of fire on nutrients in a pine forest soil. *Plant Soil* 1987 ; 104 : 269-74.

9. Rapp M. Nitrogen status and mineralization in natural and disturbed Mediterranean forest and coppices. *Plant Soil* 1990 ; 128 : 21-30.

10. Garcia Pie C, Vanrell P, Morey M. Litter fall and decomposition in a *Pinus forest* on Mallorca. *J Veg Sci* 1995 ; 6 : 17-22.

11. Pardé J. La productivité des forêts de pin d'Alep en France. *Ann Ec Nat Eaux For* 1957 ; 15 : 368-411.

12. Nahal L. Le pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill.). Étude taxonomique, phytogéographique, écologique et sylvicole. *Ann Ec Nat Eaux For* 1962 ; 19 : 472-686.

13. Souleres G. Classes de fertilité et production des forêts tunisiennes de pin d'Alep. *Rev For For* 1975 ; 27 : 41-9.

14. Akrimi N. Production ligneuse des peuplements de pin d'Alep (*Pinus halepensis* Miller) de la forêt de Sakiet Sidi Youssef (Tunisie). *Ecol Med* 1986 ; 12 : 237-53.

15. Godron M, Daget P, Emberger L, et al. *Code pour le relevé méthodologique de la végétation et du milieu*. Paris : CNRS, 1968 ; 292 p.

16. Dagnélie P. Recherches sur la productivité des hêtraies d'Ardennes en relation avec les types phytosociologiques et les facteurs écologiques. (1^{re} et 2^e parties). *Bull Ins Agron Gembloux* 1956 ; 24 : 249-84, 369-410.

17. Dagnélie P. Recherches sur la productivité des hêtraies d'Ardennes en relation avec les types phytosociologiques et les facteurs écologiques. (3^e partie, interprétation des résultats). *Bull Ins Agron Gembloux* 1957 ; 25 : 44-94.

18. Decourt N. Production primaire, production utile : méthodes d'évaluation, indices de productivité. *Ann Sci Forest* 1973 ; 30 : 219-38.

19. Pardé J. Une notion pleine d'intérêt : la hauteur dominante des peuplements forestiers. *Rev For For* 1956 ; 12 : 850-6.

20. Carmean WH. Site index curves for upland oaks in the central states. *For Sci* 1972 ; 18 : 109-20.

21. Alder D. Estimation des volumes et accroissement des peuplements forestiers. Étude et prévision de la production. Étude FAO, Rome. *Forêt* 1980 ; 22 : 1-229.

22. Commerçon R. *Comportement du pin laricio en région méditerranéenne française*. Aix-en-Provence : Mémoire ENITEF et CEMAGREF, 1984 ; 87 p.

23. Ottorini JM. Application des données de l'IFN à l'étude de la production du pin sylvestre en Margeride. B - Étude de la production totale en volume. *Ann Sci Forest* 1981 ; 38 : 487-502.

24. Stages AR. A mathematical approach to polymorphic site index curves for Grand fir. *For Sci* 1963 ; 9 : 167-80.

25. Brickell JE. *A method for constructing site index curves from measurements of tree age and height. Its application to inland Douglas fir*. Ogden : United States Department of Agriculture. Forest Service Research 1968 ; 23 p.

26. Decourt N, Levy G. La productivité de l'épicéa sur les sols hydromorphes de Lorraine : mesure et caractéristiques générales. *Ann Sci Forest* 1974 ; 31 : 71-82.

27. Le Goff N. Productivité du frêne en région Nord-Picardie. A - Courbes de croissance en hauteur. *Ann Sci Forest* 1982 ; 39 : 259-88.

28. Pardé J, Bouchon J. *Dendrométrie*. Nancy : ENGREF, 1988 ; 328 p.

29. Morrisson DF. *Multivariate statistical methods*. New York : McGraw Hill Inc., 1986 ; 415 p.

30. Gounot M. *Méthode d'étude quantitative de la végétation*. Paris : Masson, 1969 ; 314 p.

31. Gauthier B, Godron M, Hiernaux P, Lepart J. Un type complémentaire de profil écologique : le profil écologique « indicé ». *J Can Bot* 1977 ; 55 : 2859-65.

32. Daget P, Godron M. *Analyse de l'écologie des espèces dans les communautés*. Paris : Masson, 1982 ; 163 p.

33. Mercier P, Chessel D, Doledec S. Complete correspondence analysis of an ecological profile data table : a central ordination method. *Acta Oecologica* 1992 ; 13 : 25-44.

34. Becker M. 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. *Ann Sci Forest* 1979 ; 36 : 93-124.

35. Picard JF. Une méthode de définition des stations en forêt : application à la forêt domaniale de Bellême. *Ann Sci Forest* 1979 ; 36 : 211-29.

36. Lemoine B. Le pin maritime dans les Landes de Gascogne. Étude des relations d'allométrie concernant le volume des peuplements en liaison avec certaines caractéristiques de la station. *Ann Sci Forest* 1969 ; 26 : 445-73.

37. Quézel P. *Les forêts du pourtour méditerranéen. Écologie, conservation et aménagement*. Paris : UNESCO, 1976 : 9-34.

38. Emberger L. Une classification biogéographique des climats. *Rec Trav Lab Geol Zool Univ Montpellier, serie Bot* 1955 ; 7 : 3-43.

39. Assahnan L. *Écologie et productivité de Pinus halepensis Mill. en peuplements naturels du Haut Atlas occidental (cas des pinèdes de Zerketn et d'Amizmiz)*. Mémoire de 3^e cycle. Salé : ENFI, 1993 ; 102 p. + ann.

40. Boudy P. *Économie forestière nord-africaine. Monographie et traitement des essences forestières*. Paris : Larose, 1950 : 639-90.

Résumé

La forêt spontanée de *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 de les expliquer. L'étude de la productivité à partir de la notion de hauteur dominante à l'âge de référence de 60 ans permet de proposer 3 classes de croissance dont les moyennes de production sont de 1,4, 0,9 et 0,7 m³/ha/an. Une analyse de la variance multiple des variables dendrométriques montre que ces classes sont statistiquement différentes.
