

# Typologie et modèles de croissance des jeunes peuplements de chêne-liège issus de semis de glands dans la Maâmora (Maroc)

par Bakhiyi BELGHAZI, Khaoula LAKMICHA et Tarik BELGHAZI

***La suberaie de la Maâmora au Maroc a fait l'objet de nombreuses études. La régénération artificielle a tout particulièrement été testée pour pouvoir répondre au vieillissement de cette forêt. Il faut maintenant pouvoir disposer d'un véritable guide de sylviculture pour ces jeunes peuplements. L'étude présentée ici, basée sur des mesures dendrométriques et sur les caractéristiques du milieu, souhaite y contribuer.***

## Introduction

La forêt de la Maâmora (Maroc), d'une superficie totale de 131 738 ha est composée de 70 572 ha de chêne-liège et de 61 166 ha d'essences introduites (HCEFLCD, 2013). Malgré la succession de quatre aménagements forestiers, la subéraie à l'état de vieille futaie sur souche est dans une situation critique. La forte pression humaine et la sénescence des souches, sont à l'origine du blocage de la régénération naturelle.

Les efforts de régénération artificielle par semis de glands, consentis par les gestionnaires depuis plus de deux décennies, sont dans l'ensemble fort louables. Le comportement de ces peuplements vis-à-vis des facteurs du milieu et des techniques culturales est largement étudié (MOUJANNI, 2007 ; BELGHAZI *et al.*, 2011). Compte tenu de la forte densité de reboisement, qui dépasse 800 sujets à l'ha (Cf. Photos 1a et 1b), la compétition pour la lumière et l'eau du sol commence à se faire sentir chez les sujets adultes, déjà à l'état de jeune perchis. Conscient de cette problématique, les gestionnaires n'ont pas tardé à pratiquer les premières éclaircies, mais sans base scientifique (Cf. Photo 2). L'élaboration d'un guide de sylviculture semble alors urgente et indispensable pour assurer une bonne conduite sylvicole de ces peuplements. C'est dans ce sens que cette étude, menée sur une surface totale

de 3 129 ha, se propose de lancer des investigations préliminaires dans le but :

- d'identifier les divers milieux de croissance des jeunes peuplements de chêne-liège, en vue de proposer des règles de production adéquates pour chaque milieu,
- de construire quelques modèles de croissance de ces mêmes peuplements,
- d'évaluer leurs potentialités de production au sein de chaque milieu,
- de fournir quelques directives relatives aux règles de culture du liège.

Il est à signaler que les potentialités de production de ces peuplements, en termes de volumes et d'accroissements, ont été évaluées à partir d'un tarif de cubage construit à cette fin (LAKMICHA, 2013).

## Matériel et méthode

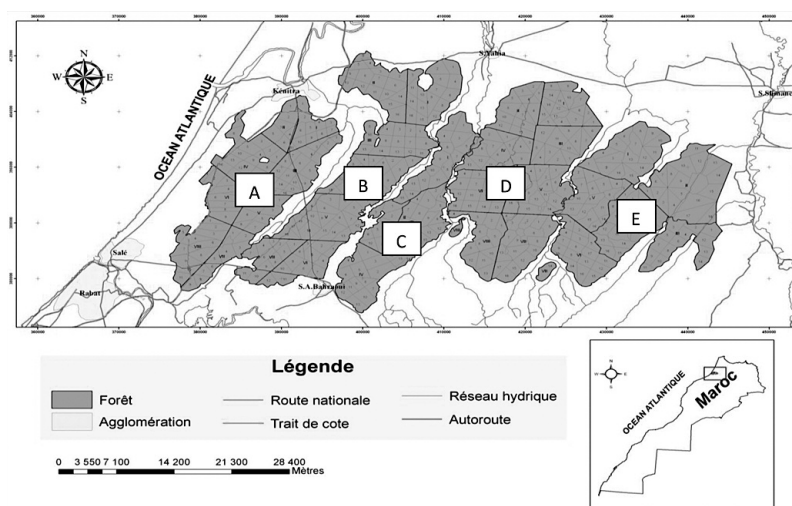
### Zone d'étude

La présente étude concerne les jeunes peuplements de chêne-liège, issus de semis de glands, majoritairement distribués dans les cantons A, B et C de la forêt de la Maâmora (Cf. Fig. 1).

Sur le plan écologique, les cantons A et B sont pleinement dans une ambiance bioclimatique subhumide à hiver chaud ; le canton C est plutôt sous ambiance semi-aride chaude à tempérée (SAUVAGE, 1961).

Les précipitations qui arrosent ces cantons varient selon la continentalité entre 585 mm sur la frange littorale et 389 mm à l'est (BELGHAZI, 2001). Sur le plan édaphique, le substrat est composé de sable décalcifié,

**Fig. 1 :**  
Situation géographique  
des cantons (A à E)  
dans la Maâmora.



d'une épaisseur de 30 cm à plus de 6 m, qui repose sur un plancher argileux rouge du Villafranchien (LEPOUTRE, 1965).

Du point de vue cultural, la préparation du sol a été obtenue par un labour profond (35 à 40 cm) complété par un labour superficiel (20 cm) dans le sens perpendiculaire. A la suite d'un tracé en quadrillage rectangulaire, généralement de 4 m entre lignes et 3 m entre potets sur la même ligne, le semis a été opéré par un dépôt de 4 glands par potet ; cela correspond à une densité moyenne de 3 332 semis à l'hectare. Un dépressage précoce, au début de la deuxième année de reboisement, réserve un seul semis par potet, ce qui revient à une moyenne de 833 individus à l'hectare.

## Récolte de l'information

En se basant sur la cartographie des reboisements de chêne-liège en Maâmora (EL HACHEMI, 2010), que nous avons retenu comme plan de sondage, l'inventaire des peuplements et des milieux a été opéré à la suite d'une stratification tenant compte de l'âge des peuplements. Chaque strate a été alors identifiée par l'âge du peuplement et par le canton où sont définis le groupe et la parcelle, lieu exact de la placette sur le terrain.

Par la suite, un total de 80 placettes rectangulaires de 3 ares (16 x 18 m) a été inventorié ; cette forme a été préférée, eu égard à sa bonne adaptation au tracé des jeunes peuplements, initialement retenu sur le terrain. La répartition des placettes inter strates a été effectuée selon une allocation proportionnelle avec, tout de même, un réajustement du plan de sondage pour garder la représentativité de l'échantillon. La dislocation des périmètres dans certaines strates nous a contraint à adopter une répartition des placettes intra strates accordant à chaque unité de surface (1 ha) la même chance d'être tirée (COCHRAN, 1963) (Cf. Tab. I).

Au niveau de chaque placette, le recueil de l'information concerne les descripteurs suivants :

### Descripteurs du milieu :

- la pente du terrain ;
- l'exposition ;
- la profondeur du sable ;
- la nature du sable.

Sur le plan écologique, il est à signaler qu'en plus de la continentalité traduite ici par la situation du canton, ces quatre descripteurs sont considérés comme les plus effi-

caces dans la forêt de la Maâmora (SAUVAGE, 1961 ; LEPOUTRE, 1965).

- Descripteurs des jeunes peuplements :**
- mesure des circonférences à 1,30 m du sol de tous les arbres sur pied ;
  - mesure de la hauteur totale de deux arbres dominants ;
  - identification de l’antécédent cultural ;
  - estimation du degré d’ouverture des strates arborées, arbustives et herbacées.

### Traitement de l’information

Dans le but de simuler la structure générale des jeunes peuplements, il a été nécessaire de visualiser la distribution de fréquences des circonférences à 1,30 m du sol de tous les arbres inventoriés. Cette distribution est représentée par un histogramme où l’axe des abscisses représente les classes de circonférences et celui des ordonnées le nombre de tiges à l’ha.

Par ailleurs, l’information recueillie sur le terrain a été traitée par une analyse statistique à une et à plusieurs dimensions. Ces traitements ont visé les aspects essentiels suivants.

**L’élaboration d’un modèle de croissance de la hauteur dominante (Hd)**, retenue comme indice de station : dans ce sens, des modèles linéarisables et non linéaires, couramment employés dans la recherche forestière, ont été ajustés (LE GOFF, 1982 ; BELGHAZI, 2013). Le modèle retenu est fondé sur une analyse statistique rigoureuse. Compte tenu de la nature instantanée des observations recueillies sur le terrain (placettes temporaires), la construction des courbes de hauteurs a été envisagée par la méthode anamorphique (RONDEUX, 1993).

Les résultats de cette modélisation ont permis de distinguer différentes classes de croissance dont l’identité a été fondée sur le principe de la hauteur dominante à un âge de référence (Ar) de 20 ans, sachant que les peuplements sont encore jeunes. Par ailleurs, le nombre de classes de croissance a été arrêté selon le degré d’hétérogénéité du milieu et de l’amplitude de la hauteur dominante à l’âge de référence : une classe correspond à une amplitude de hauteur d’environ 2 m (DÉCOURT, 1973).

Campagne	Lieu de sondage	Nombre de placettes
2008-2009	B V7	7
2007-2008	A I8	7
2005-2006	B I8	7
2004-2005	A VII5	12
2003-2004	A I6	1
	B V3	4
	B V13	4
	C II1	3
	C II5	7
2001-2002	C II5	7
2000-2001	A IV1	7
1999-2000	B V16	5
	B V11	3
	A I10	4
1994-1995	A III6	8
Total		80

**Tab. I :**  
Répartition intra-strate des placettes d’étude (A, B et C : cantons).



**Photos 1a et 1b :**  
Peuplements de 18 ans, à forte densité.





**Photo 2 :**  
Peuplement de 18 ans  
ayant subi une faible  
éclaircie sélective.

L'évolution de cette hauteur en fonction de l'âge et l'indice de site, « site index » des anglo saxons (hauteur dominante à l'âge de référence), définit un faisceau de courbes affines qui correspondent aux diverses classes de croissance selon leurs degré de fertilité, comme le traduit l'expression suivante :

$$H_{di} = f(A, S) = S_i f(A) / f(A_r)$$

où :

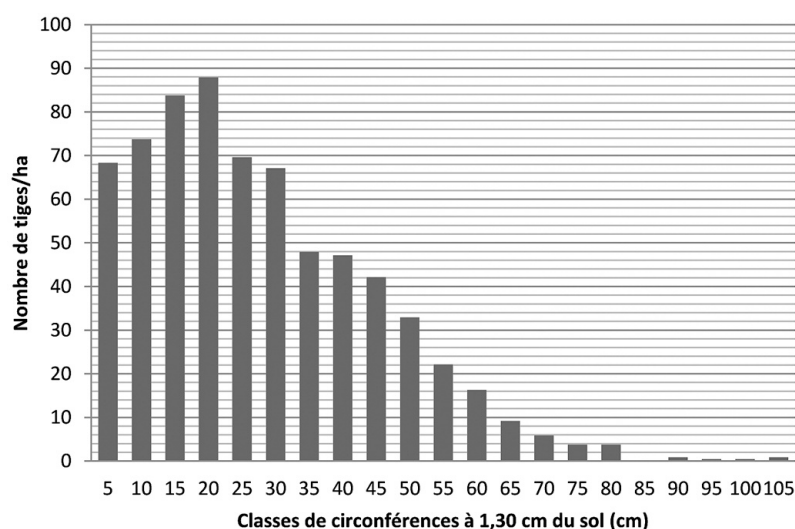
$H_{di}$  = hauteur dominante dans la classe de croissance  $i$ ,

$S_i$  : indice de site moyen dans la classe de croissance  $i$ ,

$A_r$  : âge de référence retenu (20 ans).

**L'élaboration d'une typologie des stations :** du fait que les milieux ne sont pas

**Fig. 2 :**  
Structure générale  
des peuplements étudiés.



très contrastés (cantons A à C) et que l'amplitude de la hauteur dominante à l'âge de référence est restreinte, nous ne pouvons considérer plus de deux classes de croissance. Du point de vue dendrométrique, la comparaison de ces deux classes a été envisagée par la statistique  $T^2$  de Hotelling, valable pour comparer deux vecteurs moyens ( $\bar{X}^{(1)}$  et  $\bar{X}^{(2)}$ ) dont les composantes sont représentées ici par les valeurs moyennes des principales variables dendrométriques mesurées, à savoir :

$x_1$  = hauteur dominante en m ;

$x_2$  = indice de site en m ;

$x_3$  = hauteur de l'arbre moyen en m ;

$x_4$  = surface terrière en  $m^2/ha$  ;

$x_5$  = volume total en  $m^3/ha$  ;

$x_6$  = accroissement moyen annuel en circonférence ;

$x_7$  = accroissement moyen annuel en hauteur dominante ;

$x_8$  = épaisseur du liège en cm.

Les fondements théoriques de ce test sont développés dans JOHNSON *et al.* (1982). Le lecteur pourra consulter dans l'annexe 2 p. 449, le principe des calculs pratiques retenus dans ce travail.

La discrimination des classes de croissance, basée sur l'indice de site, fournit des informations chiffrées sur les peuplements, mais pas sur la qualité de la station. Cette discrimination pourrait être plus intéressante si on arrivait à l'expliquer conjointement par des facteurs de production (variables dendrométriques) et du milieu (variables écologiques). Dans ce sens, l'analyse consiste à mettre en relation les niveaux de productivité des peuplements étudiés avec les descripteurs du milieu au moyen de l'analyse factorielle des correspondances multiples (BENZECRI, 1980). Au préalable, tous les descripteurs en jeu, ont fait l'objet d'un codage (Cf. Annexe 1, p. 449).

### Modèles de croissance en circonférence

Les gestionnaires et aménagistes des jeunes peuplements de chêne-liège, estiment très intéressant de connaître l'âge à partir duquel ces derniers peuvent subir le premier démasclage. Selon les expériences de terrain, les jeunes arbres supportent sans dommage cette opération dès que leur circonférence à 1,30 m du sol atteint un minimum de 70 cm (NATIVIDADE, 1956). Il est alors nécessaire de construire un modèle de croissance en circonférence, dont le but particulier est de situer

l'âge de l'arbre à partir duquel ce dernier atteint cette circonférence. C'est pour cette raison que nous avons estimé, par la technique de la régression linéaire, quelques modèles de croissance proposés dans la littérature forestière, dont les expressions mathématiques se traduisent comme suit :

$C = b_0 + b_1 A$  ;  $C = b_0 + b_1 A^2$   
 $C = b_0 A^{b_1}$  ;  $C = b_0 e^{b_1 A}$

où :  
*C* : circonférence à 1,30 m du sol,  
*A* : âge de l'arbre,  
*b*<sub>0</sub> et *b*<sub>1</sub> : coefficients de régression à estimer.

## Résultats et discussions

### Structure des jeunes peuplements de chêne-liège

La distribution du nombre de tiges à l'hectare par classes de circonférence à 1,30 m du sol de l'ensemble des périmètres étudiés, a une tendance uni modale, dissymétrique à gauche, caractéristique des jeunes peuplements (RONDEUX, 1993). Le mode (nombre de tiges maximum) se situe dans la classe de 20 cm de circonférence (Cf. Fig. 2).

### Croissance et productivité des jeunes peuplements de chêne-liège

#### Modèle de croissance en hauteur dominante

D'après les résultats d'ajustements des modèles de croissance en hauteur dominante (Cf. Tab. II), c'est le modèle de Chapman-Richard qui présente le plus de rigueur. D'ailleurs, dans la littérature forestière, les hautes performances de ce modèle sont démontrées par plusieurs auteurs (BRICKELL, 1968). Par ailleurs, l'examen de la figure 3, montre que la courbe représentative de ce modèle ajuste le mieux le nuage de points.

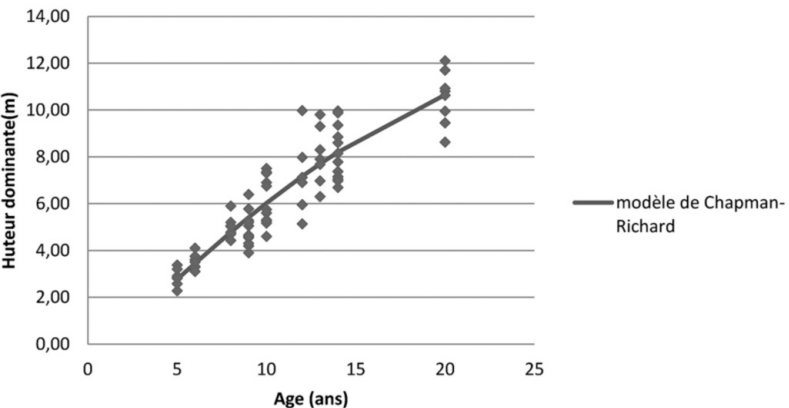
#### Détermination des classes de croissance

La définition des classes de croissance repose sur l'évaluation de l'indice du site (*S*) à l'âge de référence de 20 ans (*A*<sub>r</sub>). A cet âge, la hauteur dominante varie selon la fertilité de la station, de 8 à 12,6 m (amplitude égale à 4,6 m), ce qui amène à distinguer deux

Type de modèle	Expression du modèle	R <sup>2</sup> (%)	Sr	d	Coefficient de régression t Sign.	
Non linéaire	Chapman-Richard $Hd = 16,591 (1 - e^{-0,064 A})^{1,348}$	84	0,13	-	-	-
	Schumacher $K=0,5 : Hd = 37,8631 e^{-5,877/NA}$	82	0,18	1,90	$a_0 = -37,079$ $a_1 = -19,46$	0 0
Linéarisable sous conditions	$K=1 : Hd = 14,368 e^{-8,577/A}$	83	0,19	1,79	$a_0 = 49,756$ $a_1 = -18,152$	0 0
	$K=2 : Hd = 8,811 e^{-32,181/A^2}$	75	0,21	1,40	$a_0 = 59,407$ $a_1 = -14,673$	0 0
Linéarisable	Allométrie $Hd = 0,6312 A^{0,956}$	81	0,15	1,85	$a_0 = -3,997$ $a_1 = 19,563$	0 0
	$Hd = 30,245 e^{-18,21/A}$	81	0,18	1,94	$a_0 = 8,989$ $a_1 = 0,445$	0 0

Hd : hauteur dominante en m ;  
*A* : âge (ans) ;  
*R*<sup>2</sup> : coefficient de détermination ;  
*Sr* : écart type résiduel ;  
*d* : statistique de Durbin – Watson ;  
*t* : statistique de Student.

Tab. II :  
Modèles de croissance en hauteur dominante.



Classes	Indice de site (m) (A = 20 ans)	Indice de site moyen (m)	Nombre de placettes	Fertilité
I	$S > 10,30$	11,45	45	Bonne
II	$S \leq 10,3$	9,15	35	Médiocre

classes de croissance, dont les caractéristiques figurent dans le tableau III.

L'expression mathématique de ces courbes de hauteurs par classe de croissance est :

Classe 1 :  $Hd = 11,45 (1 - e^{-0,064 A})^{1,348}$   
Classe 2 :  $Hd = 9,15 (1 - e^{-0,064 A})^{1,348}$

Fig. 3 (ci-dessus) :  
Courbes de croissance hauteur dominante – âge.

Tab. III (ci-dessus) :  
Caractéristiques des classes de croissance.

Caractéristiques dendrométriques	Classe 1				Classe 2			
	Moyenne	Ecart type	Max	Min	Moyenne	Ecart type	Max	Min
Indice de site S (m)	11,80	1,1	15,1	10,3	9,14	0,1	10,26	5,13
Hauteur dominante (m)	6,99	2,62	12,1	2,81	5,59	1,77	9,95	2,28
Hauteur de l'arbre moyen (m)	6,2	1,9	11,5	8,2	4,29	1,6	10,24	7,63
Circonférence à 1,30 (cm)	31,743	18,09	106	5	24,5	15,1	98	3
Surface terrière G (m <sup>2</sup> /ha)	6,73	5,17	16,9	1,34	4,54	3,6	14,95	0,38
Densité à l'ha (N)	713	271,4	1533	333	660	234	1266	280
Volume total (m <sup>3</sup> /ha)	18,59	13,72	45	7	13,58	9,16	40	2
Accroissement moyen en circonférence	2,70	1,26	8	0,3	2,15	1,03	5,62	0,25
Accroissement moyen en hauteur dominante (cm/an)	63	5	74	65	39	6	52	28
Accroissement moyen en volume (m <sup>3</sup> /ha/an)	1,50	0,818	2,94	0,40	1,16	0,455	2,14	0,37
Taux de réussite %	77	21	99	32	71	19	96	31

**Tab. IV :**  
Valeurs moyennes  
de quelques variables  
dendrométriques  
par classe de croissance.

Les courbes représentatives de ces hauteurs sont illustrées dans la figure 4.

### Caractéristiques quantitatives des classes de croissance

Les valeurs moyennes des principales variables dendrométriques relatives à chaque classe de croissance, sont consignées dans le tableau IV.

Pour vérifier la différence entre ces deux classes de croissance, nous avons calculé la statistique T<sup>2</sup> de Hotelling, relative aux deux vecteurs moyens explicités dans ce qui précède.

La valeur de la statistique observée de Fisher-Snedecor correspondant à ces deux vecteurs, est égale à 177. La valeur théorique de cette statistique au risque  $\alpha$  égale à 0,01 à 8 et 75 degrés de liberté est égale à 3,96. Devant cette situation, on conclue alors que la différence entre les deux vecteurs moyens est hautement significative. En d'autres termes, sur la base des variables den-

drométriques, les deux classes de croissances sont nettement distinctes.

### Typologie des stations

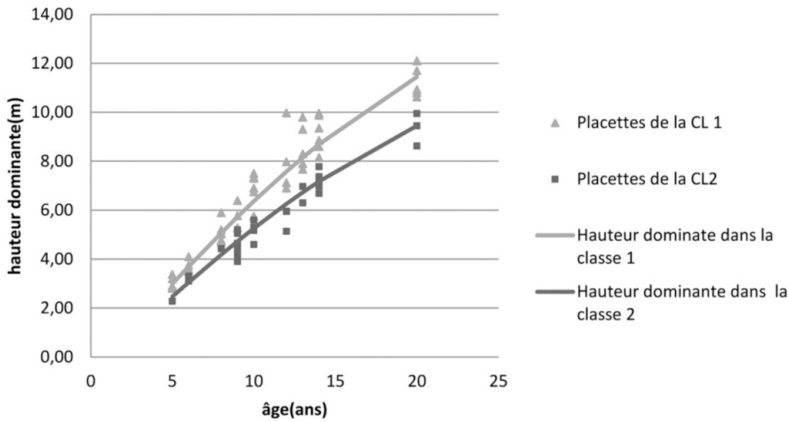
Les résultats de l'Analyse dactorielle des correspondances multiples, montrent que les valeurs propres correspondant aux axes factoriels sont faibles (Annexe 3, p. 10). La distinction de groupes disjoints devient alors difficile (BENZECRI, 1964), ce qui nous a conduit à faire appel à la classification hiérarchique ascendante. Ainsi, l'interprétation synthétique des axes factoriels (Cf. Fig. 5), basée sur le tableau des valeurs propres et sur les contributions relatives des états de variables et sur la classification hiérarchique, a permis d'élaborer une typologie des milieux dont les caractéristiques sont résumées dans ce qui suit.

L'examen de la figure 5 oppose les deux classes de croissance : la classe médiocre (S1) est située dans la partie négative des axes factoriels (1-2) et la classe fertile (S2) dans la partie positive. La typologie de ces deux classes met en évidence les deux milieux suivants :

**Milieu 1 de bonne fertilité**, caractérisé par :

- de jeunes peuplements situés en grande partie dans le canton A plus humide, sur des sables rouges moyennement profonds (81-181 cm) à bonne rétention en eau. La pente du terrain est très faible (1 à 3,9 %) avec un drainage latéral modéré ;
- un indice de site moyen de 11,8 m ;
- une surface terrière moyenne de 6,73 m<sup>2</sup>/ha ;

**Fig. 4 :**  
Courbes de croissance  
moyennes en hauteurs  
par classe de croissance,  
selon Chapman-Richard.





- un volume total moyen sur pied égal à 18,58 m³/ha ;

- un accroissement moyen annuel en volume de 1,50 m³/ha/an ;

- l'antécédent culturel est la clairière de chêne-liège ou d'*Acacia mearnsii*.

D'après ces observations, il apparaît que l'axe 1 traduit la continentalité (cantons A à C).

**Milieu 2 de fertilité médiocre**, caractérisé par :

- jeunes peuplements en majorité dans le canton B et accessoirement dans le canton C, relativement moins humides ;

- sur des sables rouges et beiges profonds (> 230 cm) où le drainage vertical est fort ;

- une pente qui varie de 9 à 15 % et qui favorise le drainage latéral ;

- un indice de site moyen de 9,1 m ;

- une surface terrière moyenne 4,54 m²/ha ;

- un volume total moyen sur pied égal à 13,58 m³/ha ;

- un accroissement moyen annuel en volume de 1,16 m³/ha/an ;

- l'antécédent culturel est constitué en majorité d'Eucalyptus.

Ces résultats laissent penser que l'axe 2 semble expliquer la fertilité du milieu.

Sur la base de ces résultats, on remarque que les deux classes de croissance se distinguent à la fois par leurs potentialités de croissance, par le milieu (en particulier par la pente du terrain, la profondeur et la nature du sable) et, enfin, par l'antécédent culturel, où les milieux anciennement occupés par des Eucalyptus s'avèrent moins propices pour le chêne-liège. Ces résultats sont conformes à ceux obtenus par LÉPOUTRE (1965) et TAYANE (2013).

## Modèle de croissance en circonférence

L'analyse statistique des modèles proposés ci-dessus, privilégie le modèle linéaire suivant :

$$C = -1,671 + 3,664 A$$

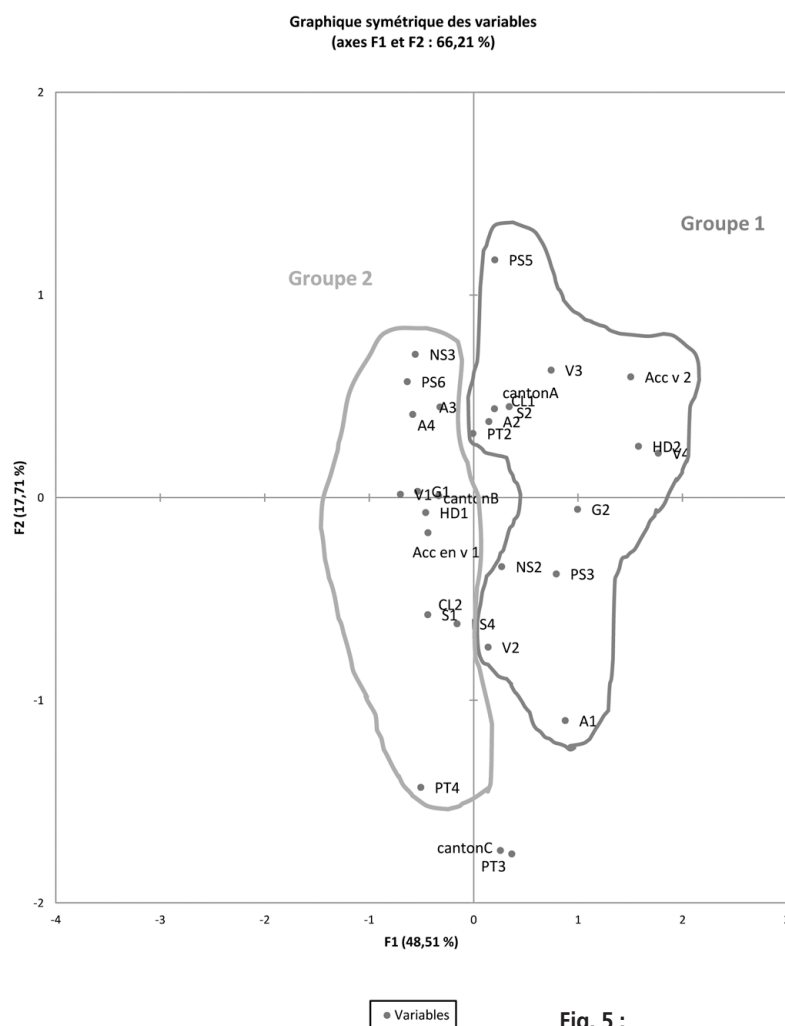
Où :

*C* : circonférence à 1,30m du sol

*A* : âge de l'arbre

avec  $R^2 = 0,50$

Il ressort de ce modèle que la circonférence de 70 cm retenue pour la mise en valeur des



**Fig. 5 :**  
Plan factoriel (1-2).

**Photo 3 (ci-dessous) :**  
Jeune peuplement  
de 18 ans nécessitant  
une éclaircie à la veille de  
son premier démasclage.



Bakhiyi BELGHAZI  
Ecole nationale  
forestière  
d'ingénieurs  
BP 511, Salé  
MAROC  
Auteur correspondant  
Mél :  
belghazi.ba@gmail.com  
Tél. GSM :  
(212) 6 78 12 13 90

Khaoula LAKMICH  
Tarik BELGHAZI  
Haut Commissariat  
aux Eaux et Forêts et  
à la Lutte contre la  
Désertification

**Photo 4 :**  
Jeune peuplement  
de 13 ans nécessitant  
une première éclaircie -  
dépressage.



jeunes arbres est atteinte à l'âge exact de 19,6 ans que l'on peut arrondir à 20 ans. Cet âge est bien inférieur à la norme de 25 à 26 ans, retenue pour les jeunes peuplements dans le procès verbal d'aménagement en vigueur de cette subéraie.

## Conclusion

Les résultats de cette étude menée dans les cantons A, B et C les plus concernés par les programmes de régénération du chêne-liège en Maâmora, ont permis d'identifier deux classes de croissance des jeunes peuplements. Ces deux classes se distinguent essentiellement, par les potentialités de production des peuplements, les facteurs édaphiques (profondeur et nature du sable), la pente du terrain qui interagit sur le bilan hydrique du sol et par le climat qui dépend étroitement de la continentalité de la forêt.

La modélisation de la croissance en circonférence de ces peuplements montre que la circonférence standard de 70 cm retenue pour la mise en valeur des jeunes arbres, est atteinte à un âge d'environ 20 ans. Il est à signaler que faute d'une analyse scientifique rigoureuse, le nouveau PV d'aménagement de cette forêt validé en 2013, propose de pratiquer les démasclages des jeunes arbres entre 25 et 26 ans, ce qui correspondrait à un sacrifice d'exploitabilité équivalent à 5-6 ans.

Par ailleurs, les résultats de cette étude nous semblent nécessaires pour élaborer un guide de sylviculture qui préciserait les

règles de cultures à adopter selon la qualité de la station. De même, la construction de normes d'éclaircies provisoires par classe de croissance s'avère urgente et, dans ce sens, les normes fondées sur le calcul du coefficient d'espacement Hart-Becking, proposés par les sylviculteurs (LANIER, 1994) devaient aisées.

**B.B., K.L., T.B.**

## Références bibliographiques

- Belghazi B., Badouzi M., Belghazi T., Moujainni S., 2011. Semis et plantations de la forêt de chêne-liège de la Maâmora (Maroc). *Forêt Méditerranéenne*, t XXXII, n° 3, 1-13.
- Belghazi B., Nahidi A., Belghazi T., 2013. La qualité des plants de chêne-liège en pépinière : Effet du volume du conteneur et du substrat. *Forêt Méditerranéenne*, t XXXIV, n° 1, 35-44.
- Belghazi T., 2001. Comportement et caractéristiques morphométriques de quelques plantations clonales d'Eucalyptus en Maâmora occidentale : cas des dispositifs de Machâa El Kettane et Taïcha. Mémoire de 3<sup>e</sup> cycle, ENFI, Salé, 111 p.
- Belghazi T., 2013. Typologie de l'arganeraie et estimation de la biomasse aérienne des taillis d'arganier (Plateau des Haha-Essaouira, Maroc). Thèses de Docteur en Scien. Agro. et Ingé. Biol., Université Catholique de Louvain, Belgique, 265 p.
- Benzecri JP, 1964. Sur l'analyse factorielles des proximités. Pub. Inst. Statist. Univ. Paris, 14, 1 : pp 165-180.
- Brickell JE., 1968. A method of constructing sit index curves from measurement of tree and age height – its application to inland Douglas fir. USDA forest serv. Res. Pap. INT – 47, 23 p.
- Cochran WG., 1963. Sampling technique. New York, John Wiley and Sons, 428 p.
- Decourt N., 1973. Production primaire, production utile : Méthodes d'évaluation, indice de productivité. *Ann. Sci. Forest.*, 30 (3), 219-238.
- El Hachemi H. 2010. Cartographie et état des lieux des périmètres de régénération du chêne-liège dans la subéraie de la Maâmora. Mémoire du 3<sup>e</sup> cycle de l'ENFI, Salé, 53 p.
- Johnson RA., Wichern DW., 1982. Applied multivariate statistical analysis. Prentice – Hall inter., 607 p.
- Lakmicha Kh., 2013. Typologie et modèles de croissance des jeunes peuplements de chêne-liège en Maâmora. Mémoire du 3<sup>e</sup> cycle de l'ENFI, Salé, 65 p.
- Lanier L., 1994. *Précis de sylviculture*. ENGREF, Nancy, 477 p.
- Le Goff N., 1982. Productivité du frêne en région nord-Picardie. A., courbes de croissance en hauteur. *Ann. Sci. Forest.*, 39 (3), 259– 88.
- Lepoutre B. 1965. Régénération artificielle du chêne-liège et équilibre climatique de la subéraie en forêt de la Maâmora. *Ann. Rech. For. Maroc*. Tome 9, 188 p.



Moujanni S., 2007. Etude comparative de semis directs de glands et des jeunes plantations de chêne-liège dans la forêt de la Maâmora (cantons A et B). Mémoire de 3<sup>e</sup> cycle, ENFI, 88 p.

Natividade J., 1956. *Subériculture*. ENGREF, Nancy, France, 303 p.

Sauvage Ch., 1961. Recherches géobotaniques sur les subéraies marocaines. Trav. Inst. Sci. Chéri. , Rabat, Sér. Bot. 21, 462 p.

Rondeux J., 1993. *La mesure des arbres et des peuplements forestiers*. Les Presses Agronomiques de Gembloux, Belgique, 581 p.

Tayan M., 2013. Effet comparatif de l'antécédent cultural sur les performances des jeunes plantations et semis du chêne-liège en Maâmora occidentale. Mémoire de 3<sup>e</sup> cycle, ENFI, 61 p.

## Annexe 1 - Codage des variables

Descripteurs	Modalités	Signification	Nombre de relevés
Profondeur du sable	PS3	81 - 120 cm	21
	PS4	121 - 180 cm	14
	PS5	181 - 230 cm	1
	PS6	> 230 cm	25
	NS2	Rouge	25
Pente	NS3	Rouge-beige	53
	PT1	0 - 0,9%	2
	PT2	1 - 3,9%	65
	PT3	4 - 8,9%	8
	PT4	9 - 15%	5
Cantons	A	Canton A	38
	B	Canton B	32
	C	Canton C	10

Descripteurs	Modalités	Signification	Nombre de relevés
Antécédent cultural	A1	Clairière	22
	A2	Acacia	11
	A3	Pin maritime	22
	A4	Eucalyptus	24

Descripteurs	Modalités	Signification	Nombre de relevés
Classe de croissance	CL1	Classe I	45
	CL2	Classe II	35

Descripteurs	Modalités	Signification	Nombre de relevés
Indice du site	S1	5,13 - 10,30 m	34
Hauteur dominante	S2	10,31 - 15,06 m	46
	Hd1	≤ 8 m	62
Volume total	Hd2	8 - 12,1 m	18
	V1	2 - 20 m³	42
Surface terrière	V2	20 - 45 m³	14
	G1	0,32 – 8 m²/ha	50
Accroissement moyen annuel en volume	G2	8 - 17 m²/ha	30
	Acc 1	0,30 – 1,5 m³/ha	45
	Acc 2	1,5 - 3 m³/ha	35

## Annexe 2 - Méthode de calcul du test de Hotelling

L'expression de la statistique  $T^2$  de Hotelling est :

$$T^2 = n_1 n_2 / (n_1 + n_2) (\overline{X}^{(1)} - \overline{X}^{(2)})' S^{-1} (\overline{X}^{(1)} - \overline{X}^{(2)})$$

(S étant la matrice des variances et covariances des deux échantillons ; n1 et n2 les tailles respectives des échantillons dans les classes 1 et 2).

Deux vecteurs moyens sont alors différents avec une confiance  $1 - \alpha$  si :

$$\frac{n_1 + n_2 - p - 1}{p} \frac{T^2}{n_1 + n_2 - 2} > F(p, n_1 + n_2 - p - 1, \alpha)$$

Où :

- p : nombre de composantes du vecteur moyen,
- F : Statistique de Fisher-Snedecor à p et n1 + n2 – p – 1 degrés de liberté.

## Résumé

Depuis plus d'une décennie, les repeuplements artificiels de chêne-liège issus de glands connaissent un bon succès en Maâmora (Maroc). Les coupes d'éclaircies abordées déjà dans certaines parcelles se pratiquent sans fondement scientifique. La présente étude consiste à préparer une base de travail pour élaborer un guide de sylviculture pour ces jeunes peuplements et concerne spécialement, ceux âgés de 5 à environ 20 ans, répartis sur une surface approximative de 3 129 ha dans les cantons A, B et C de la Maâmora. Pour accomplir cette tâche, un total de 80 placettes rectangulaires de 3 ares a été inventorié selon un échantillonnage stratifié en fonction de l'âge des peuplements. Ces placettes réparties d'une manière aléatoire sur le terrain ont fait l'objet de mesures des principales variables dendrométriques du peuplement et des descripteurs du milieu.

Le traitement des données a été élaboré par des méthodes statistiques à une et à plusieurs dimensions. Les résultats de ces analyses ont abouti à :

- L'identification de deux classes de croissances fondée sur le concept de la hauteur dominante à l'âge de référence de 20 ans : une classe fertile sur sables rouges peu profonds à forte rétention en eau, pente faible, là où l'antécédent cultural est la clairière de chêne-liège ou d'*Acacia mearnsii*, du canton A le plus humide. La classe médiocre située dans les cantons B et C relativement moins humides, caractérisée par des sables rouge-beiges, profonds où l'antécédent cultural est l'Eucalyptus ;
- La modélisation de la croissance en circonférence de ces jeunes peuplements montre que la circonférence standard de 70 cm retenue pour la mise en valeur des jeunes arbres est atteinte à l'âge de 20 ans.

**Mots-clés :** Maâmora, chêne-liège, hauteur dominante, typologie des stations, épaisseur du liège.

## Summary

### Typology and growth models for young stands of cork oak grown from acorns in Maâmora (Morocco)

For over a decade, large-scale planting of cork oak seedlings (from acorns) at Maâmora (Morocco) has succeeded well. Culling has been carried out in some plots without any scientific justification. This study aims to prepare a working basis for developing a guide for the forestry management of these young stands, focusing especially on those aged 5 to 20 years spread over an area of roughly 3,129 hectares in the A, B and C townships in Maâmora. To this end, 80 rectangular plots of 3 ares (100m<sup>2</sup>) were surveyed using stratified sampling based on stand age. On these plots, selected at random across the whole area, the stands' key dendrometric variables and environmental features were measured. Data processing was carried out by uni- and multivariate statistical methods. The results of the analysis have led to:

- the identification of two classes of growth based on the criterion of dominant height at the reference age of 20 years: in A township, the wettest, a fertile class growing on shallow, red, water-retentive sandy soil on gentle slopes where the previous cover was represented by old clearings and blackened stumps of cork oak or *Acacia mearnsii*. Secondly, in B and C townships, relatively less damp, a poorer class characterised by deep red-beige sand where the previous cover was eucalyptus.
- the modelling of the growth in circumference of these young stands shows that the standard girth of 70cm used as the benchmark for young trees is reached at 20 years of age.

**Keywords:** Maâmora, Cork, Height Dominant, Type stations, Thickness of cork.

## Resumen

### Tipología y modelos de crecimiento de repoblaciones jóvenes de alcornoque provenientes de bellotas en la Maâmora (Marruecos).

Durante más de una década, las repoblaciones artificiales de alcornoque provenientes de bellotas conocen un gran éxito en Maâmora (Marruecos). Los aclareos ya realizados en algunas parcelas se practican sin base científica. Este estudio consiste en preparar una base de trabajo para desarrollar una guía de selvicultura para estas plantaciones jóvenes y afecta especialmente, a las edades entre los 5 y los 20 años, distribuidos en una superficie de aproximadamente 3.129 hectáreas en los cantones A, B y C de la Maâmora. Para lograr esta tarea, se inventariaron un total de 80 parcelas rectangulares de 3 áreas mediante un muestreo estratificado de acuerdo con la edad de las plantaciones. Estas parcelas distribuidas en el campo de manera aleatoria han sido el objeto de las medidas de las principales variables dendrométricas de la plantación y de los descriptores del medio.

El procesamiento de datos fue desarrollado por métodos estadísticos a una y varias dimensiones. Los resultados de estos análisis se han traducido en:

- La identificación de dos clases de crecimiento basado en el concepto de altura dominante a la edad de referencia de 20 años: una clase fértil sobre arenas rojas poco profundas con fuerte retención de agua, pendiente suave, donde el antecente cultural es el clareo del alcornoque o de la *Acacia mearnsii*, del canton A el más húmedo. La clase mediocre se situa en los cantones B y C relativamente menos húmedos, caracterizados por arenas rojas-beiges, profundas donde el antecedente cultural es el Eucalipto.
- La modelización del crecimiento en circunferencia de estas plantaciones jóvenes muestra que la circunferencia estándar de 70 cm adoptada para la puesta en valor de los árboles jóvenes se alcanza a la edad de 20 años.

**Palabras clave:** Maâmora , alcornoque, altura dominante, tipos de estaciones , el grosor del corcho.