

## MODELISATION DE LA CROISSANCE RADIALE DU CHENE ZEEN (*Quercus canariensis* WILD.) : CAS DES CHENAIES DE TIZI-OUZOU ET DE SOUK-AHRAS.

MESSAOUDENE M. et DJEMA A.  
INRF. Station Régionale de Recherche Forestière  
BP. 30 – Yakouren 15365, Tizi-Ouzou - (Algérie)

### RESUME

Dans ce travail, nous avons étudié la croissance radiale de *Quercus canariensis* des chênaies de Tizi-Ouzou et de Souk-Ahras sur des séries chronologiques de 69 à 242 années. La procédure ARMA(p,q) a été utilisée pour appréhender les facteurs limitant le fonctionnement de l'espèce.

L'analyse des données brutes montre l'effet "station" et l'effet "forêt" sur la croissance radiale. Les stations se caractérisent par des modèles (p,q) et (p,0). Les résultats montrent que les modèles de la Kabylie sont plus proches de la réalité biologique. Les quatre chênaies se caractérisent par la forte inertie qu'elles opposent aux influences des facteurs externes. Cette inertie à l'enregistrement, la croissance prédéterminée, la part de croissance expliquée par le climat et celle expliquée par le modèle apparaissent plus importantes dans les formations de Kabylie.

**Mots clés :** Algérie, *Quercus canariensis*, modélisation, épaisseurs des cernes.

## MODELLING OF THE RADIAL GROWTH OF THE OAK ZÉEN (*Quercus canariensis* WILD.) : CASE OF THE OAK GROVES OF TIZI-OUZOU AND SOUK-AHRAS.

### S U M M A R Y

In this work, we studied the radial growth road of *Quercus canariensis* of the oak groves of Kabylia and Souk-Ahras on chronological series from 69 to 242 years. The procedure ARMA ( $p,q$ ) was used to arrest the factors limiting the functioning of the species.

The analysis of the raw data showed the effect "station" and the effect "forest" on the growth radial road. The stations are characterised by models ( $p,q$ ) and ( $p,0$ ). They vary from a station to the other one and from a forest to the other one. However, the models of Kabylia are more close to the biologic reality. Four oak groves are characterised by the strong slowness which they set against the influences of the external factors. This slowness in the recording, the predetermined growth, the part of growth explained by the climate and that explained by the model seem more important in the forming of Kabylia.

**Key words :** Algeria, *Quercus canariensis*, modelling, ring width.

## 1. INTRODUCTION

Il a été démontré (FRITTS, 1976 ; GRAYBILL, 1982) que l'élaboration du cerne annuel dépend des facteurs extrinsèques et intrinsèques. Parmi ces facteurs, certains sont constants dans le temps mais variable d'un individu à l'autre (facteurs édaphiques, topographiques et génétique), d'autres agissent plus ou moins globalement sur l'ensemble des individus, mais fluctuent dans le temps d'un mois, d'une année à l'autre ou encore aléatoirement : facteurs anthropiques (pratiques sylvicoles, délits, activités pastorales), biotiques (ravageurs, parasites, maladies cryptogamiques), climatiques (fluctuations inter mensuelles et interannuelles des précipitations et des températures par exemple).

Le cerne est donc la résultante de plusieurs actions combinées du milieu. Ce dernier forme un réseau d'influence très complexe qu'on peut désagréger en plusieurs éléments (GRAYBILL, 1982). Parmi ceux ci, le climat joue un rôle majeur que FRITTS (1976) conceptualise dans ce qu'il nomme le système climat-croissance "climate-growth system". Dans ce système, trois types de composantes sont envisagés : la composante climat, variable initiale, la composante environnement et le processus physiologique qui contrôlent directement ou indirectement la croissance, variable résultante. Face à ce "réseau d'influence", l'arbre peut opposer une inertie plus ou moins grande qui dépend de ses caractéristiques propres et de celles du biotope.

L'objectif principal de ce travail consiste à définir les modèles de croissance de *Quercus canariensis* pour appréhender les facteurs limitant la largeur des cernes des arbres de deux types de forêts soumises à deux bioclimats différents, et ce dans la perspective de l'aménagement durable.

## 2. MATERIEL ET METHODES

### 2.1. Choix des stations et des arbres

Le travail a été réalisé dans les forêts de l'Akfadou et de Béni-Ghobri pour la Kabylie et dans les forêts de Ouled Béchih et de Boumezrane pour la région de Souk-Ahras. Elles sont respectivement situées dans le bioclimat

humide tempéré et dans le subhumide tempéré. La méthode d'échantillonnage stratifiée progressive a été adoptée pour le choix des stations. Notre but est d'obtenir une représentation aussi exhaustive que possible des différents types de biotopes des quatre forêts. L'étude a été faite sur un total de 29 stations (19 stations de Kabylie et 10 stations de Souk-Ahras). Dans chacune des stations, 13 arbres ont été sélectionnés conformément aux critères généraux établis par STOKES et SMILEY (1968), et dans le cadre d'une étude plus spécialement dendroclimatologique par S. BACHET (1976) et TESSIER (1984). Par arbre, trois carottes ont été extraites à l'aide de la tarière de Pressler, soit 39 carottes par station. Au total, 377 arbres ont été sondés, soit 247 arbres pour la Kabylie et 130 arbres pour Souk-Ahras. Le tableau 1 récapitule les caractéristiques des stations et des arbres des forêts étudiées.

## 2.2. Préparation du matériel et acquisition de données

Après les opérations de ponçage, d'interdatation et de datation de toutes les carottes, les largeurs des cernes ont été mesurées au 1/100mm. Nous avons ensuite établi trois types de séries de données : les séries individuelles représentant la moyenne des trois carottes par arbre, d'âge compris 69 à 242 années ; les séries maîtresses et de synthèse correspondant respectivement aux 29 stations et aux 4 forêts étudiées.

## 2.3. Modélisation de la croissance

La procédure ARMA a été appliquée sur les données brutes des 29 séries maîtresses et des 4 séries de synthèse. Les détails de cette procédure sont amplement développés dans BOX et JENKINS (1970) ; GUIOT et al (1982) ; GUIOT, 1985 ; TESSIER (1984). Le modèle global retenu est de la forme :

$$C_t = \varphi_1 C_{t-1} + \dots + \varphi_p C_{t-p} - \theta_1 a_{t-1} - \dots - \theta_q a_{t-q} + \varphi_s C_{t-s} + \dots + \varphi_{P_s} C_{t-P_s} + a_t$$

Où  $C_t$  est la croissance brute du cerne au temps  $t$ . Pour chaque série chronologique, les ordres  $p, q$  et  $P_s$  du modèle sont déterminés d'après les coefficients des autocorrélations partielles de la série des données brutes correspondante. Les coefficients  $\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_p$  et  $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_q$  sont respectivement les coefficients "Auto Regressive" (AR) et coefficients "Moving Average" (MA) ;  $\varphi_s, \dots$  sont les coefficients du processus



Tableau 1(suite) : Caractéristiques des stations et des arbres des forêts de la Kabylie et de Souk-Ahras

Stations	A.C.M	Exp.	P. (%)	Alt. (m)	H. (m)	D (cm)	ECM (mm)	SM	CI	SMG	CIG	D/ha
Bougeaut (1) <sup>****</sup>	69	N	24	980	17	45	1,81	0,24	0,82			325
Série 1(2) <sup>****</sup>	104	N	42	1055	18,5	28	1,53	0,25	0,66			350
Hezzalmia (3) <sup>****</sup>	103	N/O	50	1030	16	31	1,42	0,19	0,71			525
Sidi-Abdellah (4) <sup>****</sup>	102	N	24	1050	17,5	35	1,53	0,18	0,61	0,22	0,81	425
Hadjadji (5) <sup>****</sup>	111	N	34	910	15,5	41	1,45	0,21	0,67			385
S. Abdelahz (6) <sup>****</sup>	112	-	3	810	18	40	1,36	0,19	0,68			185
Séries (7) <sup>****</sup>	106	S	15	870	14,5	30	0,95	0,23	0,77			350
Elma Lahmar (9) <sup>****</sup>	119	N/E	35	700	12	18	0,79	0,21	0,72			1500
Ain Zana 1 (9) <sup>****</sup>	119	S	25	710	15,5	24	0,72	0,23	0,77	0,23	0,78	625
Ain Zana 2 (10) <sup>****</sup>	69	E	25	705	13	15	1,44	0,27	0,75			625

**Légende :**

\*Forêt de Beni-Ghobri, \*\*Forêt de l'Akfadou, \*\*\* Forêt Ouled Béchih et \*\*\*\*Forêt de Bourmezrane ; chrono = chronologie ; ACM = âge de la chronologie maîtresse ; EMC = épaisseur moyenne du cerne ; Exp = exposition ; Alt = altitude ; P = pente du terrain ; H = hauteur des arbres ; D = diamètre des arbres ; D/ha = densité du peuplement par hectare ; CI = coefficients d'interdatation ; SM = sensibilité moyenne ; SMG = sensibilité moyenne calculé sur les séries globale ; CIG = coefficient d'interdatation calculé sur les séries globales.

autorégressif lié aux cycles de longueur (s).  $a_i$  est la partie aléatoire ou partie résiduelle estimées par la méthodes des moindres carrés. Les coefficients  $\varphi_j$ ,  $\theta_j$  et  $\varphi_{js}$  fournissent la partie prédéterminée du cerne en fonction des épaisseurs des cernes aux temps t-1, t-2...t-p et t-s...t- $P_s$ .

La validité du modèle est contrôlée par la statistique Chi-carré ( $\chi^2$ ). Le modèle définitif (p,q) alors choisit est celui qui minimise le Chi-carré ( $\chi^2$ ).

### 3. RESULTATS ET DISCUSSIONS

Dans notre précédent travail (Messaoudène et al, 2003), nous avons observé que la croissance radiale de *Quercus canariensis* varie significativement entre les deux régions d'Algérie et d'une forêt à l'autre. La croissance de *Quercus canariensis* se caractérise d'une manière générale par des variations de haute fréquence de plus grande amplitude. La tendance d'âge n'apparaît pas nettement, dans le cas où elle apparaît, elle se manifeste sur une vingtaine d'années seulement. L'allure générale des courbes obtenues, toutes stations confondues, ne suit pas la tendance théorique. Elle correspond plus aux courbes affectées par les opérations d'éclaircie (BRAÏKER, 1981) ; sur une même série chronologique, les courbes affichent des phases de décélération et d'accélération de la croissance quel que soit l'âge.

Les résultats de la modélisation des séries chronologiques confirment ces précédents résultats. Le tableau 2 montre que les stations étudiées sont soumises, quelle que soit la forêt, à des modèles de croissance différents. Les 29 stations se caractérisent par deux types de modèle : le modèle type (p,0), pour des p allant de 1 à 3 et le modèle type (p,q), pour des (p) allant toujours de 1 à 3 et des (q) allant de 1 à 2. Le modèle (p,0) représente 35% des populations et le modèle (p,q) 65%. Pour la forêt de Béni-Ghobri, tous les modèles obtenus affichent des ordres (p) et (q) inférieurs respectivement à 2 et 1. En revanche, les stations des trois autres formations se distinguent parfois par des modèles plus complexes avec des p=3 et des q=2. Quelle que soit la forêt prise en compte, l'effet "station" apparaît nettement.

Tableau 2 : Modèles stationnels des quatre forêts étudiées

FORETS	S.T.	T.M.	COEFFICIENTS DES MODELES					EFFICACITE DE LA MODELISATION		
			$\varphi_1$	$\varphi_2$	$\varphi_3$	$\theta_1$	$\theta_2$	%S <sup>2</sup> e	%S <sup>2</sup> M	$\chi^2$
Béni-Ghobri	1	2.1	0.83	0.21		0.28		57	43	7.8
	2	1.0	0.65					61	39	7.7
	3	2.0	0.49	0.17				45	55	10.0
	4	1.0	0.55					53	47	8.1
	5	1.0	0.80					38	62	7.2
	7	1.1	0.86					52	48	10.8
	14	2.1	0.97	0.48		0.39		61	52	9.3
	15	2.1	0.88	0.43		0.51		48	38	8.5
	16	1.1	0.92			0.33		60	47	7.0
	6	3.0	0.62	-0.24	0.19			49	51	8.7
	8	1.1	0.59					65	35	8.8
	9	1.1	0.50					67	33	7.5
	10	3.2	0.90	-0.31	0.23	0.45	0.28	69	43	6.9
	11	2.2	0.94	0.30		0.50	0.27	58	49	7.4
	12	1.0	0.86					56	38	10.5
	13	3.0	0.84	-0.37	0.29			39	41	11
17	3.1	0.85	0.31	0.26	0.28		65	43	9.1	
18	2.1	0.68	0.42		0.37		48	35	10	
19	1.1	0.77			0.48		59	46	6.7	
Ouled Béchih	1	3.2	0.45	0.33	0.21	0.42	0.31	50	41	7.0
	2	2.0	0.57	0.25				57	35	6.8
	3	2.1	0.84	0.26		0.47		68	40	10.3
	4	1.1	0.77			0.36		59	33	10.0
	5	1.0	0.80					60	50	9.6
	6	3.0	0.89	0.27	0.19			45	49	8.7
	7	3.2	0.85	0.31	0.24	0.29	0.23	36	40	7.5
	8	2.2	0.92	0.45		0.32	0.18	43	32	8.1
	9	3.1	0.73	0.50	0.23	0.25		50	40	8.0
	10	3.2	0.65	0.42	0.31	0.28	0.14	45	35	8.5
Boumezran										

**Légende :**  $\varphi, \theta$  = coefficients autorégressif et moyenne mobile ; %S<sup>2</sup>e= Pourcentage de variance expliquée par les résidus ; %S<sup>2</sup>m = Pourcentage de variance expliquée par le modèle ;  $\chi^2$ =Chi-carré calculé sur les 13 coefficients d'autocorrélation des résidus, ST = Station ; T.M = type de Modèle.

Quant aux modèles globaux, calculés pour chacune des forêts, ils mettent en évidence des modèles de type (p,q) pour les forêts de Kabylie et des modèles de type (p,0) pour les forêts de Souk-Ahras (tabl.3). Apparemment, les modèles de Kabylie sont plus proches de la réalité biologique (GUIOT et al, 1982 ; NEFAOUI, 1996). Il en résulte que les modèles de type (p,0) regroupe les stations pour lesquelles la croissance des arbres est prédéterminée et que le climat des années précédentes n'intervient pas directement sur la croissance de l'épaisseur du cerne tandis que le second, de type (p,q), associe les stations dans lesquelles, en plus de la croissance prédéterminée, le climat de l'année précédente joue un rôle direct.

Les coefficients ( $\varphi_1$ ) et ( $\theta_1$ ) des modèles varient aussi d'une station à l'autre et d'une forêt à l'autre. Pour toutes les stations, 57% des stations présentent des  $\varphi_1$  supérieurs à 0,80. Si nous nous référons aux modèles globaux (tabl. 3), nous constatons que les coefficients ( $\varphi$ ) des deux forêts de la Kabylie sont supérieurs à ceux de Souk-Ahras. D'une manière générale, nous déduisons que la majorité des stations se caractérise par la forte inertie qu'elle oppose aux influences des facteurs externes, notamment climatique. Comme nous l'avons remarqué, cette inertie, variable selon le biotope, est d'autant plus grande que les capacités de stockage de l'eau des sols sont élevées (mobilisation des réserves hydriques disponibles dans le sol). D'autre part, elle interprète les mécanismes internes propre à l'arbre et à la station pour la construction du cerne que nous rattachons à la mobilisation des réserves de substances carbonées (MESSAOUDENE, 1989 ; NEFAOUI, 1996). Cette inertie apparaît plus importante dans les stations 14 et 16 pour la forêt de Béni-Ghobri, 10 et 11 pour la forêt d'Akfadou, 6 et 8 respectivement pour les forêts de Ouled Bechih et Boumezrane. Entre les quatre forêts, cette inertie marque plus les forêts de Kabylie que celles de Souk-Ahras. Quant aux coefficients ( $\theta$ ), ils montrent que l'action différée du climat affecte pratiquement 50% des stations et elle apparaît très significative pour les stations et les forêts dont les ( $\theta_1$ ) calculés sont supérieurs à 45 (tabl.2 et tabl.3).

Sur certaines séries individuelles, nous avons aussi remarqué la présence des autocorrélations significatives d'ordre élevé que nous avons attribué à l'intervention des phénomènes cycliques. Ces derniers n'ont pas été pris en considération dans le modèle final car ils ne marquent pas nettement l'ensemble des séries individuelles analysées et ils sont très variables d'une série à l'autre. Sur l'ensemble des 377 séries étudiées, 12% des séries seulement présentent des autocorrélations significatives.

Cela peut s'expliquer par le fait que les phénomènes responsables de tels cycles interviennent aléatoirement sur les individus. Ils pourraient être dus à des insectes défoliateurs comme *Lymantria dispar* et *Tortrix viridana* (SCHWEINGRUBER, 1979 ; LAURENT-HERVOUET, 1986 ; MESSAOUDENE et GUETTAS, 2003). Le caractère individuel de la réponse cyclique des arbres aux attaques de parasites est à rattacher à la réaction physiologique propre à l'arbre. Le caractère irrégulier de la fructification des chênes en général peut également introduire des variations cycliques (TESSIER, 1984). Les cycles ( $P_s$ ), lorsqu'ils interviennent, sont d'ordre compris entre 7 et 10. Le plus dominant est l'ordre 8. Il est raisonnable de penser que ces autocorrélations d'ordre élevé ont une origine aléatoire.

Globalement, les variances résiduelles ( $S^2_e$ ), pourcentages exprimant la part de variance susceptible d'être expliquée par le climat, varient de 36% à 69% sur l'ensemble des stations. Les résultats obtenus sont, le plus souvent, supérieurs à 50%. C'est dans les stations 2, 8, 9, 10, 14, 16 et 17 pour les forêts de Kabylie et 3 et 5 pour les forêts de Souk-Ahras (tabl. 2) où l'action du climat sur la croissance est importante ( $S^2_e \geq 60\%$ ). Quant aux variances expliquées par les modèles ( $S^2_m$ ), elles varient de 32% à 62%. Là aussi à quelques valeurs près, les ( $S^2_m$ ) varient d'une station à l'autre. L'importance relative de la variance attribuable au modèle montre qu'une part non négligeable de la croissance est prédéterminée (MESSAOUDENE et TESSIER, 1997). Ceci est particulièrement vrai pour les stations dont les  $S^2_m$  sont supérieurs 50%. La comparaison de ces variances entre les quatre forêts montre que, là aussi, la chênaie de Kabylie se discrimine de celle de Souk-Ahras avec des pourcentages de ( $S^2_e$ ) supérieurs à 60%. En revanche, hormis la forêt de Ouled Béchih, les valeurs de ( $S^2_m$ ) se rapprochent entre ces deux chênaies (tabl. 3).

Tableau 3 : Modèles globaux représentatifs des quatre forêts

Forêts	T.M.	COEFFICIENTS DES MODELES				EFFICACITE DE LA MODELISATION			
		$\varphi_1$	$\varphi_2$	$\varphi_3$	$\theta_1$	Modèles	%S'e	%S'M	$\chi^2$
Béni Ghobri	2.1	0.85	0.45		0.38	$C_t = 0.85C_{t-1} + 0.45C_{t-2} - 0.38 a_{t-1} + a_t$	67	48	6.3
Akfadou	1.1	0.95			0.51	$C_t = 0.95C_{t-1} - 0.51 a_{t-1} + a_t$	61	51	8.4
O.Béchi	2.0	0.75	0.33			$C_t = 0.75C_{t-1} + 0.33C_{t-2} + a_t$	53	32	7.0
Boumezzane	3.0	0.72	0.29	0.21		$C_t = 0.72C_{t-1} + 0.29C_{t-2} + 0.21C_{t-3} + a_t$	47	47	9.5

## 4. CONCLUSION

Les résultats acquis montrent l'effet " station " et l'effet " forêt " sur la croissance radiale de *Quercus canariensis*. Les épaisseurs des cernes sont modulées par les facteurs stationnels et régionaux. Ainsi, la modélisation fournit des modèles divergents d'une station à l'autre et d'une forêt à l'autre. Les quatre forêts s'individualisent ; les modèles globaux de la Kabylie s'opposent à ceux de Souk-Ahras et la forêt de Béni Ghobri affiche des modèles simples et proches de la réalité biologique. En générale, quelle que soit la station ou la région prise en compte, *Quercus canariensis* est surtout caractérisé par la forte inertie qu'il oppose à l'intervention des facteurs externes. Cette inertie, variable selon les biotopes, apparaît plus grande dans la chênaie de Kabylie. Bien que n'affectant pas l'ensemble des stations, l'action du climat sur la croissance est très significative et elle est souvent différée.

Ces divergences de croissance d'une station à l'autre, d'une forêt à l'autre et d'une régions à l'autre sont attribuées, dans le contexte sylvicole, aux différents taux d'éclaircies appliquées à l'intérieur d'une même forêt (MESSAOUDENE, 1989 ; MESSAOUDENE et al, 2003). Dans le contexte écologique, nous les rattachons aux différences entre les biotopes et au climat des deux régions étudiées.

Dans le cadre de l'aménagement durable, les réponses de *Quercus canariensis* aux facteurs du milieu et aux éclaircies ne permettent pas d'envisager et de généraliser les mêmes techniques sylvicoles aux zéenaies algériennes. Le gestionnaire doit utiliser des normes propres à chacune des chênaies et connaître le temps de passage d'une catégorie de diamètre à l'autre, critère d'exploitabilité indispensable, pour assurer la régularité de la croissance radiale. La présence de plages à cernes épais et minces constitue en soi un défaut de la qualité du bois.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BOX GFP., JENKINS GM., 1970.-** Time series analysis : Forecasting and control. Haden-dey, San-Francisco, 575 p.
- BRÄIKER O.U., 1981.-** La structure d'âge d'après la densité et l'épaisseur des cernes de conifères et sa compensation. *Forstlichen Bundesversuchsanstalt Wien*, 75-101.
- FRITTS HC., 1976.-** Tree rings and Climate. Academic Press, London, 567p.
- GRAYBILL D.A., 1982.-** Chronology development and analysis. Climat from tree rings. Hughes MK and al, eds., 21-31.
- GUIOT J., TESSIER L., SERRE-BACHET F., 1982.-** Application de la modélisation ARMA en dendroclimatologie. *C.R.Acad. Sc. Paris*, T294, 133-136.
- GUIOT J., 1985.-** ARMA techniques for modeling tree-ring response to climate and for reconstructing variations of paléoclimats. *Ecological Modelling*, 149-171
- LAURENT-HERVOUET N., 1986.-** Mesure des pertes de croissance radiale sur quelques espèces de *Pinus*, dues à deux défoliateurs forestier : I- cas de la processionnaire du pin en région méditerranéenne. *Ann. Sci. For.*, 43(2), 239-262.
- MESSAOUDENE M., 1989.-** Dendroécologie et productivité de *Q. afares* Pomel et de *Q. canariensis* Willd dans les massifs forestiers de l'Akfadou et de Béni-Ghobri en Algérie. Thèse de Doctorat en Sciences, Univ. D'Aix-Marseille III, Fac. de Saint-Jérôme, 123 p.
- MESSAOUDENE M., TESSIER L., 1997.-** Relation climat-croissance radiale de *Quercus canariensis* et de *Quercus afares*. *Ann. Sci. For.*, 347-358.
- MESSAOUDENE M., GUETTAS A., 2003.-** Influence de la défoliation sur la croissance radiale de *Quercus canariensis* (Willd.) et de *Quercus afares* (Pomel). *Ann. Rech. Forest. INRF* (article sous presse).

- MESSAOUDENE M, DJEMA A., FERRAHI M.O., 2003.-** Modélisation de la croissance et de la production du chêne zéen en Algérie. Programme National de Recherche INRF-CRSTRA, Rapport final, 40p.
- NEFAOUI M., 1996.-** Dendroécologie, productivité et dynamique de la croissance radiale du Pin maritime naturel au Maroc. Thèse de Doctorat en Science, tome 1, Université d'Aix Marseille III, 142p.
- SERRE-BACHET F., 1976.-** Les rapports de la croissance et du climat chez le pin d'alep. Méthodes utilisées : l'activité cambiale et le climat. *Oecol. Planta.*, 11 (2), 143-171.
- SCHWEINGRUBER F.H., BRÄKER O.U. AND SCHAR E., 1979.-** Dendroclimatic studies on conifers from Central Europe and Great Britain. *Boreas*, vol. 8, Oslo, 427-452.
- STOKES M.T. AND SMILEY T.L., 1968.-** An introduction to tree-ring dating. The University of Chicago Press, 73 p.
- TESSIER L., 1984.-** Dendroclimatologie et écologie de *Pinus silvestris* L., et *Q. pubescens* Willd dans le sud de la France. Thèse de Docteur ès Sciences. Univ. D'Aix-Marseille III, Fac. de Saint-Jérôme, 275 p.