

RELATION CLIMAT-CROISSANCE RADIALE DE QUERCUS CANARIENSIS WILLD ET DE QUERCUS AFARES POMEL DANS LES MASSIFS FORESTIERS DE L'AKFADOU ET DE BENI GHOBRI - ALGERIE.

PAR MESSAOUDENE MOHAND

I.N.R.F, STATION REGIONALE DE TIZI-OUZOU

B.P. 11 YAKOUREN 15365 (ALGERIE)

R E S U M E

La modélisation des séries de cerne de vingt populations naturelles de Quercus canariensis Will. et de Quercus afares Pomel des massifs forestiers de l'Akfadou et de Béni-Ghobri révèle que l'épaisseur des cerne est dépendante à la fois de la croissance des années antérieures et du climat de l'année précédente.

L'analyse des relations cerne-climat par le calcul des fonctions de réponse montre l'action dominante des précipitations par rapport aux températures et l'action prépondérante des températures minimales par rapport aux maximales. Il en résulte que l'intervention de ces trois variables sur le processus de la croissance radiale est modulée par le facteur génétique et par les facteurs du milieu sol, altitude et pente du terrain.

Mots clés : Algérie, Quercus, Cerce, Climat, Fonction de réponse, Station, Sol et Dendroclimatologie.

I. INTRODUCTION

En Algérie, le rôle des forêts à *Quercus canariensis* et *Quercus afares* est mal défini. La majorité des forestiers les limite aux seuls rôles de protection et d'accueil (tourisme). Or, il ressort que ces forêts peuvent encore assumer le rôle de production (bois d'oeuvre de qualité) si des opérations sylvicoles appropriées leur sont appliquées (MESSAOU-DENE, 1989 ; DAUTREBANDE, 1989 et AMEELS, 1989). La question posée, les forestiers maîtrisent-ils l'écologie de ces deux espèces pour préconiser une quelconque méthode sylvicole ?

C'est pour répondre à cette question pertinente et plein d'intérêt que cette étude est abordée. Elle consiste à mettre en évidence les variables du milieu agissant directement ou indirectement sur l'épaisseur du cerne.

Pourquoi l'épaisseur du cerne ? il a été démontré que l'élaboration du cerne dépend essentiellement du potentiel génétique de l'individu puis de son environnement abiotique et biotique (FRITTS, 1976 ; SERRE, 1976 ; AUSSENAC, 1978 ; LAURENT-HERVOUET, 1986 ; BECKER, 1986 ; MUNAUT, 1988 ; TESSIER, 1989). Chaque série brute d'épaisseur de cernes est considérée comme la résultante de l'intervention combinée de ces différents facteurs sur le processus de croissance (GRABYL, 1982). Trois éléments y sont impliqués : un élément purement aléatoire, un élément tendantiel et un élément cyclique (TESSIER, 1984).

Modélisée, il est donc possible d'extraire des données brutes de chaque série chronologique la part de croissance attribuable à l'un ou l'autre de ces facteurs. Par ailleurs, la connaissance des facteurs induisant les cernes minces ou épais permettra d'orienter la sylviculture de ces deux chênes dont les différences du point de vue botanique sont largement développées par BATT & TRABUT (1980) ; QUEZEL & al (1980) et SEIGUE (1985).

Le présent travail traite la relation climat-croissance radiale. Il a été fait appel dans ce cadre, aux procédures utilisées en dendroclimatologie.

II. METHODOLOGIE ET DONNEES

Deux types de variables ont été utilisées pour mettre en évidence les relations entre le climat et la croissance radiale :

2.1. Variables expliquées

Elles concernent les épaisseurs des cernes des deux espèces sur des séries chronologiques aussi longues que possible.

2.1.1. Collecte des données

Vingt (20) populations ont été choisies dans les forêts d'Akfadou et de Béni-Ghobri (ALGERIE) selon la stratégie d'échantillonnage stratifiée progressive soit 10 populations de Quercus canariensis et 10 populations de Quercus afares. Elles appartiennent aux bioclimats humide à variantes fraîches et tempérées, aux étages de végétation de thermoméditerranéen, méso et supraméditerranéen (QUEZEL, 1956 ; ils ont été sélectionnés conformément aux critères établis par STOKES & al (1968) et dans le cadre d'une étude spécialement dendroclimatologique. S. BACHET (1976) et TESSIER (1984). 243 individus de l'une ou de l'autre espèces ont été sondés à l'aide de la tarière de Pressler.

2.1.2. Modélisation des séries élémentaires

La procédure classique ARMA (Processus Autoregressifs Moyennes Mobiles : Autoregression Moving Average) a été appliquée (GUIOT et al., 1982 ; Tessier, 1984) pour modéliser la croissance des différentes séries élémentaires obtenues. Le but recherché est d'extraire la part de croissance strictement liée au climat. Cette méthode dérive de celle de BOX & JENKINS (1970).

Brièvement, "elle applique un modèle de croissance annuelle à chaque série élémentaire et n'intègre ensuite dans la chronologie maîtresse que les séries pour lesquelles le modèle permet d'obtenir le meilleur rapport possible signal climatique/bruit" (TESSIER 1984).

L'équation de modélisation appliquée, tenant compte des trois éléments impliqués dans le processus de croissance est de forme :

$$C_t = \Theta_1 C_{t-1} + \dots + \Theta_p C_{t-p} - \Theta_1 a_{t-1} - \dots - \Theta_q a_{t-q} + \Theta_s C_{t-s} + \dots + \Theta_{P_s} C_{t-P_s} + a_t$$

Où C_t est la croissance au temps t ; $\Theta_1 \dots \Theta_p$ sont les coefficients propres à l'autorégression (ARp) ; $\Theta_1 \dots \Theta_q$, coefficient propres aux processus moyennes mobiles (MAq) ; Θ_s , coefficients du processus autoressifs liés aux cycles de longueurs (s) ; a_t , résidu aléatoire simple au temps (t).

Quant aux ordres p , q et P_s , ils sont déterminés d'après les coefficients d'autorrelation partiels de la série correspondante des données brutes. Les coefficients Θ_j , O_j et Θ_{js} fournissent la partie prédéterminée du cerne en fonction des épaisseurs des cernes aux temps $t-1$, $t-2$, ..., $t-p$ et $t-s$, $t-P_s$. Les valeurs résiduelles (a_t) sont estimées par la méthode des moindres carrés (GUIOT, 1983), et sont obtenus par soustraction.

Le modèle est accepté lorsqu'il fournit une série de résidus présentant des autocorrelations non significatives (bruit blanc), une variance résiduelle minimale, un Chi-carré sur les coefficients d'autocorrelations non significative (bruit blanc), une variance résiduelle minimale, un Chi-carré sur les coefficients d'autocorrelation réduit et un AIC (AKAIKE INFORMATION CRITERION) minimum.

Pour chaque population, 90 % des séries élémentaires ont pu être correctement modélisée selon ce processus soit un total de 729 séries de résidus. Les modèles calculés par espèce et par population sont récapitulés dans le tableau 1 et 2.

2.2. Variables explicatives

Ces variables correspondent aux précipitations mensuelles et aux températures minimales et maximales mensuelles.

POP	MOD	COEFFICIENTS DES MODELES						EFFICACITE DE LA MODELISATION		
		Q1	Q1			O1	O1	% ² _{Se}	% ² _{r_m}	X ²
1	1.1	0.78				0.15		24	76	11.9
2	2.0	0.75	0.15					40	60	11.4
3	1.0	0.54						58	42	9.5
4	1.0	0.70						42	58	11.5
5	2.2	0.80	0.22			0.25	0.15	48	58	11.5
6	1.0	0.50						61	39	9.1
7	1.0	0.69						62	38	10.2
8	2.0	0.63	0.22					35	65	11.4
9	1.1	0.78						50	50	10.2
10	1.0	0.65				0.25		56	44	10.2

Tableau 1 : Modèles représentatifs des populations de Quercus afares.

%²_{Se} = Pourcentage de variance expliquée par les résidus

%²_{r_m} = Pourcentage de variance expliquée par le modèle

X² = Chi-carré sur les 13 coefficients d'autocorrélation des résidus.

POP	MOD	COEFFICIENTS DES MODELES						EFFICACITE DE LA MODELISATION		
		Q1	Q1	O3		O1		% ² _{Se}	% ² _{r_m}	X ²
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
6	30	0.62	-0.24	0.19				49	51	8.7
8	1.1	0.86				0.22		52	48	10.8
9	1.1	0.59				0.17		65	35	8.8
10	1.0	0.50						67	33	7.5

Tableau 2 : Modèles représentatifs des populations de Quercus canariensis

2.2.1. Choix du poste météorologique de référence

Sur les 11 postes disponibles d'Alger à Béjaia, seul celui de Larbaa Nath Irathen (Ex Fort National) a été retenu pour le calcul des fonctions de réponse. Ce poste apparaît le plus corrélié avec l'ensemble des autres postes d'observation à l'échelle régionale (MESSAOUDENE, 1989). Par ailleurs, si l'on se réfère aux critères de choix d'un poste représentatif (PEYRE, 1979; MUNAUT, 1982; SERRE-BACHET, 1982), LARBAA par sa topographie, son exposition et son altitude peut être considéré comme représentatif de l'ensemble du massif étudié. Il possède les trois séries de températures minimales et maximales mensuelles (T_m et T_M) et précipitations mensuelles (P) sur la période 1918/1951 soit 34 années.

2.2.2. Choix des regressseurs et de la période

(24) Paramètres mensuels du climat ont été utilisés comme regressseurs, pour calculer les fonctions de réponse soit $12 P + 12 T_M$ et $12 P + 12 P_m$. Compte tenu de l'instabilité de la régression calculée avec ses 24 paramètres, un regroupement de variable a été fait pour réduire le nombre de regressseurs (GUIOT, 1981). Deux types de regroupement ont été individualisés : le premier avec 11 variables et le second avec 12 variables ; respectivement, ils sont significatifs pour 14 populations et 5 populations. Dans chacun des cas, les regressseurs définitifs sont récapitulés dans le tableau 3.

Les paramètres couvrent la période de 12 mois qui s'intercale entre la fin de l'élaboration du cerne de l'année $t-1$ et la fin de l'élaboration du cerne de l'année t (MUNAUT et al., 1978). Une période supérieure à 12 mois pose des problèmes d'ordre statistique (GUIOT, 1981), dans la mesure où les mois supplémentaires sont pris en considération deux fois.

2.3. Calcul des fonctions de réponse

La fonction de réponse est utilisée pour décrire les relations entre les données climatiques et les épaisseurs des cernes. FRITTS (1976) la définit comme "l'équation de calibration statistique exprimant les effets relatifs séparés de plusieurs facteurs climatique sur l'épaisseur des cernes". Pour

	11. VARIABLES EXPLICATIVES	12. VARIABLES EXPLICATIVES
PRECIPITATION	OCT + NOV + DEC., JANV + FEV., MARS + AVRIL MAI + JUIN + JUIL., AOUT + SEPT.	OCT + NOV + DEC., JANV + FEV., MARS + AVRIL MAI + JUIN + JUIL., AOUT + SEPT.
TEMPERATURES	OCT + NOV + DEC., JANV + FEV., MARS + AVRIL MAI + JUIN + JUIL., AOUT + SEPT.	OCT + NOV + DEC., JANV + FEV., MARS + AVRIL MAI + JUIN + JUIL., AOUT + SEPT.

Tableau 3 : Variables explicatives prises en considération pour le calcul des fonctions de réponse.

HUGHES et al. (1982), elle ne mesure pas la réponse climat-croissance, mais plutôt l'efficacité du modèle statistique qui prédit la part de la variation de l'épaisseur des cernes. sous la dépendance des facteurs externes.

2.3.1. Méthode

Plusieurs méthodes de calcul ont été envisagées et mises en pratique. Elles font appel à des méthodes statistiques multivariées ; les plus utilisées sont les méthodes de régression canonique et de la régression pas à pas (SERRE, 1973 ; GUIOT et al., 1982a ; GUIOT, 1982 b ; FRITTS, 1976 ; TESSIER, 1984 ; GUIBAL, 1984 ; RAOUANE, 1985 et BECKER, 1988). Dans ce présent travail, la procédure BOOTSTRAP est appliquée. Elle fait appel à la régression orthogonalisée.

2.3.1.1. La procédure BOOTSTRAP : Principes et méthodes

Cette méthode récente est proposée par EFRON (1979) ; DIACONIS et al. (1983) et mise en oeuvre dans le cadre de la reconstruction climatique par GUIOT (1989) puis par MESSAOUDENE (1989) en matière de Dendroécologie.

Ses principaux intérêts résident dans le fait qu'il n'est pas nécessaire de supposer que les paramètres calculés répondent à une loi de distribution normale d'une part, la précision statistique donnée est fiable dans un grand nombre de situations d'autre part (DIACONIS et al., 1983).

Brièvement, l'application de cette méthode pour calculer les fonctions de réponse est schématisée par la figure 1.

2.3.1.2. Résultats obtenus

Le calcul des fonctions de réponse a été effectué pour les 19 séries élémentaires. Après examen du seuil de signification (WONNACOTT et al., 1969 ; DAGNELIE, 1973) des fonctions de réponse, les 12 séries élémentaires les plus significativement corrélées au climat sont sélectionnées.

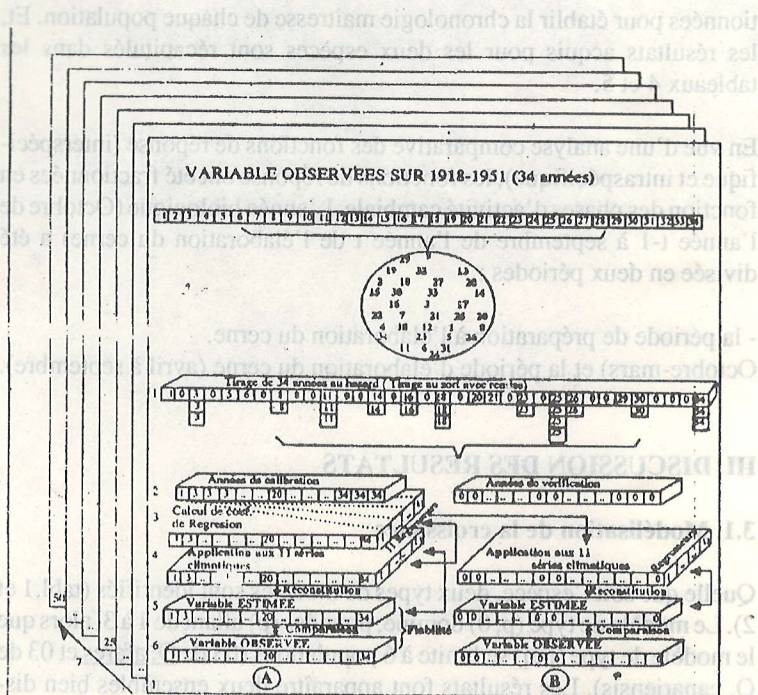


Fig. 1 SCHEMA GENERAL DE LA PROCEDURE BOOTSTRAP

A partir d'une variable dépendante (série de cerne) de taille de n années 1918-1951, 34 années sont tirées au hasard. Le tirage au sort se fait avec remise, si bien qu'une année peut être tirée plusieurs fois (1). Chaque année ayant une chance sur deux d'être tirée, environ dix-sept années différentes forment l'échantillon simulé, les années tirées constituent les années de calibration et les années non tirées sont utilisées dans la vérification (2A). C'est à ce stade qu'intervient le calcul de régression standardisée entre la variable dépendante et les variables explicatives (3A). La variable dépendante (cerne=année) est confrontée à chacun des 11 régresseurs. On obtient donc 11 coefficients de régression standardisés. Les 11 coefficients de régression obtenus sont ensuite appliqués à la série climatique (4A) pour reconstruire la variable dépendante (variable dépendante estimée) (5A). Parallèlement, la même opération est menée sur les années de vérification 4B, 5B). Dans les deux cas, les valeurs estimées sont comparées aux valeurs observées (6A, 6B).

L'ensemble des opérations précédentes est répété 50 fois sur donc 50 tirages au sort différents (7). Ainsi 50 fonctions de réponse sont calculées. Pour chacune d'elles, on obtient :

- La différence entre la moyenne des valeurs estimées et celles des valeurs observées, la différence entre l'écart type des valeurs estimées et celui des valeurs observées et le coefficient de corrélation entre les valeurs estimées et les valeurs observées.

Au fur et à mesure des tirages, les moyennes des valeurs précédentes sont calculées. On constate qu'à l'issue de 40 à 50 tirages, ces moyennes se stabilisent. Le nombre de tirages a donc été limité à 50.

La signification globale de la fonction de réponse est donnée par les deux coefficients de corrélation multiple moyens calculés d'une part sur l'intervalle de calibration, d'autre part sur l'intervalle de vérification.

tionnées pour établir la chronologie maîtresse de chaque population. Et, les résultats acquis pour les deux espèces sont récapitulés dans les tableaux 4 et 5.

En vue d'une analyse comparative des fonctions de réponse (interspécifique et intraspécifique), les fonctions de réponse ont été fractionnées en fonction des phases d'activité cambiale. L'année biologique (Octobre de l'année $t-1$ à septembre de l'année t de l'élaboration du cerne) a été divisée en deux périodes :

- la période de préparation à l'élaboration du cerne. Octobre-mars) et la période d'élaboration du cerne (avril à septembre).

III. DISCUSSION DES RESULTATS

3.1. Modélisation de la croissance

Quelle que soit l'espèce, deux types de modèles sont identifiés (tabl. 1 et 2). Le modèle de type $(p, 0)$ domine, pour des (p) allant de 1 à 3, alors que le modèle de type (p, q) se limite à 6 populations (03 de Q. afares et 03 de Q. canariensis). Les résultats font apparaître deux ensembles bien distincts :

* le premier modèle $(p, 0)$ pour lequel le climat des années précédentes n'intervient pas directement ($p = 1$ et 2 ; $q = 0$) ; le second avec des modèles de type (p, q) pour lesquels la croissance et le climat des années précédentes jouent un rôle direct ($p = 1$ et 2 , $q = 1$ et 2).

En séparant les variations de hautes et de basses fréquences, la modélisation de la croissance montre la forte inertie que les deux espèces opposent à l'intervention des facteurs externes, climatiques en particulier. Variables selon les biotopes, elle est d'autant plus grande que les capacités de stockage de l'eau des sols est élevée. L'inertie de l'enregistreur est surtout marquée dans les populations où les valeurs de $(\emptyset)$ sont supérieures ou égales à 0.70. L'action différée du climat ne se manifeste que pour quelques populations et les coefficients $(\emptyset)$ qui l'expriment ont des valeurs faibles ($0.17 < \emptyset < 0.25$).

POP	C	RMC	RMV	SC	SV	SEUIL DE SIG.G (%) RMC	SEUIL DE SIG.G (%) RMV	REGRESSEURS		NBRE DE VA- RI- AN- TE
								PRECIPITATION	TEMPERATURE	
								ONDIFMAMJJAS	ONDIFMAMJJAS	
1	1 2	79 76	34 27	6 9	19 32		90	22222 222 22333	22333 22	11 11
2	1 2	80 77	33 27	7 9	20 23		90 70	333 222 333 333	333	11 11
3	1 2	74 65	21 0,4	7 1	20 23		70		333	11 11
4	1 2	78 74	28 15	9 7	23 22		95 70	222222222222 22 333 22222	2 222 222	11 11
5	1 2	84 75	53 24	6 7	21 21	99 %	99 95		222 444 2 22333	11 11
6	1 2	82 80	61 46	5 6	18 20		99	22	333 222	11 11
7	1 2	81 71	46 7	5 7	17 26					12 12
8	1 2	70 69	23 25	7 8	27 21		70	444 22 555 22	222	11 11
9	1 2	68 63	5 7	10 8	23 23			22 22		11 11
10	1 2	82 75	46 17	6 7	21 21		95	44 44	2 222	12 11

Tableau 4 : Fonctions de réponse codées et paramètres statistiques obtenus par la méthode bootstrap pour Quercus afares.

(Pop = population; C = couple : 1 = P - TM; RMC = Coeff. de corrélation moyen calculé sur les données de vérification ; sc ET sv = écarts-types sur les années de calibration et de vérification; SEUIL DE SIG. G = Seuil de signification ; NBRE DE VAR. INT = Nombre de variables explicatives introduites).

POP	C	RMC	RMV	SC	SV	SEUIL DE SIG.G (%) RMC	SEUIL DE SIG.G (%) RMV	REGRESSEURS		NBRE DE VA- RI- AN- TE		
								PRECIPITATION	TEMPERATURE			
											ONDJFMAMJJAS	ONDJFMAMJJAS
1	1 2	86 81	60 51	3 7	15 19	99 %	99 99	222 22222	22 2	333 222	12 11	
2	1 2	80 78	41 29	5 8	22 27		99 70	222 222	22 2222	222 222	11 11	
3	1 2	78 69	37 15	6 8	25 27		70				333	11 11
4	1 2	76 72	24 21	6 9	29 19		70 70	2 222				12 11
5	1 2	85 76	44 12	3 0	23 24		95	222				12 11
6	1 2	80 77	38 30	6 6	24 21		90 70	22222 222 33222			222 222	12 11
8	1 2	83 79	50 39	5 5	17 20		99 95	222		2	222	11 11
9	1 2	78 71	38 23	6 7	23 19		90 70	222 333 22		22222 222 22		11 11
10	1 2	82 71	46 22	5 9	21 30		90	22 22222		2 33 333		11 11

Tableau 5 : Fonction de réponse codées et paramètres statistiques obtenus par la méthode bootstrap pour Quercus afares.

Codage des fonctions de réponse :

R > S code 1; R > 2S code 2

R > 3S code 3; R > 4 S code 4

R > 5 S code m5 où R : Coefficient de regression standardisée et S = Ecart type.

Le signe positif ou négatif signifie respectivement rôle direct (+) ou inverse (-) sur la croissance radiale.

Quant aux relations cycliques, elles n'affectent pas l'ensemble des séries analysées, et sont très variables d'une série à l'autre. Sur l'ensemble des séries ($N=228$), pour les deux espèces, les cycles enregistrés sont d'ordre $6 < P_s < 11$. Le plus dominant est d'ordre $P_s = 9$. Ces cycles sont dus probablement aux attaques d'insectes, variabilité génétique ou bien le caractère plus ou moins régulier de la fructification (SERRE, 1978 ; SCHWEINGRUBER, 1979 et LAURENT-HERVOUET, 1986).

En se référant aux différentes variances calculées (tabl. 1 et 2), la part de variance expliquée par le modèle (R_m) varie de 33 % à 76 % ; quant à la part de variance expliquée par le climat (S_e), elle varie de 24 % à 67 %. Elles sont comparables d'une espèce à l'autre, mais divergent entre les populations. L'importance relative de cette variance attribuable au modèle montre qu'une part non négligeable de la croissance est prédéterminée. Par ailleurs, la variance résiduelle montre que l'intervention du climat régional sur la croissance n'est pas homogène. Les facteurs stationnels (sol, pente, altitude et exposition) modulent son action. Partiellement, ces résultats sont comparables à ceux mis en évidence par FRITTS (1962a) sur Q. alba L. et Fagus grandiflora Ehrh aux USA, par ECKSTEIN et al. (1974) sur Q. robur en R.F.A et par CHALABI (1980) sur Q. cerris en Syrie.

3.2. Fonctions de réponse

Q. canariensis et Q. afares, bien que soumis à un même climat régional (PEGUY, 1970) ont des comportements très variables. Se référant aux différentes phases prises en considération, il apparaît (tabl. 4 et 5) :

3.2.1. Phase antérieure à l'élaboration du cerne

Les relations mises en évidence sont toutes différées dans le temps. Le facteur précipitation joue un rôle majeur.

3.2.1.1. Relation avec les précipitations

La relation inverse avec les précipitations d'octobre à décembre affecte préférentiellement les populations sur sol argileux compacts. Dans de telles conditions, les précipitations supérieures à la moyenne sont défavorables à la croissance. L'installation de l'hydromorphie compromet le bon fonctionnement immédiat du système racinaire par conséquent la diminution du potentiel ultérieur d'absorption (BONNEAU et al., 1979 ; DELATOUR, 1983 ; BECKER et al., 1983 et 1986 ; CALLOT et al., 1982). Ce phénomène est encore plus accentué pour les populations d'altitude que celles de basses altitude présentant les mêmes conditions de sol et de pentes. Néanmoins, dans certains cas, la pente joue un rôle compensateur en favorisant le drainage du sol (BECKER, 1986). Dans les sols poreux, les populations sont indifférentes aux précipitations de cette période. Cette situation caractérise surtout les populations de basses altitudes de Q. canariensis (QC. 1, QC. 2, QC. 3, QC. 4; QC5.) et de Q. afares (QA. 3, QA6).

Quant à l'intervention inverse des précipitations de mars, marquant les populations d'altitude supérieure à 1 100 m et sur sols argileux compacts, elle pourrait être liée à la persistance de l'hydromorphie en ce mois d'activité cambiale. L'absence de relation en janvier-février, vraisemblablement, liée à la dormance hivernale, met en évidence le démarrage de l'élaboration du cerne ou la réactivation cambiale en ce mois de mars.

3.2.1.2. Relation avec les températures

On enregistre :

- l'action directe des températures minimales d'octobre sur six populations de Q. afares et Q. canariensis,
- l'action inverse des températures de novembre-décembre, caractérisant davantage Q. canariensis,
- les relations inverses et directes des températures de janvier-février,

- les relations directes des températures maximales au niveau des populations de Q. canariensis de basses altitudes situées en limite avec Q. suber. L.,

- les relations directes avec les températures maximales et inverses avec les températures minimales des populations d'Agoulmine Aberkane (1 350 m d'altitude).

La combinaison des relations directes des températures minimales et inverses des précipitations d'octobre suppose le fonctionnement tardif de l'arbre. L'action directe des températures de ce mois peut être liée à une influence favorable des températures supérieures à la moyenne sur la croissance des racines et des mycorhises et en conséquence sur la mise en réserve de substances nutritives utiles pour la croissance ultérieure (BACHET, 1982).

En novembre-décembre, l'action inverse des températures à basses altitudes peut être interprétée en relation avec la date de mise en quiescence. En effet, l'absence de relations dès novembre avec les populations d'altitude (en dormance) et la présence de relations directes avec les températures maximales avec Q. canariensis à basses altitudes met en évidence l'activité cambiale tardive de Q. canariensis au niveau de cette tranche altitudinale (CHAMPAGNAT, 1979). Gardant toujours ses feuilles vertes jusqu'en avril de l'année suivante, les échanges gazeux, l'activité respiratoire et l'activité photosynthétique seraient possibles en cette période (HELLER, 1969). Ceci contredit la théorie ; selon LARCHER (1980), si de telles activités existent, la relation avec les températures serait directe. La relation inverse qui y intervient semble être liée à la nécessité, pour ces chênes, d'entrer en dormance effective afin d'assurer un stockage de réserves utiles pour la croissance ultérieure (CHALUPA, 1965). PILCHER et al. (1982) déduisent que ce type de relation chez Q. robur et Q. petraea résulterait de la consommation des réserves de carbohydrates par respiration sous de températures élevées, même après les chutes des feuilles. Quant aux relations avec les températures de janvier-février, l'interprétation suit le schéma explicatif avancé pour les deux mois précédents. Pour les relations obtenus au niveau des populations d'Agoulmine Aberkane, aucune explication plausible ne peut être avancée.

3.2.2. Phase de construction du cerne

3.2.2.1. Relation avec les températures

Les relations obtenues sont de type inverse pour avril août et directes pour la période mai-juin-juillet. L'interprétation des relations inverses d'avril est identique à celle du mois de mars. Un découpage plus naturel que celui proposé devrait intégrer le mois de mars dans la phase contemporaine de l'élaboration du cerne.

L'action directe des précipitations de la période mai-juin-juillet est vraisemblablement liée à la phase optimale de l'activité cambiale. Quel que soit le type de sol, les arbres réagissent positivement aux rares précipitations de cette période. Ces précipitations inférieures à celles des périodes précédentes peuvent s'intégrer à la réserve hydrique des sols. La réduction de l'hydromorphie par ressuyage et les précipitations estivales sont favorables au bon fonctionnement de l'activité cambiale. L'influence de ces précipitations est étroitement corrélée avec les besoins hydriques des deux espèces pendant que se déroulent le processus de croissance.

Plusieurs auteurs ont relevé l'importance du rôle des précipitations de cette période (POUPONS, 1970 ; DEMOUNEN et al, 1970 ; SERRE, 1976 ; CHALABI, 1980 et ALOUI et al, 1987). Néanmoins, il est impossible de dissocier cette intervention directe des précipitations de celle inverse des températures de la même période.

L'intervention inverse et directe des précipitations d'août et septembre ne concerne respectivement que deux populations de Quercus afares situées sur sol argileux et en crête, et une de Quercus canariensis. L'action inverse, compte tenu du caractère héliophile de l'espèce, peut s'expliquer en terme de nébulosité. De fortes précipitations correspondant à une forte nébulosité serait susceptible de diminuer les phénomènes d'évapotranspiration, la photosynthèse et par conséquent le ralentissement du rythme de croissance.

3.2.2.2. Relation avec les températures

Seules les températures de mai-juin-juillet agissent significativement sur l'activité cambiale. Les deux espèces, quel que soit le type de biotope, ont une réaction uniforme. L'action inverse enregistrée doit être interprétée corrélativement avec l'action directe des précipitations de la même période. Les mêmes relations ont été mises en évidence par TESSIER (1984) sur *Quercus pubescens*.

3.3. Bilan

Les différentes formes d'action des paramètres hydrique et thermiques, tenant compte de la variable édaphiques, pour obtenir un cerne mince ou épais dans la région se présentent comme suit (fig. 6 et 7) :

CONCLUSION

L'action du climat régional sur le processus de la croissance radiale de *Quercus canariensis* et de *Quercus afares* de l'Akfadou et Béni Ghobri est fonction des facteurs stationnels. Il en résulte des modèles de croissance et des fonctions de réponse divergents d'une station à l'autre.

Sur le plan pratique, ces résultats incitent réflexion sur le choix des critères d'exploitabilité à se fixer dans le cadre de l'aménagement forestier, sur les modèles de sylviculture à appliquer et sur la variabilité de la qualité de bois des deux espèces dans le massif.

Tenant compte de la variabilité de la croissance interspécifique et intraspécifique, induite par l'hétérogénéité des biotopes, les critères d'exploitabilité (âge et diamètre des arbres), pour une espèce donnée, peuvent être multiple au sein du massif. Ils peuvent même varier entre deux stations ou parcelles (unités de gestion) contiguës. Le même raisonnement peut être abordé en matière de sylviculture. La réaction et la sensibilité divergente entre ces deux espèces aux facteurs environnementaux montrent qu'on ne peut envisager un modèle sylvicole commun à ces deux chênes bien qu'ils se retrouvent parfois dans le massif en peuplement mixte.

FIG. 6 : Modes d'action des précipitations en fonction du biotope dans le déterminisme de l'épaisseur du cerne.

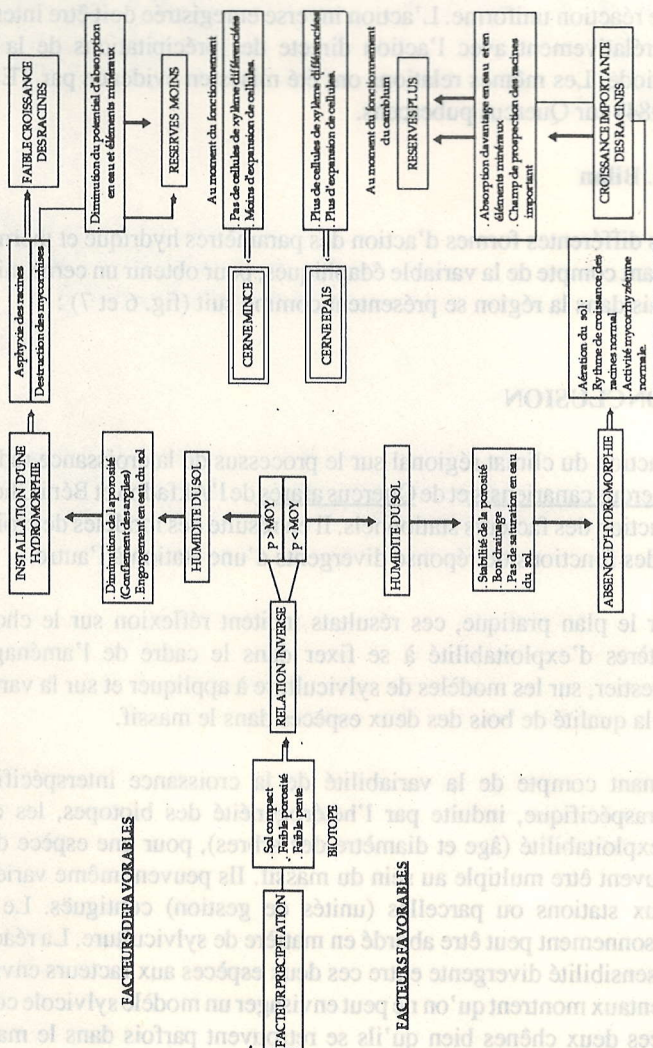
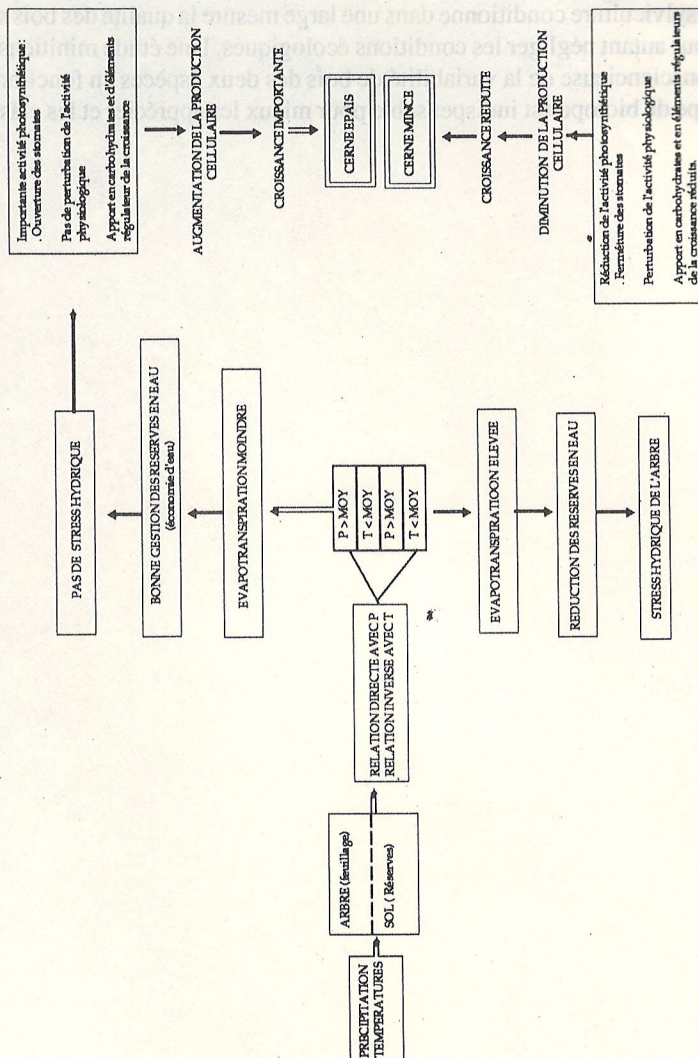


FIG. 7 : Modes d'action des précipitations et des températures en fonction du biotope dans le déterminisme de l'épaisseur du cerne.



Quant à la qualité de leurs bois, considérée de médiocre par la majorité des forestiers, on peut penser que certaines stations pourraient fournir un bois de qualité. Comme le souligne POLGE (1973) et LANIER (1986), la sylviculture conditionne dans une large mesure la qualité des bois sans pour autant négliger les conditions écologiques. Une étude minutieuse et consciencieuse de la variabilité de bois des deux espèces en fonction du type de biotope est indispensable pour mieux les apprécier et les classer.

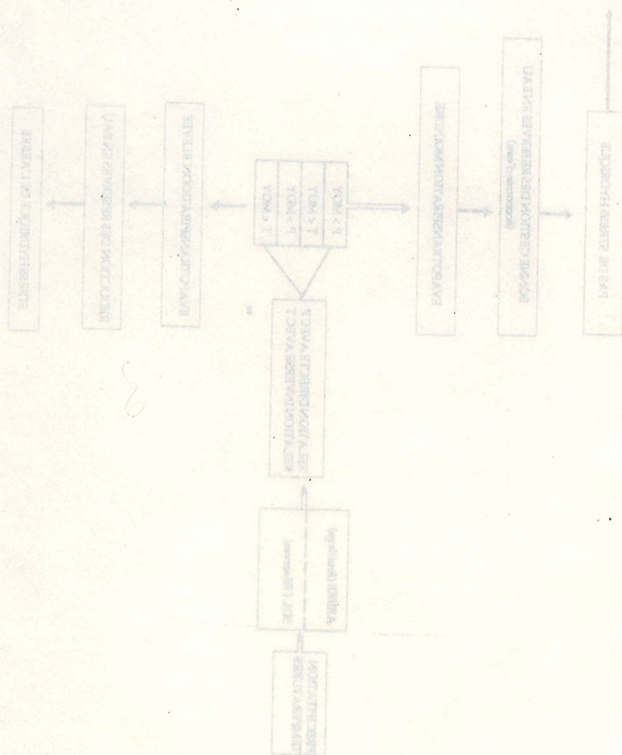


FIG. 1. - Méthode de classification des biotopes en fonction des caractéristiques physiques, chimiques, mécaniques et physiques.

BIBLIOGRAPHIE

- AMEELS M., 1989 - Etude des propriétés anatomiques et technologiques de *Q. Canariensis* Willd. des massifs de l'Akfadou et Béni-Ghobri en Algérie. Mém. d'Ing. Agron., Univ. Catholique de LOUVAIN, Fac. des Scs. Agro de LOUVAIN (BELGIQUE), 111 p.
- AUSSENAC G., 1978 - La sécheresse de 1976 : Influence des déficit hydrique sur la croissance ligneuse. R.F.F., XXX (2), p 103-104.
- BATT M. et TRABUT M., 1980 - Flore de l'Algérie. Edit. Jourdan, PARIS.
- BECKER M., LEVY G., 1983 - Le dépérissement du chêne. Les causes écologiques : Exemple de la forêt de Tronçais et premières conclusions. R.F.F., XXXV (5) p 341-356.
- BECKER M., LEVY G., 1986 - Croissance radiale comparée de chênes adultes (*Q. Robur* L. et *Q. petraea* Matt. Liebl sur sol hydromorphe acide : effet du drainage. Acta Ecol. Plant. Vol 7 (21) n° 2, p 121-356.
- BECKER M., LEVY G., 1988 - A propos du dépérissement des forêts : Climat, sylviculture et vitalité de la sapinière vosgienne. R.F.F., XL (5), p 345-358.
- BONNEAU M., SOUCHIER B., 1978 - Pédologie. Constituants et propriétés du sol. Edit. Masson, t2, 459 p.
- BOX G.F.P., JENKINS G.M., 1970 - Time series analysis : Forecasting and control, Hoen Day, San Francisco, USA, 575 p.
- CALLOT., 1982 - Les interactions sol-racines : Incidence sur la nutrition minérale. I.N.R.A, PARIS, 305p.
- CAMPAGNAT P., OZENDA P., BAILLAUD M., 1989 - Biologie végétale. Croissance, Morphogénèse et reproduction. Edit. Masson et Cie, PARIS, 510 p.
- CHALABI M.N., 1980 - Analyse phytosociologique, phytoécologique,

dendrométrie et dendroclimatologique des forêts de Q. Cerris L. Sub sp pseudocerris et contribution à l'étude taxonomique du genre Quercus L. en Syrie. Thèse de Docteur es Sciences, Univ. d'Aix-Marseille III, Fac de St Jerome (FRANCE), 341 p.

CHALUPA V., 1965 - Influence of the réduction of leaves on the beginning and course of radial growth. Communications Inst. fores. Cechoslovena, p 63-73.

DAUTRIBANDE G., 1989 - Etude anatomique et technnologique de Quercus afares Pomel de Grande Kabylie (ALGERIE). Mém. d'Ing. Agron., Univ. Catholique de LOUVAIN, Fac des Scs. Agron. (BELGIQUE), 81p

DAGNELIE P., 1973 - Théorie et méthodes statistiques, Applications Agronomiques. Presses Agron., GEMBOUX (BELGIQUE).

DELATOUR C., 1983 - Les dépérissements de chênes en Europe. R.F.F., XXXV (4), p 265-282.

DEMOUNEN R., DAYANI A., 1970 - Influence de la teneur en eau du sol sur les accroissements ligneux chez P. Pinaster. C.R. Acad., t 270, p 1250-1253.

DIACONIS R., EFRON B., 1983 - Méthodes de calculs statistiques intensifs sur ordinateurs. Pour la Science, 9 46-58.

ECKSTEIN D., SCHMIDI B., 1974 - Dendroklimatogische untersuchungen aus dem maritimen klimagebiet schleswighols teins. Angew, Botanik 48, p 371-383.

EFRONE., 1979 - Bootstrap methods : Another look at the Jackknife. The annals of statistic, Vol. 7, n° 1, p 1-26.

FRITTS H.C., 1976 - Tree-Rings and Climate. Academic Press, LONDON , 567 p.

GRABYLL D.A., 1982 - Chronology developement and analysis. Climat from tree rings. hghes M.K and al., eds, p 21-31.

GUIBAL F., 1984 - Contribution dendroclimatologique à la connaissance de la croissance du Cèdre de l'Atlas dans les reboisements du Sud-Est de la France. Thèse de Doct. 3^{ème} cycle, Univ. d'Aix-Marseille III, Fac. de St. JEROME, 123 p.

GUIOT J., 1981 - Analyse mathématique de données géophysiques. Application à la dendroclimatologie. Thèse de Doct. es Sciences, Univ. Catholique de LOUVAIN, Fac. des Scs., LOUVAIN-LA-NEUVE, Vol. 1, 176 p.

GUIOT J., BERGER A. L., MUNAUT A. V., 1982 a - Reponse fonctions. Second International Workshop on global Dendroclimatology, Norwich 1980, Climate From Tree-rings, Hughes M.K. et al. eds. Cambridge University Press, p 38-45.

GUIOT J., TESSIER L., S. BACHET F., 19822 - Application de la modélisation ARMA en dendroclimatologie. C.R. Acad. Sc. PARIS, t294, p 133-136.

GUIOT J., 1989 - The climate of central Canada and Southwestern Eutope. Reconstructed by cambining various types of proxy data : A detailed Analysis of the 1810-1820 period. Climate in 1816. Harington C.R., ed., (sous press).

HELLER., R., 1969 - Biologie végétale II : Nutrition et métabolisme, Edit. Masson et Cie, 577 p.

HUGHES M.K., MILSOM S.J., 1982 - Comment an the climate growth response. Second international Workshop on global dendroclimatology, Norwich, 180 "Climate from tree Ring". Hughes et al., eds. Cambridge Univ. Press, p 37-38.

LARCHER W., 1980 - Physiology plant ecology. Second, totally revised., edit. spinger Verlag BERLIN, 303 p.

MESSAOUDENE M., 1989 - Dendroécologie et productivité de Q. afares Pomel et de Q. canariensis Willd. dans les massifs forestiers de l'Akfadou et Béni-Ghobri en Algérie. Thèse de Doct. en Scs. Univ. d'Aix Marseille III, Fac. de St. Jerome, 123 p.

MUNAUT A.V., 1982 - The mediterranean area. Second Inter. Work. on global dendroclimatology, Norwich 1980, Climate from tree-rings et al. eds. Cambridge Univ. Press, p 151-153.

MUNAUT A.V., 1988 - Les cernes de croissance des arbres (la dendrochronologie). Typologie des sources du moyen âge occidental, Fasc. 53 BILL-2., Univ. Catholique de LOUVAIN, Inst. d'étude médiévales. Brepols, TURNHOUT, BELGIUM, p 1-51.

PEGUY CH. P., 1978 - Précis de climatologie. Masson et Cie, PARIS, 468 p.

PEYRE C., 1979 - Recherche sur l'étagement de la végétation dans le massif du BOU-ILFANE (Moyen Atlas Oriental, MAROC). Thèse de Doct. 3ème cycle, Univ. d'Aix Marseille III, Fac de St Jerome, 146p.

PILCHER J.R., GRAY B., 1982 - The relationships between Oak tree growth and climate in Britain. Journal of ecology, 70. British Ecological Society, p 297—304.

POUPONS H., 1970 - Sur la croissance de quelques espèces de pins dans ses rapports avec le climat du Nord de la Tunisie. Thèse de 3ème cycle, Univ. de Paris. Fac. des Scs d'Orsay, 192 p.

QUEZEL P., 1956 - Contribution à l'étude des forêts de chênes à feuilles caduques d'Algérie. Mém. Soc. Hist. Nat. de l'Afrique du Nord. Nouvelle série, n° 1, 57 p.

QUEZEL P., SANTA S., 1962 - Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales. Edit. CNRS, PRIS, 1165 p.

QUEZEL P., BONIN G., 1980 - Les forêts feuilles du pourtour méditerranéen, constitution, écologie, situation actuelle et perspectives. R.F.F., XXX II, 3, p 253-265.

RAOUANE M., 1985 - Etude dendroclimatologique du chêne Zéen (*Q. canariensis* Willd) du Rif occidental et du Moyen Atlas au Maroc. Thèse de Doct. de 3ème Cycle, Univ. d'Aix Marseille III, Fac. des Sc. de St Jerome, 125 p.

SCHWEINGRUBER F.H., BRAKER and SCHAPE., 1979 - Dendroclimatic studies on conifers. Oslo, p 427-452.

SAKHRI T., SEBII S., 1991 - Cartographie de l'occupation des terres et des risques d'incendies au 1/10 000 d'une partie de l'Akfadou. Contribution à l'étude phytocéologique des formations à *Quercus canariensis* (Willd) et *Q. afares* (Pome) et proposition d'aménagement. Mém. d'Ing. d'Etat écol. (Option Forêt). USTHB, 101 m + annexes.

SEIGUE A., 1985 - La forêt circumméditerranéenne et ses problèmes. Edit. Maisonneuse, Larose et A.C.C.T, Paris, 502 p.

SERRE F., 1973 - Contribution à l'étude dendroclimatologique du pin d'Alep (*P. halepensis*). Thèse de Doct. es Scs. Nat., Univ. d'Aix Marseille III, Fac. de St Jerome, 244 p.

SERRE 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), p 143-171.

SERRE-BACHET F., 1982 - Analyse dendroclimatologique comparée de quatre espèces de pins et du chêne pubescens dans la région de la Gardiole près Rians (Var, France). Ecol. Medit., t VIII (Facs. 3), p 168-183.

STOKES M.A., SMILEY T.L., 1968 - An Introduction to tree - ring dating. The Univ. of Chicago Press, 73p.

TESSIER L., 1984 - Dendroclimatologie et écologie de *Psilvestris* L. et *Q. pubescens* Willd. dans le Sud-Est de la France. Thèse de Doct. es Scs., Univ. d'Aix Marseille III, Fac de St. Jerome, 275 p.

TESSIER L., 1989 - Spatio-temporal analysis of climate tree ring relationships. New phyto., 11, p 517-529.

WONNACOTT T.H., WONNACOTT R.J., 1969 - Introductory Statistics. Second Edit. Wiley Inter., Edit., Canada, 509 p.