

Etude de la croissance des reboisements de Pin pignon (*Pinus pinea*) en Kroumirie tunisienne

Growth study of Umbrella Pine plantations in Kroumirie, Tunisia

SGHAIER Tahar¹, GARCHI Salah¹ & KHOUAJA Ali²

Abstract: The study of the growth of the Umbrella Pine (*Pinus pinea*) plantations in the Kroumirie region (Tunisia) is based on the analysis of temporary sampling plots. For each plot, a growth model describing the evolution of the average height is adjusted, starting from the measurements analysis of tree stem of average diameter. On the basis of the heights reached at the age of 30, three classes of fertility are identified. A first class comprising 42% of the plantations and having an average height exceeding 10 m at the age of reference; a second one including 40% of the plantations and having an average height ranging between 8 and 10 m and finally, a third class counting 18% of the plantations and characterized by an average height of 8 m and lower. Thereafter, a growth model is established for each class of fertility and the relations between the dendrometric parameters as well as a cubing model with two entries are given. The results show that the greatest part of the growth of umbrella pine is spread out in this area over a period which varies according to the classes of fertility and which may reach around 50 years. The annual speed average of growth is estimated as 34, 27 and 18 cm/yr respectively for growth classes 1, 2 and 3; while the maximum speed of growth, which is reached around the 14 years of age, is estimated as 47, 43 and 25 cm/yr for the same classes of fertility. At the age of 60, the total tree's volume on foot is estimated as 564, 487 and 381 m³/ha respectively for the three classes of fertility. In addition, it appears that beyond 50 years the growth in height and in diameter becomes very slow. The average annual increments between 50 and 60 years are estimated as 0,1 m³/ha, 0,3 m³/ha and 0,7 m³/ha for the classes of fertility 1, 2 and 3.

Key words: Umbrella pine, index of fertility, growth models, speed of growth, cubing model, annual increment.

Résumé: L'étude de la croissance des plantations de Pin pignon (*Pinus pinea*) en Kroumirie tunisienne est basée sur l'analyse des placettes d'échantillonnage temporaires. Pour chaque placette de mesure, un modèle de croissance décrivant l'évolution de la hauteur moyenne est ajusté à partir des mesures de l'analyse de tige de l'arbre de surface terrière moyenne. Sur base des hauteurs atteintes à l'âge de 30 ans, trois classes de fertilité sont identifiées: une première classe représentant 42% des plantations et ayant une hauteur moyenne à l'âge de référence dépassant les 10 m; une deuxième classe représentant 40% des plantations et possédant une hauteur moyenne comprise entre 8 et 10 m; enfin une troisième et dernière classe représentant 18% des plantations et caractérisée par une hauteur moyenne ne dépassant pas les 8 m. Par la suite, un modèle de croissance en hauteur est établi pour chaque classe de fertilité et des relations entre paramètres dendrométriques ainsi qu'un tarif de cubage à double entrée sont déterminés. Les résultats obtenus montrent que la plus grande partie de la croissance du Pin pignon s'étale dans cette région sur une période qui varie en fonction des classes de fertilité et qui peut atteindre une cinquantaine d'années. La vitesse annuelle moyenne de croissance est estimée à 34, 27 et 18 cm/an respectivement pour les classes de croissance 1, 2 et 3, tandis que la vitesse maximale de croissance, qui est atteinte vers l'âge de 14 ans environ, est estimée à 47, 43 et 25 cm/an pour les mêmes classes de fertilité. Vers l'âge de 60 ans, le volume total sur pied estimé est de l'ordre de 564, 487 et 381 m³/ha respectivement pour les trois classes de fertilité. D'autre part, il est apparu qu'au-delà de 50 ans la croissance en hauteur et en diamètre devient très lente. Les accroissements annuels moyens entre 50 et 60 ans d'âge sont estimés à 0,1 m³/ha, 0,3 m³/ha et 0,7 m³/ha pour les classes de fertilité 1, 2 et 3.

Mots clés : Pin pignon, indice de fertilité, modèle de croissance, vitesse de croissance, tarif de cubage, accroissement annuel.

¹Institut National de Recherches en Génie Rural, Eaux et Forêts, BP n° 10, 2080 Ariana, Tunisie.
e-mail : sghaier.tahar@iresa.agrinet.tn

² Institut National Agronomique de Tunisie. 43 Avenue Charles Nicolle, Cité El Mahrajène, Tunis, Tunisie.

INTRODUCTION

Le Pin pignon (*Pinus pinea*) est une espèce forestière anciennement introduite et naturalisée en Tunisie. Son aire de répartition comprend la région septentrionale de la méditerranée, de la péninsule Ibérique à l'Anatolie jusqu'aux côtes de la mer noire. Le Pin pignon a été utilisé en reboisement en Tunisie depuis 1907 pour stabiliser les dunes littorales de Bizerte au Nord et, dès 1930, pour stabiliser les dunes littorales le long des côtes Nord-Est dans la région du Cap Bon (HASNAOUI, 2000). La réussite de ces premières plantations a incité les forestiers à employer cette espèce pour assurer un couvert végétal aux dunes littorales du Nord-Ouest. De nouveau, le succès des plantations de Pin pignon dans les dunes de Saouania, Ouechtata, Béchateur et Remel a encouragé les forestiers à utiliser cette espèce pour reboiser les suberaies dégradées du Nord-Ouest. L'aire de répartition en Tunisie comprend les bioclimats humide et sub-humide. Dans ces franges bioclimatiques, le Pin pignon s'est montré bien acclimaté aux conditions locales et a donné des productions intéressantes malgré la diversité des conditions pédoclimatiques rencontrées (KHOUJA, 2003).

En vertu de sa résistance à l'humidité, le bois de pin pignon est employé pour la construction de bateaux, de pilotis, de bois de mine, de bois de charpente, de poteaux et de menuiserie grossière. Il est également employé en papeterie pour la production de cellulose et de pâte à mécanique (HASNAOUI, 2000). Malgré ses propriétés physiques et mécaniques comparables et même supérieures à celles d'Espagne, le bois de Pin pignon tunisien est principalement utilisé dans l'industrie de trituration et la fabrication de palettes.

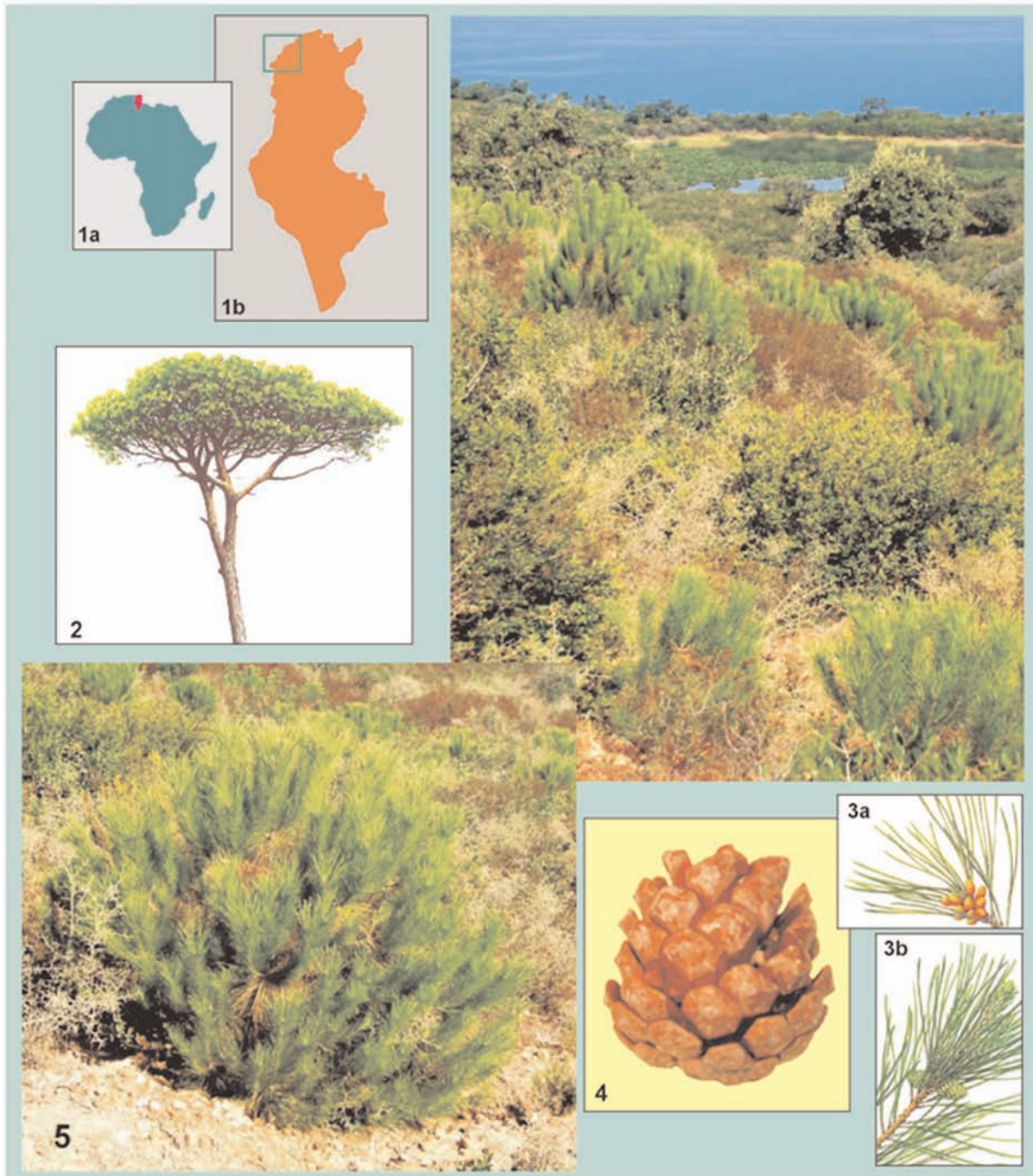
Actuellement, et devant la réussite des anciennes plantations et la forte demande de graines de Pin pignon par la population, cette espèce est devenue l'essence la plus utilisée dans les programmes de reboisement après le Pin d'Alep. Cependant, malgré la réalisation de certaines études sur le Pin pignon, ce dernier reste encore peu étudié du point de vue modèle de croissance et classes de productivité, ce qui nous a incité à entreprendre cette recherche sur la croissance des anciens reboisements de l'espèce en Kroumirie tunisienne. Les reboisements, objet du présent travail, s'étalent depuis les dunes de Zouarâa jusqu'aux monts de Ain Draham. La mise au point d'un modèle d'estimation de la production de ces plantations, âgées actuellement de 20 à environ 40 ans, et la prédiction de leur évolution dans le temps représente pour le gestionnaire forestier un outil indispensable pour leur gestion et leur aménagement.

MATERIEL ET METHODES

Matériel d'étude

L'étude a touché l'ensemble des plantations de Pin pignon dans le Nord Ouest de la Tunisie, qui totalisent une superficie d'environ 3600 ha (DGF, 1995). Il s'agit des reboisements qui s'étendent des dunes côtières de Zouarâa jusqu'aux montagnes de Ain Draham à 843 m d'altitude. La région concernée par cette étude est située dans le bioclimat humide à variante tempérée en altitude et chaude sur les côtes. La pluviométrie annuelle varie selon l'altitude de 850 sur la côte à 1560 mm à Ain Draham. Les températures moyennes annuelles varient de 15,6 à 16,1 °C. La moyenne des maxima des températures du mois le plus chaud peut atteindre 31 °C et la moyenne des minima du mois le plus froid se situe aux alentours de 3,9 et 8,1 °C. Les sols sont peu évolués sur les dunes côtières ; ils sont bruns forestiers à bruns lessivés en montagne (REJEB *et al.*, 1996).

Une quarantaine de placettes réparties sur l'ensemble des plantations de Pin pignon étudiées ont été échantillonnées. Toutes les placettes ont fait l'objet d'un inventaire dendrométrique complet (hauteur dominante, circonférence, densité, etc.) et d'une caractérisation stationnelle détaillée. Pour le calcul de l'âge et du volume moyen des placettes, l'arbre de circonférence moyenne dans chaque placette a été abattu et cubé. Outre le cubage



1a.-1b. Cartes de situation. Encadré vert : région concernée.

2. Port du Pin pignon (*Pinus pinea*) ou "Pin parasol"

3a. Inflorescences mâles 3b. Inflorescences femelles

4. Cône de Pin pignon.

5. Jeune plantation de Pin pignon sur le Djebel Chitane, région de Sejnane (NO.Tunisie)

du bois fort de l'arbre abattu, les paramètres suivants ont également été mesurés : la circonférence à 1,30 m, la hauteur totale et la hauteur du bois fort correspondant au bois de 22 cm de circonférence. Le tableau 1 présente les caractéristiques dendrométriques moyennes des différentes placettes échantillonnées.

Tab. 1- Caractéristiques dendrométriques moyennes des placettes échantillonnées.

<i>Caractéristiques</i>	<i>Min.</i>	<i>Max.</i>	<i>Moyenne</i>
Hauteur dominante (m)	5,27	14,25	9,39 ± 0,48
Hauteur tige moyenne (m)	6,30	13,30	9,27 ± 0,50
Cg (cm)	37,29	83,85	60,03 ± 3,48
G/ha (m ² /ha)	4,71	63,78	23,27 ± 3,30
Densité (tiges/ha)	350	2225	854 ± 138
Age (an)	22	37	29,05 ± 1,35
Volume (m ³ /ha)	54,83	1356,80	424,40 ± 73,38
AAMV (m ³ /ha/an)	1,61	56,53	14,98 ± 2,85
AAMH tige moy. (m/an)	0,17	0,52	0,33 ± 0,02
AAMCg (cm/an)	1,10	2,95	2,11 ± 0,15

Modélisation de la croissance en hauteur.

Sur base de la littérature (DEBOUCHE, 1979 ; PALM, 1989 ; SGHAIER, 2003), le modèle de croissance retenu pour cette étude est celui de Gauss modifié, dont la formulation mathématique est la suivante :

$$H_{dom} = b_0 \left(1 - e^{-\left(\frac{A-b_2}{b_1}\right)^2} \right) \quad (1)$$

dans lequel :

- H_{dom} : hauteur dominante en mètre,
- A : âge depuis la plantation (en années)
- b_0 , b_1 et b_2 : paramètres à estimer.

RESULTATS

Hauteur de tige moyenne et hauteur dominante

La figure 1 présente pour les 40 placettes échantillonnées, la projection en fonction de l'âge, d'une part des hauteurs dominantes (graphique a), et d'autre part des hauteurs issues des analyses de tige effectuées sur les arbres de circonférences moyennes.

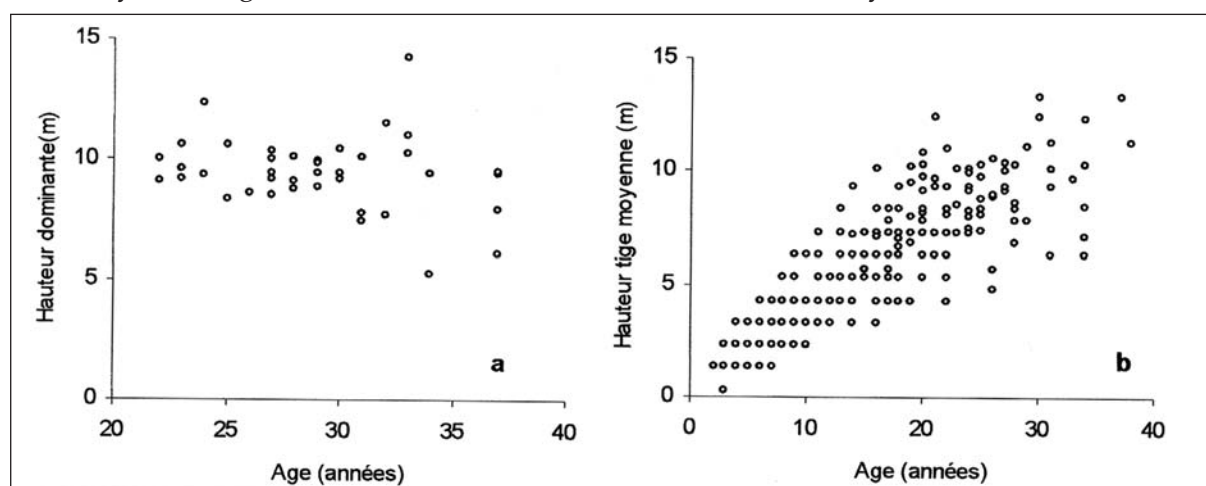


Fig. 1 : Projection en fonction de l'âge des hauteurs dominantes (a) et des hauteurs des arbres de circonférences moyennes (b) après analyse de tige.

Il ressort de la figure 1a que le nuage de points ne représente pas un vrai faisceau permettant d'établir une courbe de croissance qui exprime la hauteur dominante en fonction de l'âge. Différentes courbes de croissance ont été ajustées sur ces données et aucune n'a donné satisfaction.

D'un autre côté, l'analyse de tige a été effectuée sur l'arbre de circonférence moyenne de chaque placette donnant ainsi naissance à différents couples de données hauteur-âge par tige abattue (figure 1b). Comme le nuage de points de cette dernière figure représente bien un vrai faisceau, nous avons opté d'utiliser ces données pour la construction du modèle de croissance en hauteur des plantations de Pin pignon des différents reboisements étudiés.

Cette décision a été appuyée par la similitude entre les deux hauteurs mesurées, à savoir la hauteur dominante et la hauteur de l'arbre de tige moyenne (tableau 2). Le test d'égalité de deux moyennes relatives aux échantillons associés par paires ou par couples (DAGNELIE, 1998) a été effectué sur les deux mesures de la hauteur. Ce test consiste à calculer la différence entre les deux hauteurs par placette et de tester par la suite la nullité de la moyenne de ces différences. En ce qui concerne ces deux hauteurs, le test statistique a donné une valeur $t_{obs} = 1,11$ contre une valeur théorique $t_{0,975} = 2,02$ ce qui conduit à l'acceptation que les deux hauteurs peuvent être considérées comme identiques. Ce dernier résultat permet donc d'utiliser sans risque majeur la hauteur de l'arbre de tige moyenne à la place de l'arbre de hauteur dominante pour l'élaboration du modèle de croissance et la détermination des classes de fertilité.

Tab. 2 - Statistiques descriptives des deux hauteurs mesurées par placette : hauteur dominante et hauteur de l'arbre de tige moyenne.

	<i>Valeur minimale</i>	<i>Valeur maximale</i>	<i>Valeur moyenne</i>	<i>Ecart-type</i>
<i>Hauteur dominante</i>	5,27	14,25	9,39	1,531
<i>Hauteur tige moyenne</i>	6,30	13,30	9,27	1,573

Croissance en hauteur et classes de fertilité

Le modèle de gauss modifié a été ajusté sur les données issues de l'analyse de tige réalisée sur l'arbre de circonférence moyenne par placette. Le tableau 3 présente les statistiques descriptives des valeurs estimées des trois paramètres du modèle de croissance ajusté pour chacune des quarante placettes.

Tab. 3 - Statistiques descriptives des paramètres du modèle de croissance ajusté pour chacune des quarante placettes.

<i>Paramètre</i>	<i>Min.</i>	<i>Max.</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Ecart-type</i>
b_0	6,01	18,03	11,52	2,768
b_1	15,29	38,94	23,01	5,098
b_2	-10,53	-1,98	-4,63	1,915

Pour chaque placette, la hauteur relative à l'âge de référence fixé dans notre cas à 30 ans et représenté par l'indice I_0 a été estimée pour chaque placette à l'aide du modèle de croissance correspondant. Cette hauteur estimée correspond à l'indice de site ou l'indice de la fertilité de la placette correspondante. Pour l'ensemble des 40 placettes, les valeurs de cet indice ont varié entre un minimum de 5,44 m et un maximum de 13,11 m avec une moyenne de 9,64 m et un écart-type de 1,93 m. Selon les valeurs obtenues pour l'indice de site, les 40 placettes ont été réparties d'une façon arbitraire en trois classes de fertilité dont les caractéristiques figurent au tableau 4 :

Tab. 4 - Indice de site des classes de fertilité (hauteur estimée à l'âge de 30 ans).

Classe	Limites	Nombre de placettes	Valeur minimale	Valeur maximale	Valeur moyenne	Ecart-type
1	$I_0 > 10 \text{ m.}$	17	10,34	13,11	11,38	1,102
2	$8 \text{ m} < I_0 \leq 10 \text{ m.}$	16	8,02	10,00	9,05	0,631
3	$I_0 \leq 8 \text{ m.}$	7	5,44	7,72	6,77	0,875

Etant donné que nous disposons pour chacune des 40 placettes des paramètres I_0 , b_0 , b_1 et b_2 , une relation entre chacun de ces trois derniers paramètres et l'indice de site I_0 a été établie. Pour chaque paramètre du modèle, différentes équations ont été testées avec, comme critères de comparaison l'écart-type résiduel et le coefficient de détermination. Finalement, les trois relations suivantes dont les paramètres sont hautement à très hautement significatifs ont été retenues :

$$b_0 = 5,475 + 0,063I_0^2 \quad \text{ETR} = 1,513 \quad R^2 = 0,709 \quad (3)$$

$$b_1 = 69,991 - 9,250I_0 + 0,437I_0^2 \quad \text{ETR} = 4,479 \quad R^2 = 0,268 \quad (4)$$

$$b_2 = 27,934 + 4,408I_0 - 0,199I_0^2 \quad \text{ETR} = 1,252 \quad R^2 = 0,595 \quad (5)$$

Ainsi, le modèle global qui décrit la croissance en hauteur de la tige moyenne en fonction de l'âge est de la forme suivante :

$$H_{\text{tige_moy.}} = (5,475 + 0,063 I_0^2) \left(1 - e^{-\left(\frac{A+27,934-4,408 I_0+0,199 I_0^2}{69,991-9,250 I_0+0,437 I_0^2} \right)^2} \right) \quad (6)$$

En remplaçant I_0 de l'équation (6) par sa valeur moyenne dans chaque classe de fertilité (tableau 4), on obtient trois modèles distincts relatifs chacun à une classe de fertilité. Les valeurs des trois paramètres b_0 , b_1 et b_2 de ces modèles de croissance figurent au tableau 5.

Tab. 5 - Valeurs estimées des paramètres du modèle de croissance par classe de fertilité.

Classe de fertilité	Nombre de placettes	Valeur moyenne I_0 (m)	Paramètres du modèle		
			b_0	b_1	b_2
1	17	11,38	13,63	21,32	- 3,54
2	16	9,05	10,63	22,07	- 4,34
3	7	6,77	8,36	27,40	- 7,21

Si nous essayons d'estimer pour chacune des classes de fertilité la hauteur à l'âge de référence (30 ans) à l'aide des modèles de croissance ainsi établis (tableau 5) et qui doivent correspondre aux valeurs moyennes de I_0 (tableau 4), nous constatons que ces hauteurs sont de 12,48 m pour la première classe, de 9,69 m pour la deuxième classe et finalement de 7,04 m pour la troisième classe. Afin d'obliger les courbes moyennes de passer exactement par les valeurs moyennes de I_0 correspondant à la hauteur moyenne atteinte à l'âge de référence, la

transformation suivante sur le paramètre b_1 a été effectuée en laissant les deux autres paramètres constants :

$$b_1 = \frac{30 - b_2}{\sqrt{-\log\left(1 - \frac{I_0}{b_0}\right)}}$$

Nous avons choisi d'effectuer la transformation sur le paramètre b_1 car, sur les trois relations établies ci-haut (équations 3, 4 et 5) pour prédire les trois paramètres du modèle de croissance global en fonction des valeurs de l'indice de site I_0 , la relation la moins précise était celle relative au paramètre b_1 (équation 4). Dans ces conditions, les valeurs du paramètre b_1 deviennent respectivement 24,99 ; 24,87 et 28,89 pour les classes de fertilité 1, 2 et 3. La figure 2 représente la projection des données observées issues des analyses de tiges des 40 placettes et celle des trois courbes moyennes relatives aux trois classes de fertilité.

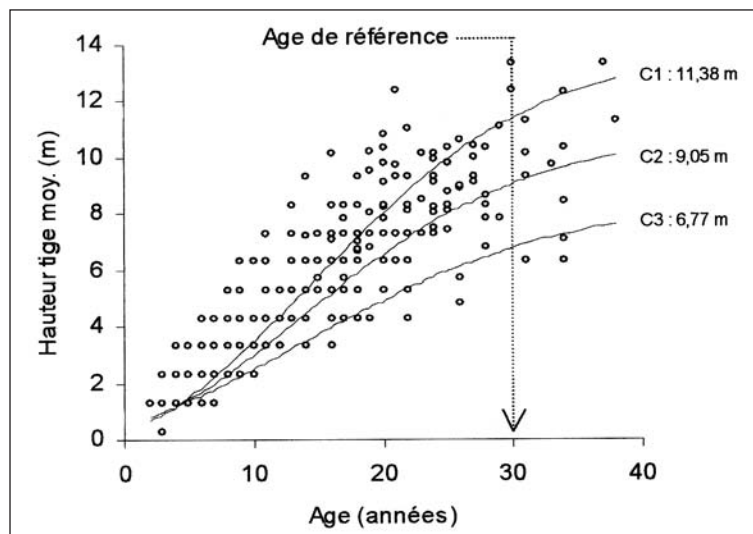


Fig. 2 : Données observées issues des analyses de tiges et courbes moyennes de croissance pour les différentes classes de fertilité.

La figure 3 présente d'une part la projection des hauteurs dominantes relatives aux 40 placettes mesurées et, d'autre part, celle des trois courbes moyennes des trois classes de fertilité déterminées à partir des tiges moyennes. Il ressort de cette figure que les trois courbes moyennes de croissance traversent le nuage de points, ce qui justifie l'approche adoptée pour l'ajustement du modèle qui décrit l'évolution de la hauteur en fonction de l'âge et qui est basée sur l'arbre de tige moyenne par placette.

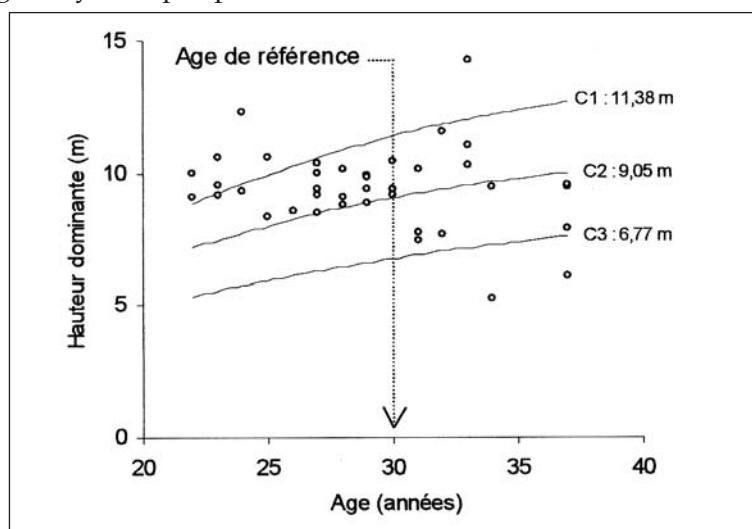


Fig. 3 : Projection des hauteurs dominantes relatives aux 40 placettes et des trois courbes de croissance pour les différentes classes de fertilité déterminées sur les tiges moyennes.

Grâce au modèle de croissance utilisé, différentes caractéristiques de la croissance pour chacune des trois classes de fertilité peuvent être déterminées (SGHAIER, 2003). Le tableau 6 présente ces caractéristiques.

Tab. 6 - Caractéristiques de la croissance par classe de fertilité

Classe de fertilité	Vitesse de croissance (m/an)		Coordonné vitesse maximale		Temps de croissance
	Max.	Moy.	x (ans)	y (m)	(ans)
1	0,47	0,34	14,13	5,36	40
2	0,43	0,27	13,24	4,18	40
3	0,25	0,18	13,22	3,29	46

Le tableau 6 montre que le temps sur lequel s'étale la plus grande partie de la croissance en hauteur (environ 94% de la hauteur totale finale) est estimé à 40 ans pour les deux premières classes de croissance et à 46 ans pour la troisième. La vitesse annuelle moyenne de croissance est estimée à 34, 27 et 18 cm/an respectivement pour les classes de croissance 1, 2 et 3, tandis que la vitesse maximale de croissance pour les mêmes classes est estimée à 47, 43 et 25 cm/an. Cette vitesse maximale de croissance est atteinte vers l'âge de 13 à 14 ans selon la classe de croissance.

Le tableau 7 présente les caractéristiques dendrométriques moyennes des trois classes de fertilité.

Tab. 7 - Caractéristiques dendrométriques moyennes relatives aux plantations du Pin pignon par classe de fertilité.

Caractéristiques	Classe 1	Classe 2	Classe 3
I ₀ (m)	11,38 ± 0,54	9,05 ± 0,32	6,77 ± 0,66
Hauteur dominante (m)	10,31 ± 0,68	9,36 ± 0,30	7,26 ± 0,90
Hauteur tig. moy. (m)	10,46 ± 0,62	9,97 ± 0,40	7,07 ± 0,48
Cg (cm)	62,24 ± 5,42	62,94 ± 4,72	48,02 ± 4,00
G/ha (m ² /ha)	26,13 ± 5,92	23,63 ± 4,06	15,52 ± 5,58
Densité (tiges/ha)	932 ± 264	787 ± 170	818 ± 268
Age (an)	26 ± 2	30 ± 2	33 ± 3
Volume (m ³ /ha)	497,36 ± 132,5	400,06 ± 83,84	302,86 ± 163,58
AAMV (m ³ /ha/an)	19,07 ± 5,48	13,03 ± 2,18	9,50 ± 5,30
AAMH tige moy. (m/an)	0,40 ± 0,02	0,30 ± 0,01	0,22 ± 0,02
AAMCg (cm/an)	2,36 ± 0,17	2,12 ± 0,20	1,48 ± 0,19

NB : I₀ - Indice de site ; Cg - Circonférence tige moyenne ; G - Surface terrière ; AAM - Accroissement Annuel Moyen.

Relations descriptives entre paramètres dendrométriques et leur évolution dans le temps

Dans le but de prédire l'évolution des peuplements dans les reboisements de Pin pignon, sujet de notre étude, différentes relations entre les variables dendrométriques ont été établies. Ces relations sont comme suit :

$$C_{1,30} = 14,01H^{0,652} \quad ETR = 9,03 \quad R^2 = 0,372$$

$$Densité = 1914,82 - 17,60C_{1,30} \quad ETR = 395 \quad R^2 = 0,198$$

$$Volume = 6,807 \times 10^{-5} H^{0,635} C_{1,30}^{1,829} \quad ETR = 0,068 \quad R^2 = 0,911$$

Il est à signaler que pour chacune de ces relations, différentes équations faisant intervenir un ou plusieurs paramètres dendrométriques ont été testées. Seule l'équation qui présente l'écart-type résiduel minimum, le coefficient de détermination maximum et dont les coefficients sont tous significatifs a été retenue.

En se basant sur les relations établies ci-dessus, le tableau 8 présente, par classe de fertilité, l'évolution en fonction de l'âge des valeurs moyennes relatives à la hauteur de la tige moyenne, la circonférence mesurée à 1,30 m de hauteur, la densité à l'hectare, la surface terrière et le volume à l'hectare.

Tab. 8 - Prédiction de l'évolution moyenne en fonction de l'âge et des paramètres dendrométriques des plantations de pin pignon par classe de fertilité dans la région de Kroumirie.

<i>Classe de fertilité</i>	<i>Age (années)</i>	<i>Hauteur tige moy. (m)</i>	<i>Circonf. à 1,30 m (cm)</i>	<i>Densité (tiges/ha)</i>	<i>G (m²/ha)</i>	<i>Volume total (m³/ha)</i>
1	10	3,47	31,52	1360	10,75	112,265
	20	8,02	54,44	957	22,56	365,369
	30	11,38	68,40	711	26,47	514,916
	40	12,98	74,51	603	26,66	555,463
	50	13,49	76,43	570	26,48	563,119
	60	13,61	76,86	562	26,42	564,450
2	10	3,01	28,72	1409	9,25	89,643
	20	6,55	47,72	1075	19,48	283,787
	30	9,05	58,91	878	24,25	418,393
	40	10,19	63,63	795	25,61	470,198
	50	10,54	65,06	770	25,93	484,557
	60	10,62	65,37	764	25,99	487,555
3	10	2,50	25,44	1467	7,56	66,470
	20	4,92	39,57	1218	15,18	190,370
	30	6,77	48,74	1057	19,98	296,187
	40	7,78	53,38	975	22,12	352,613
	50	8,19	55,21	943	22,88	374,764
	60	8,32	55,78	933	23,10	381,513

DISCUSSION

Les résultats obtenus dans le cadre de cette étude montrent que le Pin pignon se développe bien en Kroumirie tunisienne. En effet, si on regarde la proportion des placettes échantillonnées pour chaque classe de fertilité, on constate que les plantations dont la hauteur moyenne ne dépasse pas 8 m après 30 ans de croissance ne représentent que 18% de l'ensemble des reboisements de la région étudiée. En revanche, 42% des reboisements présentent au même âge une hauteur moyenne qui dépasse les 10 m et 82% présentent une hauteur moyenne qui dépasse 8 m. En ce qui concerne les caractéristiques de la croissance en hauteur, et par comparaison à la croissance du Pin d'Alep, les résultats sont comparables à ceux obtenus dans un essai de comparaison de provenance de Pin d'Alep installé à Souiniet dans la région de Ain Draham (SGHAIER, 2005) surtout en ce qui concerne le temps de croissance et l'âge où l'espèce atteint son maximum de croissance. En effet, le temps de croissance a été estimé pour le Pin d'Alep dans la région de Ain Draham, située en bioclimat humide, à environ 48 ans, tandis que la vitesse maximale de croissance est atteinte à l'âge de 14 ans. Toutefois, les vitesses de croissance moyenne et maximale relatives au Pin d'Alep qui sont de l'ordre de 16 et de 22 cm/an respectivement, coïncident avec celles obtenues pour la

troisième et dernière classe de fertilité du Pin pignon. Ce dernier résultat permet de constater que la croissance en hauteur du Pin pignon est beaucoup plus importante que celle du Pin d'Alep dans le Nord-Ouest tunisien, le Pin d'Alep se trouvant dans cette région hors de son aire de répartition naturelle.

En regardant l'évolution des paramètres dendrométriques des peuplements de chaque classe de fertilité dans le temps, nous constatons qu'à l'âge de référence qui est fixé à 30 ans et qui correspond à peu près à l'âge moyen des plantations étudiées, les valeurs estimées (tableau 8) sont comparables à celles observées (tableau 7). En effet, la hauteur observée de la tige moyenne varie de 7 à environ 10,5 m et celle estimée varie également de 7 à environ 11,5 m d'une classe de fertilité à une autre. La surface terrière moyenne observée varie d'environ 16 à 26 m²/ha et celle estimée de 20 à 26 m²/ha. Le volume total observé varie d'environ 302 à 497 m³/ha et celui estimé de 296 à 514 m³/ha. En se basant sur les résultats de prédiction de l'évolution de la croissance de ces peuplements, on peut s'attendre vers l'âge de 60 ans, où la croissance en hauteur devient négligeable, à des volumes totaux sur pied de l'ordre de 564, 487 et 381 m³/ha respectivement pour les classes de fertilité 1, 2 et 3. D'autre part, en regardant les accroissements annuels moyens entre 50 et 60 ans d'âge qui sont de l'ordre de 0,1 m³/ha, de 0,3 m³/ha et 0,7 m³/ha pour les mêmes classes de fertilité, nous pouvons suggérer de faire des coupes définitives vers l'âge de 50 ans surtout pour les deux premières classes de fertilité.

CONCLUSION

L'objectif de ce travail est d'étudier la croissance et de prédire son évolution dans le temps de différents paramètres dendrométriques des plantations de Pin pignon en Kroumirie tunisienne, et ceci à partir de placettes d'échantillonnage temporaires. Pour chaque placette, un modèle de croissance qui décrit l'évolution de la hauteur de tige moyenne en fonction de l'âge a été ajusté à partir des mesures issues de l'analyse de tige de l'arbre de surface terrière moyenne. Après détermination de l'indice de site de chaque placette qui correspond à la hauteur atteinte à l'âge de 30 ans et ceci par l'intermédiaire de son propre modèle de croissance, trois classes de fertilité caractérisant l'ensemble des plantations de Pin pignon étudiées ont été identifiées. La première classe comprend les plantations dont la hauteur de tige moyenne dépasse 10 m à l'âge de référence qui est choisi arbitrairement égal à 30 ans. Cette première classe représente 42% des plantations de la région. Une deuxième classe dont la hauteur moyenne est comprise entre 8 et 10 m représente 40% des peuplements. Finalement une troisième et dernière classe de fertilité dont la hauteur moyenne à l'âge de référence ne dépasse pas les 8 m représente seulement 18% des peuplements.

Pour établir un modèle global qui décrit la croissance en hauteur des différentes plantations étudiées, des relations liant les valeurs de chacun des paramètres du modèle de croissance et l'indice de site de l'ensemble des placettes ont été établies. En remplaçant le paramètre relatif à l'indice de site dans le modèle global par la valeur moyenne de l'indice de site de toutes les placettes de chaque classe de fertilité, on obtient trois modèles distincts décrivant chacun l'évolution de la croissance en hauteur des plantations de Pin pignon de la classe de fertilité correspondante. En se basant sur ces modèles de croissance et des relations établies entre les différents paramètres dendrométriques étudiés, une table décrivant l'évolution des mêmes paramètres dans le temps a été dressée pour chaque classe de fertilité.

Finalement, sur base des trois modèles de croissance élaborés et des différentes relations établies entre les paramètres dendrométriques, le gestionnaire forestier peut imaginer différents scénarios d'interventions dans ces plantations et mesurer quantitativement et qualitativement leur impact sur la production ligneuse totale.

REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUES

- DEBOUCHE C., 1979. Présentation coordonnée de différents modèles de croissance. *Revue de Statistique Appliquée*, Vol. XXVII, 4 : 5-22.
- D.G.F., 1995. Résultats du premier inventaire forestier national en Tunisie. Direction Générale des Forêts, 88 p.
- HASNAOUI F., 2000. Sciage et séchage du Pin pignon, propriétés physiques et mécaniques. Mémoire de PFE, INAT, 73 p. + annexes.
- KHOUJA M.L., 2003 : Etude de la diversité et de la variabilité génétique de 7 espèces forestières de première importance (Pin d'Alep, Pin brutia, Pin pignon, Pin noir, Chêne liège et Cyprès toujours vert). Projet fédérateur : Ecologie, sélections d'espèces et reboisement. Rapport final, 1999-2003, 96 p.
- PALM R., 1989. Construction de tables de production à partir de placettes temporaires : Présentation d'une méthode. *Ann. Sci. For.* 46: 387-396.
- REJEB M.N., KHALDI A., KHOUJA M.L., GARCHI S., BEN MANSOURA A. et NOURI M., 1996. Guide pour le choix des espèces de reboisement : Espèces forestières et pastorales. INGREF, 137 p.
- SGHAIER T., 2003. Contrôle local de l'hétérogénéité spatiale et analyse dynamique d'un essai multi-site de provenances de pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill.) en Tunisie. *GEO-ECO-TROP*, 27, 1-2 : 9-28.
- SGHAIER T., 2005. Contrôle de l'hétérogénéité spatiale dans des essais comparatifs de provenances de Pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill.) installés dans les arboreta de Tunisie. Thèse de doctorat, INAT, 126 p + 41 p.

