

بعض خصائص نمو أشجار الأرز اللبناني

تاسكن أوسمان وإير أونال

الوزارة المنتدبة المكلفة بالشؤون الغابوية.

أنقرة - تركيا

تشتهر اليوم أشجار الأرز اللبنانية بكونها نوعا شبه حساس جزئيا بعد ما كانت تشتهر فيما مضى بحساسيتها الكاملة فهي تتحمل آثار الظل خلال مراحل نموها الأولى، كما يمكنها تحقيق نمو سريع بعد رفع الظل عنها غير أن الأشجار المعزولة التي تنمو خارج الظل منذ نشأتها تعرف نموا أحسن بكثير ولا تحقق معالجات التوسيع المتأخرة فيما بين الأشجار، والتي يتم تطبيقها على الشجرات الطبيعية بدون سابق أية معالجة حرجية كانت، أي توقع منتظر لهذا السبب، لا يجب توقع تحسن كمي ونوعي من معالجات غابية كهذه، ويجب تطبيق قطع أشجار صحي على مثل تلك الشجرات وحتى تجدها.

SOME GROWTH CHARACTERISTICS IN LEBANON CEDAR

TASKIN O: and ELER Ü.**

* Vice Deputy Ministry of Forestry, Ankara - Turkey

** South-West Anatolia Forest Research Institute
PK 264, Antalya - Turkey

Résumé - Le cèdre du Liban a été toujours connu par son intolérance. Actuellement, il est vu comme une espèce semi-tolérante.

Le cèdre du Liban supporte les effets d'abri au jeune âge, il donne des croissances rapide après l'élimination d'abri. Les individus qui croient toujours sous abri dès le départ montrent un bon développement. Les éclaircies retardées appliquées aux peuplements naturels sans aucun traitement sylvicole préalable ne répondent à aucune prévision. Pour cette raison, le gain en qualité et en quantité n'est pas tributaire d'une telle opération, mais les coupes sanitaires doivent être appliquées aux peuplements jusqu'à leur régénération.

Cèdre du Liban / effets d'abri / accroissement / éclaircies / coupes sanitaires / régénération.

Summary - Lebanon cedar used to be known as an intolerant tree species. Now, it is widely regarded a semi-tolerant.

Lebanon cedar does tolerate shelter effects at young development stages, and can perform a rapid growth after the removal of shelter. Still, individuals grown unshelter from the very beginning, show much better a development. Delayed thinning treatments applied to natural stands with no previous silvicultural treatment of any kind fail to fulfill any expectation. For this reason, improvement of quantity and quality should not be expected from such thinnings and sanitary felling should be applied to such stands until their regeneration.

Lebanon Cedar / Shelter effects / Growth / Thinning / Sanitary felling / Regeneration

INTRODUCTION

Lebanon cedar can perform a good growth and development under favorable site factors. It can endure shelter effects at youth stage. Thus is attributed to its biological properties. Cedar seeds are rather heavy seeds which cannot be drifted by wind to long distance and drop some where in the vicinity of main stem. Thus, young seedlings do not grow at a sufficient rate until their terminal shoots touch the canopy of the mature trees overhead. Then, the deformation of crowns of young individuals takes place. These young trees resume a rapid height growth after the removal of the overhead mature trees. This biological property of Lebanon cedar indicates clearly that this species can endure shelter effect of overhead mature stand in youth stage, as well as can perform a remarkable growth after the removal of the mature individuals. Also, Lebanon cedar grows very well with no shelter provided right from the beginning throughout all development stages.

Underlying parent rock in the natural distribution area of Lebanon cedar is usually limestone with deep cracks. Soil mantle is mostly shallow and poor in terms of soil fertility. Adding the typical prolonged summer drought of the Mediterranean climate type, site factors are not favorable to support the growth of dense stands due to the shortage

of soil water content. Potential development of young individuals can be realized by removal of mature trees at an early stage and by allowing sufficient growing space for the remaining future trees which have already established themselves well into the deep cracks within the limestone parent rock. Delayed thinning cannot improve the stand structure of those stands which are at an age of half of the rotation age with a history of no silvicultural treatment of any kind. Height growth of suppressed trees is accelerated by thinning treatments but similar response is not observed in terms of growth in diameter. Lebanon cedar stands should be grown in a proper maintenance regime from the early ages on, giving certain stand densities appropriate to the site quality. In the rate of failing this, production of the stand drops below its potential yield and losses can not be covered by future tendings.. Furthermore, after certain ages, tending makes no significant effect on stand development.

In this paper, growth relations in Lebanon cedar in different ages are discussed.

MATERIAL AND METHOD

Growth relations should be examined from the early ages on and inspected for different periods.

Results of previous researches and data from stem analyses made on dominant trees of 152 sample plots were used in this study. Dominant trees can be assumed to have an advantage of having better growing chance from the beginning. The stem analyses data were used to estimate the age for reaching 1.30m height and to investigate dominant height growth. Besides, results for stand and tree conditions were reviewed.

Development in young stage

Lebanon cedar can endure suppression but it can grow better without a shelter (Kantarci, 1987). Another important characteristic of the Lebanon cedar is that the roots of the seedlings can find and penetrate the fissures in the karst terrains to reach necessary water in the depth of the ground. The seedlings of which roots can find the fissures show a significant growing superiority (Kantarci, 1987).

The ages for reaching 1.30m height, estimated from the data of stem analyses are given in the table 1.

Table 1: The ages for reaching breast height

Site		Quality		Class	
Good		Medium		Poor	
<u>Age</u>	<u>%</u>	<u>Age</u>	<u>%</u>	<u>Age</u>	<u>%</u>
5	17	5	9	5	-
6-10	53	6-10	31	6-10	28
11-15	23	11-15	25	11-15	11
16-20	7	16-20	19	16-20	19
		21-25	9	21-25	15
		26-30	3	26-30	6
		30 <	1	30 <	21

In the good site class, 70 % of the young trees can reach 1.30 m height by the age of 10. This height is reached until the age of 15 by 65 % in the medium site class. In

the poor sites on the other hand only 58 of the trees can reach breast height by the age of 20, and 73% of them grow this height by the age of 25.

Growth of dominant height

Dominant height / age relationship with respect to site quality classes is shown in figure 1. The data is examined in scatter diagrams to decide upon the growth model. After examining several models, the equations given below were selected as the best fit for three site quality classes:

$$h_{dom} = -1.45764 + 0.50309 t - 0.00227 t^2 \quad (\text{Good site})$$

$$R = 0.951$$

$$h_{dom} = -0.72942 + 0.33259 t - 0.00137 t^2 \quad (\text{Medium site})$$

$$R = 0.904$$

$$\ln h_{dom} = 2.57949 - \frac{34.65337}{t} + \frac{82.82983}{t^2} - \frac{52.04883}{t^3} \quad (\text{Poorsite})$$

$$R = 0.861$$

Where: h_{dom} = average, dominant height, m
 t = age,

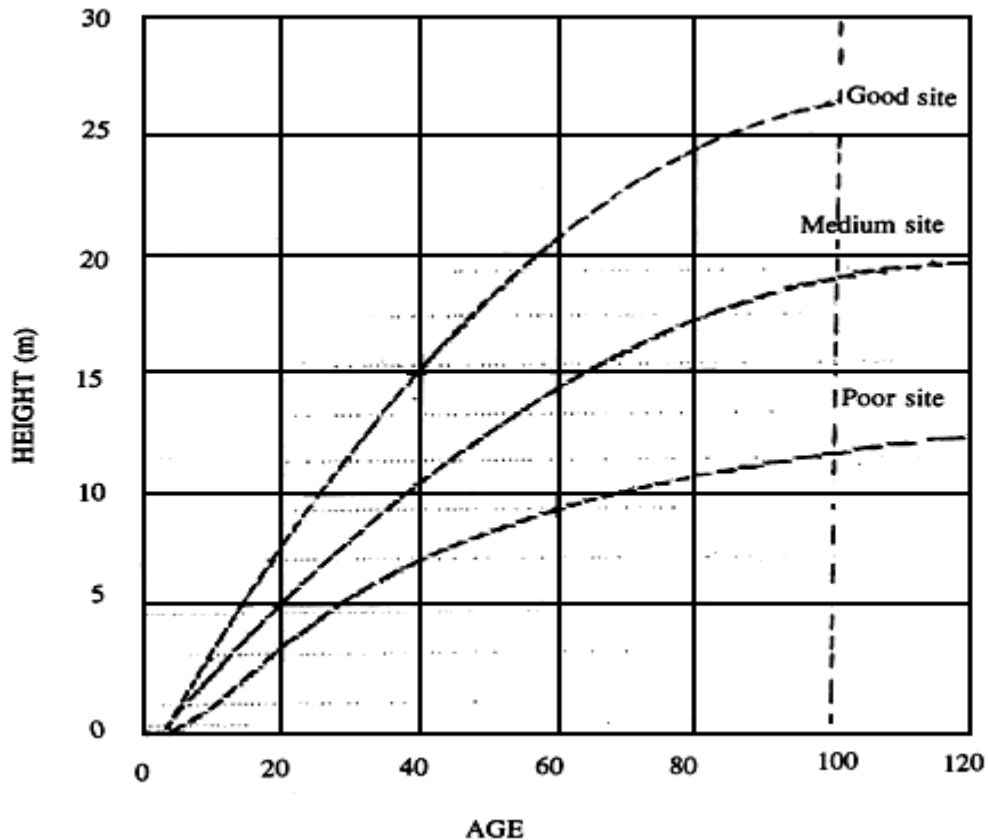


Figure 1: Relationship between age and top height in Lebanon cedar

Growth of diameter breast height

Stand density has no significant effect on dominant height but on diameter. Therefore in growth, age is not the only factor affecting the diameter.

According to the investigations carried out in Lebanon cedar, thinnings in young stages have an important effect on diameter growth whereas height growth is not significantly affected by the treatments. In mature stages on the other hand, the effect of thinning treatments on the growth is nonsignificant. This shows the importance of timing in tendings. Lebanon cedar can endure suppression even until 70 years of age and after being released from shelters it can make normal height growth (Kalipsiz-eler, 1984).

CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS

If Lebanon cedar seedlings finds the cracks on fissured karst formation and send its roots to enough depth it can make a fast growth in the early ages. This is a very important matter in growing cedar species. To increase the change of selecting future trees, tendings in the thicked stage should not be carried out until the well grown, distinguished individuals are appeared in the area.

In release cutting also, well-grown saplings should be given priority to be released.

By the time of first thinnings, the ones that found the fissures in the ground and that therefore make a good growth become clearly apparent. In this stage the decisions in selection of the removed or released ones can be made more reliably. After this stage, the case of poor root and stem development in the well-grown individuals becomes a low probability.

Cedar stands should be grown through a proper tending régime implemented from the early stages until the end of rotation.

Cedar stands, older than the half rotation âge, do not show expected response to the tendings (Kalipsiz-eler, 1984; Eler, 1990). Therefore in such stands only sanitation felling should be done until régénération. Because growth of old stands slows down, silvicultural treatments to increase quality and dimensions can not result any significance.

BIBLIOGRAPHY

Eler Ü., (1990). Antalya yöresinde dogal sedir (*Cedras libani* A. Rich.) mescerelerinde gecikmis ilk aralama kesimlerinin gelisme üzerine etkileri. Effects of delayed thinning on the developement of natural Lebanon cedar stands in Antalya region. (Ormancilik Arastirma Enstitüsü, Teknik Rapor No: 44, 24 pp). P.K. 24 Bahçievler-Ankara-Turkey.

Eler Ü., (1990). Türkiye'deki dogal sedir ormanlarinda mescere kuruluslari. Stand structures in the natural cedar forest of Turkey. (Ormancilik Arastirma Enstitüsü, Muhtelif Yayin No: 59, p. 580-592). P.K. 24 Bahçelievler-Ankara-Turkey.

Kalipsiz, A. & Eler Ü., (1984). Lübnan sediri (*Cedrus libani* A. Rich.) agaçlarinin gelismesi üzerine örnekler. Examples on growth of Lebanon cedar tree. (I.Ü. Orman Fakültesi Dergisi, Seri A, Sayi 2, 1-17). 80895 Bahçekoy-Istanbul-Turkey).

Kantarci M.D., (1987). Sedir ormanlarinda gençlik çağındaki mescerelerin kurulusu ve bazi ekolojik degerlendirmeler. Structures of young cedar stands and some

- ecological considerations. (I.Ü. Orman Fakültesi Dergisi, Seri A, Sayı 2, 23-45). 80895 Bakçeköy-Istanbul-Turkey.
- Kantarci M.D., (1987). Sedir gençliklerinin yan siperinde ve acik alanda boylanmalari üzerine ekolojik bir inceleme. An ecological investigation on the height growth of Lebanon cedar regeneration under Lateral shelter and in the open. (I.Ü. Orman Fakültesi Dergisi, Seri A, Sayı 1, 28-45). 80895 Bakcekoy-Istanbul-Turkey.
- Sevim M., (1953). Lübnan sedirinde yapılan bir kaç gövde analizi ve sonuçlari. Some stem analyses on lebanon cedar trees. (I.Ü. Orman Fakültesi Dergisi, Sayı 2, 48-53). 80895 Bahceköy-Istanbul-Turkey.
- Sun O. at *al.*, (1990). Müdahale görmüs saf ve esit yasli sedir (*Cedrus libani* A. Rich.) mescerelerinde yas ve bonitete göre siklik-artim-verim iliskileri. Density/ increment/ yield relationship in thinned, even aged and pure Lebanon cedar stands according to age and site quality classes. (Ormancilik Arastirma Enstitüsü, Teknik Bülten (In press)). P.K. 24 Bahcelievler-Ankara-Turkey

المحور الأول:

الطبيعة البيئية والبيئة الذاتية

THEME N°1:

ECOPHYSIOLOGIE ET AUTOECOLOGIE

شميلة شجوية مناخية لأرز الأطلس

شبوكي نبيل

معهد الحسن الثاني للزراعة والبيطرة

الرباط - المغرب

تم تجميع قاعدة كبيرة من المعايير لسلسلات شجوية مناخية لأرز الأطلس (مدرس أطلنتيكا) من المجموعات البلجيكية والأمريكية والمغربية. وقد ثبت أن المعدات كانت من النوع الجيد: ترابط طويل، حساسية بالغة، ونسبة عالية من الإشارة للصوت. وتظهر الوظائف الاستجابية أن للتساقطات أثر إيجابي خلال النمو طيلة السنة، بينما للحرارة أثر إيجابي خلال شهر يناير وشهر غشت، وآخر سلبي خلال شهر أبريل وخلال الصيف على حد سواء وكلا الارتباطين يتعلقان بنقص المياه بسبب تعفن التربة ومعدلات التبخر. فخلال التواترات المنخفضة، يؤثر استمرار الفصول التساقطية الدافئة والرطوبة سلبا على النمو، وذلك ربما يعود لإعاقة الصقيع والبرودة الشديدة أو ربما لانعدام الفترات الباردة لتوقيف مرحلة الرقاد وأهم استجابة سجلت لدى أرز الأطلس هي تلك التي تكون تجاه تساقطات الفصل معتدل البرودة. وقد تم استغلال هذه النتيجة خلال معالجة مراحل الجفاف الماضية وخصائصها.

UNE SYNTHÈSE DENDROCLIMATIQUE DU CEDRE DE L'ATLAS

CHBOUKI N.

*Maître de conférence
Département de Foresterie
Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II
BP 6202, Rabat-Instituts, Maroc*

Résumé - Une large banque de données dendrochronologiques du cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica*) a été compilée à partir des collections Beige, Américaine et Marocaine. Le matériel s'est avéré de grande qualité: séries longues, haute sensibilité, et ratio-signal-bruit élevé. Les fonctions réponse montrent l'effet positif des pluies sur la croissance tout au long de l'année, alors que les températures ont un effet positif durant Janvier et Août et un effet négatif pendant Avril et la saison d'été. Les deux associations sont en relation avec le déficit hydrique à travers l'humidité de sol et les taux d'évapotranspiration. Dans les fréquences courtes, la persistance d'automne et d'hivers doux et humides affecte négativement la croissance, peut être par inhibition de la résistance au froid ou l'absence de périodes froides pour la reactivation cambiale. La réponse principale du cèdre de l'Atlas est alors aux précipitations de la saison froide. Ce résultat a été exploité pendant la reconstitution et la caractérisation des sécheresses passées.

Dendroclimatologie / sécheresse / Fonction de réponse / persistance / Maroc.

Summary - An extensive data base of dendrochronological series for Atlas Cedar (*Cedrus atlantica*) has been compiled from Belgian, American and Moroccan collections. The material was found to be of great quality: long series, high sensitivity, and high signal-to-noise ratio. Response functions show that precipitations have a positive effect on growth throughout the year, while temperature has both a positive effect during January and August, and a negative effect during April and Summer. Both associations relate to water deficit through soil moisture and evapotranspiration rates. In the low frequencies, the persistence of warm and wet fall-winter seasons negatively affects growth, perhaps through inhibition of frost and cold hardiness or the lack of cold periods to break dormancy. The main response of Atlas Cedar is then to the cool season precipitations. This result has been exploited during the reconstruction of past droughts and their characterization.

dendroclimatology / climate sensitivity / drought / response function / persistance / Morocco.

INTRODUCTION

La position géographique du Maroc, marquant la transition entre le Sahara et le continent Européen, lui confère un climat contrasté et variable. Ce climat, de type méditerranéen, est caractérisé par une saison estivale sèche et une saison hivernale humide. Sa grande variabilité interannuelle se manifeste par l'alternance de périodes favorables et défavorables persistantes.

Cette instabilité climatique se répercute sur les activités socio-économiques et peut même engendrer des catastrophes nationales et régionales. La sécheresse du Sahel et l'épisode sec que connaît le Maroc depuis 1979 illustrent bien l'impact des anomalies climatiques sur l'homme, la plante et l'animal. En plus de cette variabilité naturelle, le climat peut subir, comme par le passé, des changements spectaculaires. En

effet, l'augmentation de CO₂ et de méthane dans l'atmosphère risque de déclencher, par l'effet de serre, un nouveau changement climatique brutal et sans analogue. Nous sommes donc appelés à placer les récentes anomalies climatiques dans leur contexte historique et à chercher à élucider leurs mécanismes d'initiation et de persistance. Par la même, nous serons en mesure d'élaborer des scénarios de changements climatiques et d'étudier leur impact écologique," économique et social. Puisque les séries d'observations météorologiques sont courtes et ne peuvent couvrir le large spectre de la variabilité naturelle, plusieurs chercheurs ont eu recours à des données biologiques et géologiques ayant enregistré les informations climatiques (proxy data). Les données dendrochronologiques constituent une source particulièrement intéressante, vu la longueur des séries (plusieurs siècles et même millénaires) et leur résolution annuelle. Le cèdre de l'Atlas est une espèce à grande longévité, sensible et bien adaptée aux conditions climatiques marginales. De ce fait, les forêts de cèdre offrent une belle opportunité pour des études paléoclimatiques et particulièrement dendroclimatiques. Cet article cherche à faire le point sur les études déjà entreprises, à montrer la qualité du matériel dendrochronologique du cèdre de l'Atlas, et à mettre en évidence les applications les plus prometteuses à explorer et développer dans le futur.

PRINCIPES ET METHODES DENDROCLIMATIQUES

La dendroclimatologie est l'étude, à partir de l'analyse des cernes de croissance des végétaux ligneux, des phénomènes climatiques et de leur évolution. Etant une branche de la dendrochronologie, elle se base sur les mêmes principes et fait appel aux mêmes outils et méthodes, à savoir:

- Le principe d'uniformitarisme qui stipule que le présent est la clé du passé, supposant que les processus physiologiques et biologiques reliant l'environnement à la croissance des arbres opèrent comme par le passé.
- Le principe de facteurs limitant stipulant que tout processus biologique se trouvera restreint par le facteur le plus limitant.
- L'amplitude écologique étant définie comme l'ensemble des habitats de l'espèce. Aux confins de son aire naturelle une espèce est plus sensible aux variations climatiques.
- La datation croisée suppose l'irréproductibilité dans le temps des séries de cernes et permet de les synchroniser et de placer la formation des cernes dans sa séquence temporelle exacte.
- Les données dendrochronologiques brutes (épaisseurs des cernes), en plus du signal climatique, reflètent une tendance biologique (effet de l'âge), des perturbations dues à la dynamique du peuplement forestier et à l'effet des facteurs biotiques. La standardisation permet de filtrer ces "bruits" en maximisant le signal climatique. Elle procède par le lissage des séries à l'aide de courbes théoriques correspondant à la croissance espérée. Les données brutes sont transformées en indices de moyenne égale à 1 et de variance stationnaire dans le temps permettant ainsi de regrouper tous les arbres et de calculer une chronologie maîtresse pour le site d'étude.
- Plusieurs paramètres statistiques caractérisent les séries dendrochronologiques:
 - . Le coefficient de sensibilité moyenne (MS), indiquant la sensibilité des arbres aux facteurs de l'environnement, est donné par l'équation:

$$MS = \frac{1}{n-1} \sum_{t=1}^{t=n-1} \left| \frac{2(X_{t+1} - X_t)}{(X_{t+1} + X_t)} \right|$$

Théoriquement, ce coefficient varie de 0 (deux cernes de même épaisseur) à 2 (un cerne manquant).

- . Les coefficients d'autocorrélation mesurent le degré de dépendance entre les cernes successifs et reflètent la persistance dans les séries chronologiques.
- . Le ratio signal/bruit (S/N) indique la qualité du signal climatique (variance commune entre arbres relative au reste).

Pour les besoins de la dendroclimatologie, seuls les sites les plus sensibles sont retenus. Ceux-ci se caractérisent par des coefficients de sensibilité et de déviation standard élevés, un pourcentage élevé de la variance attachée aux années, et des coefficients d'autocorrélation faibles.

- La relation croissance-climat se base sur deux concepts:
 - . La fenêtre climatique qui montre le degré de sensibilité et d'intégration des intrants climatiques en fonction de la saison. Les arbres, par leurs processus physiologiques, permettent alors, à l'image d'une fenêtre, d'examiner et de reconstituer les variations climatiques passées.
 - . La fonction réponse résume l'ensemble des relations liant les facteurs climatiques à la croissance au cours du temps. Elle est exprimée sous forme d'une équation montrant l'importance relative de chaque facteur, pour chaque intervalle de temps (décade, mois, ou saison), et le sens d'association avec la croissance. Une valeur positive indique une relation directe, et une valeur négative, une relation inverse.
- Enfin sur la base de la relation croissance-climat on peut reconstituer les variations passées du climat en faisant appel au concept de fonction de transfert. La fonction de transfert est similaire, dans son expression et son calcul, à la fonction réponse, avec cette fois-ci la variable climatique comme variable dépendante et les séries de dendrochronologiques comme variables indépendantes.

COLLECTION DENDROCHRONOLOGIQUE DU CEDRE

De 1974 à 1979, un groupe de chercheurs Belges, Berger, Maunaut, Guiot, Mathieu, Fraipont et Till, a entrepris une campagne d'échantillonnage couvrant toute l'aire naturelle du cèdre de l'Atlas. Leur collection compte 5 sites d'*Abies pinsapo*, 6 sites de *Cupressus atlantica*, et 75 sites de *Cedrus atlantica* (Maunaut 1982). suite à la sécheresse de 1979-1984, Stockton (1988), dans le cadre de son projet de reconstitution des sécheresses passées, a échantillonné 13 sites et en a daté 7 de cèdre. Enfin, Chbouki (1992) a complété et actualisé cette collection dendrochronologique du cèdre par un échantillonnage des sites marginaux où se trouvent les plus vieilles cédraies du Maroc. Ainsi, 11 sites ont été échantillonnés ou rééchantillonnés. Les séries sont synchronisées et transformées en indices. Certains sites ont été écartés de la collection pour l'une des trois raisons suivantes:

- mauvaise datation croisée;
- séries courtes;
- profondeur d'échantillonnage insuffisante.

Réseau dendrochronologique du Rif

Les cédraines du Rif sont bien arrosées et relativement "complacentes" (peu sensibles). Les séries sont les plus courtes de toute la collection (Table 1). L'échantillonnage, malgré son faible taux, couvre les grands massifs forestiers du Rif Occidental, central, et Oriental.

Tableau 1: Sites Dendrochronologiques Du Rif

Site	Elevation	Longueur série
Afechtal	1700	1632-1984 ²
Ghomara	1760	1710-1979 ¹
Jbel Lakraaa	2000	1757-1978 ¹
Tissouka	1700	1748-1984 ²
Tizi Ifni	1900	1773-1979 ¹
Tleta de Ketama	1200	1810-1974 ¹

Collection: 1 Belge; 2 Stockton

Réseau Dendrochronologique Du Moyen Atlas

Ce domaine accueille les plus grands massifs de Cèdre et exhibe toutes les nuances écologiques. La densité d'échantillonnage y est la plus élevée et fait ressortir deux grands groupes correspondant aux Moyen Atlas Central et Oriental (Table 2).

Réseau Dendrochronologique du Haut Atlas

La banque de données dendrochronologiques couvre bien les massifs forestiers de cèdre sis sur Jbel Masker et Jbel Ayachi. Plusieurs sites ont été rééchantillonnés donant lieu à une extension de la couverture temporelle des séries, et à une augmentation de la profondeur d'échantillonnage (Table 3). Les chronologies du Haut Atlas semblent avoir le meilleur signal climatique et offrent l'avantage d'être longues d'au moins cinq siècles.

Tableau 2: Sites Dendrochronologiques du Moyen Atlas

Site	Elevation	Longueur Série
Adrar Bou Mellal	1800	1567-1978 ¹
Agdir Amellal	2200	1287-1975 ¹
Aguelmane Azigza	1550	765-1977 ¹
Ain Kahla	2075	1507-1978 ¹
Bekrit	2180	1016-1979 ¹
Bouzemmour	2100	1204-1977 ¹
Col du Zad	2100	1039-1977 ¹
Col du Zad 2	2200	984-1984 ^{2,3}
Es Sheb	1850	1796-1979 ¹
Gueber Rehal	2200	1573-1977 ¹
Ich Ramouz	1900	1745-1979 ¹
Ich Ramouz2	2000	1283-1987 ³
Ifrane	1900	1549-1984 ²
Immouzar Marmoucha	2150	1326-1978 ¹
Izdi Ouareg	2100	1330-1979 ¹
Jbel Bou Snouss	2000	1210-1987 ³
Jbel Essa	2000	1296-1987 ³
Jbel Irhoud	1800	1703-1979 ¹

Jbel hayan	2200	1045-1978 ¹
Jbel Serhla	1850	1687-1979 ¹
Jbel Tanourdi	2000	1437-1978 ¹
Louta Zad Tafessin	2200	1102-1979 ¹
Ouiouane	1700	1780-1976 ¹
Sidi M'guild	2170	1763-1978 ¹
Tazzeka	1900	1845-1984 ²
Taffert	1850	1626-1977 ¹
Talaharine	1800	1615-1978 ¹
Tankararant	2400	1175-1978 ¹
Tizi Aini	1900	1509-1978 ¹
Tizi Ait Ali	2330	1435-1977 ¹
Tizi N'Tarzeft	2150	1321-1978 ¹

Collection: 1 Belge; 2 Stockton; 3 Chbouki

RELATION CROISSANCE-CLIMAT

Sensibilité du cèdre

Parmi les paramètres statistiques des séries dendrochronologiques, le coefficient de sensibilité moyenne reflète le mieux le degré de sensibilité des arbres aux fluctuations climatiques. Il varie de 0.135 à Aguelmane Azigza (Moyen Atlas) à 0.462 à Ami Hsain (Haut Atlas), avec une moyenne de 0.241 et un écart-type de 0.082 (Chbouki, 1992). Till (1985, 1987) rapporte des sensibilités moyennes comprises entre 0.08 à Jbel Lakrâa (Rif) et 0.44 à Bou Izane (Haut Atlas), avec une moyenne de 0.24 et un écart-type de 0.09. Elle a montré que la sensibilité du cèdre augmente avec l'altitude et est maximale sur substrats calcaire, marnocalcaire et marno-schisteux. L'exposition et la pente ne semblent pas avoir beaucoup d'influence sur la sensibilité du cèdre. Par ailleurs, chbouki (1992) a mis en évidence un gradient latitudinal de la sensibilité, parallèle au gradient des hauteurs de pluies. Les cédraies Rifaines ont la plus faible sensibilité et celles du Haut Atlas la plus forte (Table 4). Les résultats de Guibal (1984) montrent que même dans les reboisements du sud-est de la France, le cèdre exhibe la même sensibilité, variant de 0.14 (La verne) à 0.39 (Fontfroide). Dans l'ensemble, le cèdre est sensible aux fluctuations climatiques et constitue une excellente mémoire biologique, fiable, précise et facilement déchiffrable.

Tableau 3: Sites Dendrochronologiques du Haut Atlas

Site	Elevation	Longueur série
Afraskou	2500	1408-1987 ³
Amaloun Moukchab	2200	1274-1979 ¹
Ami Hsain	2150	1300-1987 ³
Bou Izane	2200	1275-1979 ¹
Bou Izane 2	2200	1281-1987 ³
Hayim Tirhist	2450	1797-1976 ¹
Jaffar	2340	1068-1978 ¹
Jaffar 2	2200	1366-1987 ³
Mitkane	2325	1550-1976 ¹
Tounfite	2200	1253-1984 ²⁻³
Taadlount	2200	1728-1984 ²

Collection: 1 Belge; 2 Stockton; 3 Chbouki

Tableau 4: Paramètres statistiques régionaux des chronologies de Cèdre

Région	Sensitivité Moyenne	Autocorrélation d'ordre 1	Qualité du signal (S/N)
Rif	.166 (.032)	.483 (.172)	5.656 (2.574)
Moyen Atlas	.219 (.054)	.512 (.119)	9.371 (5.677)
Haut Atlas	.353 (.065)	.352 (.100)	14.180 (7.229)

Persistance dans les chronologies de cèdre

La persistance est mesurée par le coefficient d'autocorrélation d'ordre 1. Des valeurs élevées sont observées pour des sites perturbés ne pouvant être utilisés en dendroclimatologie, tant qu'on ne dispose pas de l'histoire des sites. Ces coefficients d'autocorrélation varient de 0.7 à Jbel Irhoud à 0.112 à Bou Izane avec une moyenne de 0.473 et un écart-type de 0.138 (Chbouki, 1992). Les chronologies du Haut Atlas exhibent les valeurs les plus faibles (table 4) et semblent avoir le meilleur signal climatique. En effet, le rapport signal/bruit (S/N) y est aussi le plus élevé (Table 4). L'origine de la persistance dans les séries dendrochronologiques est assez complexe. Quatre explications sont à retenir:

- Une explication biologique: le climat de l'année t agit sur la formation des cernes par l'humidité de l'air, du sol, la chaleur, et le vent. De même, il agit sur les cernes de l'année $t + 1$, $t + 2$, ..., $t + k$ à travers une inertie biologique qui se manifeste dans les quantités d'hormones, les réserves organiques et minérales affectées par la croissance et le développement des racines, feuilles, et méristèmes apicaux de l'année t (Fritts, 1976).

- Une explication statistique: la persistance dans une chronologie dépend de sa profondeur d'échantillonnage (Till, 1985).

- Une explication écologique: la persistance dépend du substrat et de la pente (Till, 1985).

- Une explication climatique: puisque les données climatiques ne montrent pas de persistance, Guiot (1981) réfute cette possibilité. Néanmoins, Stockton (1988), utilisant la chronologie de Col du Zad ayant un coefficient d'autocorrélation relativement élevé (0.491), a parfaitement reconstitué les sécheresses historiques, tant de point de vue durée qu'intensité (Naciri, 1988). L'élimination de cette persistance détruit le signal climatique. Ceci peut être expliqué par la particularité du cèdre qui suite à une sécheresse estivale prononcée débouffe précocement l'année d'après et tend donc à atténuer la persistance biologique (Finkelstein, 1981; Aussenac, 1984).

Fonction réponse du cèdre

Pour les essences méditerranéennes, la période de végétation s'étend du mois de Mars à Septembre, alors que durant la période précédente d'Octobre ($t-1$) à Février les réserves en eau du sol se reconstituent (Fahn *et Al*, 1979 in Liphshitz *et Al*, 1985; M'Hirit, 1982). Sur cette base, la période de 12 mois s'étalant d'Octobre ($t-1$) à Septembre (t) est retenue pour le calcul des fonctions réponse en région méditerranéenne (Guiot, 1981; Guibal, 1984; Mokrim, 1990; Munaut *et Al*, 1978; Tessier, 1984 et Till, 1985). Le choix des paramètres climatiques est en grande partie dicté par la disponibilité et la fiabilité des données.

La fonction réponse du cèdre a été calculée dans quelques sites ou stations (Berger *et Al*, 1979; Guiot, 1981; Guiot *et Al*, 1982 a, b et Munaut *et Al*, 1978). Till (1985)

a repris, complété et synthétisé l'ensemble des fonctions réponse du cèdre. Elle a retenu les données de précipitations et de températures de Tétouan (1941-1970) pour calculer les fonctions réponses des cédraies du Rif. Pour le Moyen Atlas, les données de précipitations d'Ifrane et les températures d'Azrou (1940-1969) ont été utilisées. Enfin, les fonctions réponses des cédraies du Haut Atlas ont été calculées avec les données de précipitations d'Arhala (1940-1969) et les températures d'Azrou (1940-1969). Vingt-quatre variables climatiques sont introduites dans un modèle régressif orthogonalisé.

Les résultats obtenus sur un grand nombre de sites, avec ou sans persistance, et pour les deux âges physiologiques jeune, adulte et vieil adulte, ne sont pas hautement significatifs mais restent cohérents. Les fonctions réponses stationnelles ont été synthétisées par dénombrement et pondération des coefficients de régression partiels selon leur niveau de signification (Figure 1). Les fonctions réponses générales sont stables, robustes et mettent en évidence les variables les plus importantes, à savoir:

- Les précipitations d'Automne et d'Hiver précèdent la saison de croissance. Ces précipitations ont une influence positive permettant d'une part de reconstituer les réserves en eau du sol et de favoriser la croissance et le développement des organes moteurs de la croissance radiale tels que les bourgeons, les racines et les primordiums foliaires.

- Les températures de Janvier, Avril, Août et Septembre. L'effet positif des températures de Janvier exprime l'effet bénéfique de températures clémentes (absence de gel) favorisant les activités physiologiques de l'arbre. Au mois d'Avril, des températures élevées sont associées à une forte évapotranspiration induisant un stress hydrique pendant la saison de réactivation cambiale et conséquemment une réduction de la croissance radiale. Cet effet négatif se retrouve durant l'été, saison sèche et chaude. Notons cependant l'effet positif singulier des températures d'Août. Celles-ci favoriseraient la cellulose au détriment du sucre et de l'amidon (Tranquillini, 1979). Elles peuvent aussi favoriser la croissance radiale au détriment d'un autre phénomène biologique plus exigeant en matières photosynthétisées telle que la production de cônes (Toth, 1978; Till, 1985).

Les résultats de Till (1985) montrent aussi que la croissance radiale du cèdre jeune adulte et vieil adulte est influencée par les mêmes facteurs climatiques. L'élimination de la persistance n'améliore pas les résultats et engendre même une perte d'information climatique, ce qui corrobore l'explication climatique de l'origine, du moins partielle, de la persistance dans les chronologies de cèdre.

La même fonction réponse générale a été obtenue pour le Cèdre de l'Atlas dans les reboisements du sud-est de la France (Guibal, 1984).

Guiot et Al, (1982 a) ont développé la méthode spectrale multivariable pour le calcul des fonctions réponse. Cette méthode a l'avantage de séparer la réponse des arbres aux fluctuations à court-terme de celle due aux changements climatiques à long-terme. Elle a été appliquée à la Cédraie de Tleta de Ketama au Rif avec les données climatiques de Tétouan. dans le domaine des fréquences longues, la fonction réponse est similaire à la fonction réponse générale de Till (1985); les précipitations ayant un effet positif tout le long de l'année ainsi que les températures de Janvier, alors que les températures d'Avril et Mai exercent un effet négatif (Figure 2). Dans le domaine des fréquences courtes, la persistance d'Automne et d'Hivers doux et humides se répercute négativement sur la croissance du cèdre. Malheureusement, les auteurs n'ont pas

cherché à donner une explication biologique à ce résultat qui, de premier abord, semble aberrant. Néanmoins, trois explications peuvent être avancées:

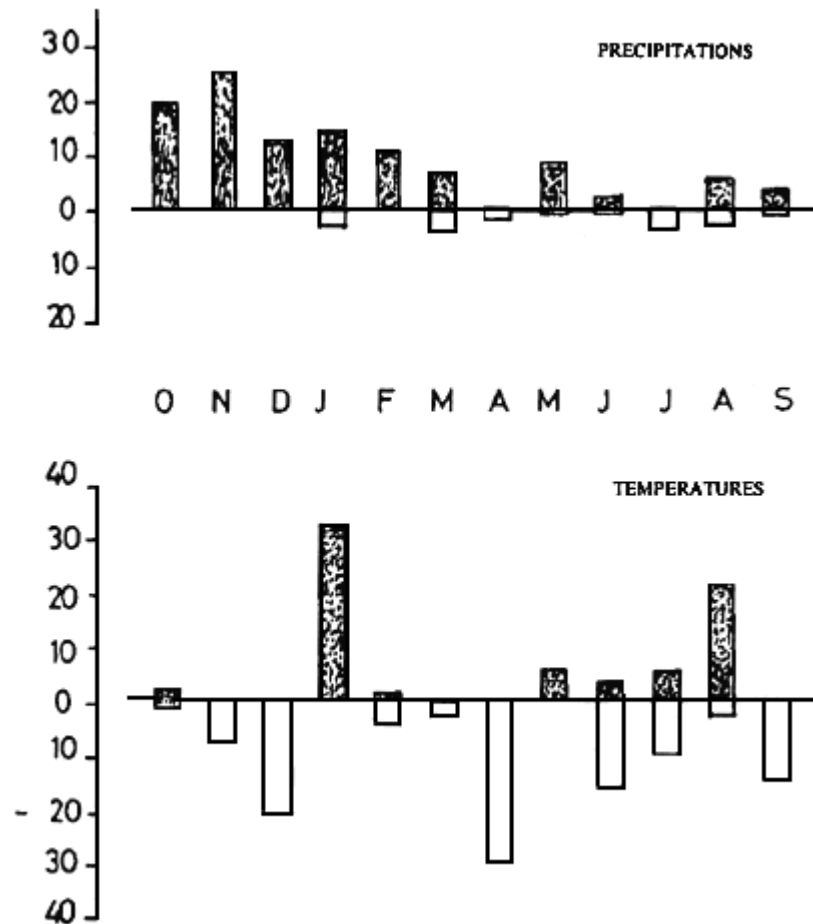


Figure 1: La fonction réponse générale du Cèdre au Maroc basée sur les fonctions réponse significatives à 0.10, avec des arbres vieil, adultes et calculées sur épaisseurs brutes non corrigées de la persistance. L'échelle des ordonnées indique la somme des poids affectés aux coefficients de régression (D'après Till, 1985).

- La réactivation du cambium nécessite un certain nombre de jours froids suivi de temps chauds (Riedacker, 1978; Kramer et Kozlowski, 1979). Par conséquent, des températures douces automnales et hivernales, de toute vraisemblance, associées à des températures printanières et estivales élevées, induiraient une réactivation tardive et un arrêt précoce de l'activité cambiale (Fritts, 1976; Kozlowski et Al, 1991).

2- La douceur automnale et hivernale inhiberait ou interférerait avec la résistance au froid durant la période de repos végétatif. Dans ce cas, les arbres seraient dangereusement exposés au froid et au gel, il suffira d'une seule journée froide pour affecter négativement la croissance radiale de la saison suivante. Notons à ce sujet que les moyennes mensuelles utilisées peuvent dissimuler une séquence, plus déterminante pour la croissance, de temps chauds et froids (Fritts, 1976; Kramer et Kozlowski, 1979; Kozlowski et Al, 1991).

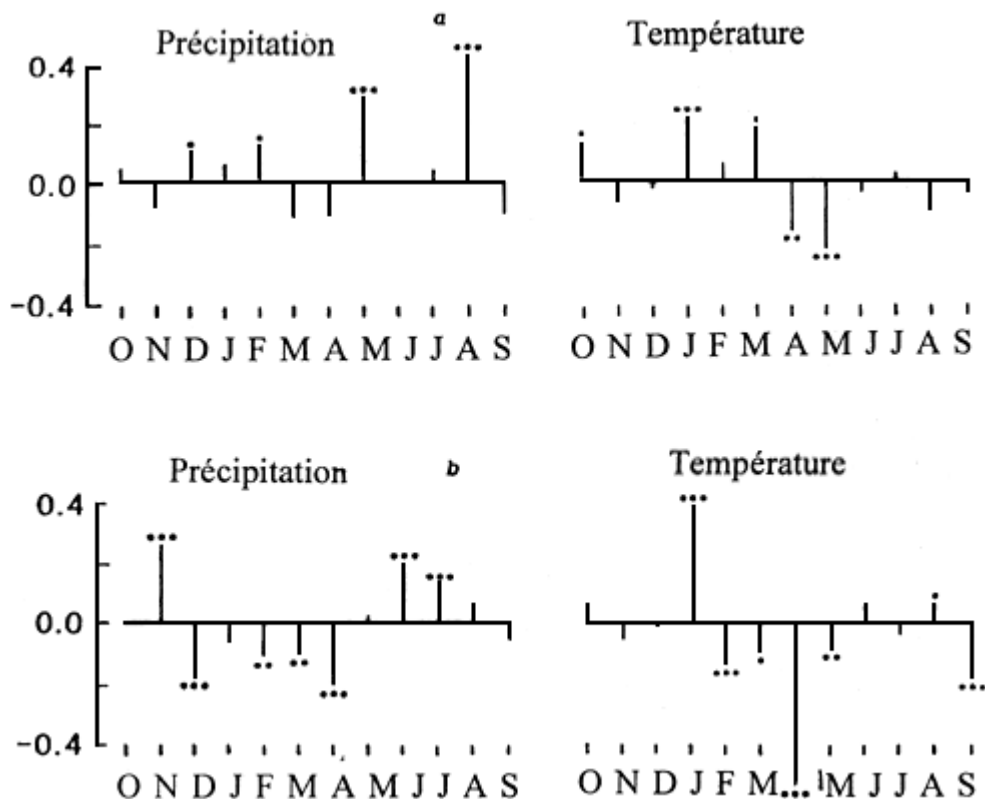


Figure 2: La fonction réponse du Cèdre au Maroc obtenue avec la méthode spectrale multivariable. a) domaine des fréquences longues, $R^2 = 0.87$, 14 composantes; b) domaine des fréquences courtes, $R^2 = 0.98$, 15 composantes. (D'après Guiot et Al., 1982a).

3- Enfin, ces mêmes conditions particulières peuvent induire une modification dans les processus de translocation des photosynthats, favorisant des phénomènes biologiques compétitifs de la croissance radiale tels que le développement racinaire, la fructification et le développement des cônes (Lepoutre et Pujos, 1964; Toth, 1978; Kramer et Kozlowski, 1979).

En conclusion, il semble que le cèdre, à travers son aire naturelle, montre une sensibilité aux précipitations qui reflètent l'importance du stress hydrique dans le contrôle de la croissance. Le signal climatique intégré est donc celui des fluctuations des pluies. Le signal thermique est moins important et va en parallèle avec le premier. En effet, les effets des températures de Janvier et de l'été s'expliquent par le stress hydrique qu'elles induisent.

RECONSTITUTIONS CLIMATIQUES

La majorité des études dendrochronologiques sur le cèdre se sont intéressées à son autoécologie, et n'ont malheureusement pas bien exploité ce matériel malgré sa sensibilité, sa longévité, et surtout sa position géographique remarquable vue l'irrégularité de la couverture spatiale mondiale des séries dendrochronologiques. En effet, la communauté scientifique est confrontée à un certain nombre de questions qu'il faut adresser à l'échelle globale, mais des séries dendrochronologiques de qualité font gravement défaut sur les continents Africain et Asiatique. Les séries de cèdre peuvent apporter une contribution majeure dans l'effort de validation des modèles de la

circulation générale, dans l'effort de reconstitution des fluctuations des températures de l'hémisphère Nord, et dans la compréhension des mécanismes de téléconnexions climatiques. Avec la sécheresse qu'a connu le Maroc entre 1979 et 1985 et l'encouragement du gouvernement Marocain, les études paléoclimatiques se sont multipliées et ont regagné d'intérêt.

Reconstitution des températures

Se basant sur la fonction réponse, Guiot et *Al*, (1982 b) ont entrepris, à partir de sept séries chronologiques, la reconstitution des températures de Février, Mai et Juin à Tétouan et celles de Mai à Marrakech. Les reconstitutions ont montré une meilleure stabilité dans les fréquences courtes (Figure 3). Les résultats sont très encourageants et devront intéresser les autres éléments du climat sur l'ensemble du centre-Nord Marocain.

Histoire de la sécheresse

La sécheresse est un concept associé à un déficit en eau. Elle est perçue différemment par les divers organismes et consommateurs d'eau, d'où les grandes difficultés que pose sa définition. Till (1985), en utilisant les cernes caractéristiques, identifie une sécheresse quand 44% des Cédraies forment un cerne à tendance négative (plus mince que le précédent). Sur la période 1069-1979 AD, elle a trouvé que la sécheresse dure d'un à quatre ans, avec environ trente années sèches par siècle. L'intervalle de récurrence varie d'un à quarante-trois ans. Malheureusement, ces années caractéristiques se prêtent bien pour la synchronisation et la datation des séries mais souffrent de graves défauts lors de la reconstitution climatique. Pour illustrer ceci, il suffit d'imaginer une séquence de trois années de sécheresse extrême-moderée-extrême, l'année modérée (moins extrême) ne sera pas identifiée et risque même d'être classée comme année favorable. De même, une séquence humide extrême-moderée-extrême identifiera l'année modérée comme sèche. Notons aussi que le pourcentage fixé pour la définition d'une année sèche est tout à fait arbitraire.

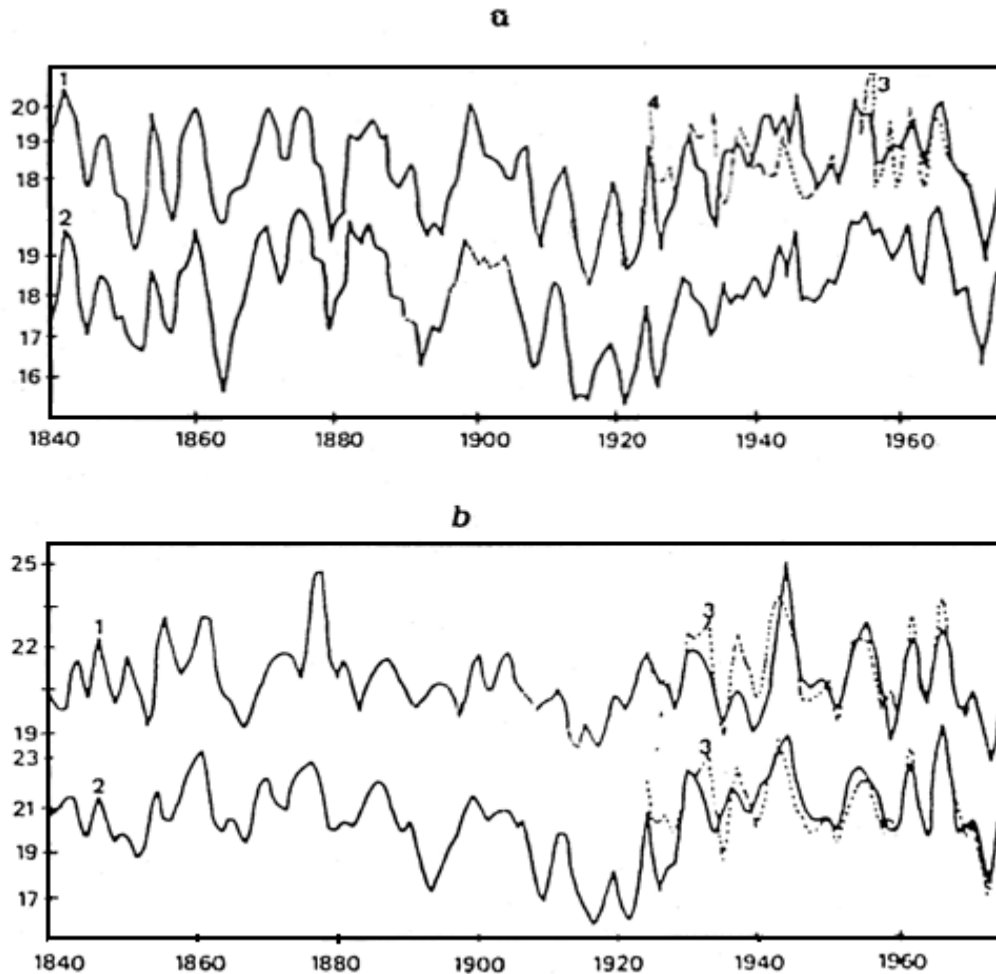


Figure 3: Reconstitution Dendroclimatique de la température de Mai. a) Reconstitution à Tétouan calibrée sur la période 1934-1975 (1) et sur la période 1924-1933/1944-1975 (2), (3) étant la série observée à Tétouan et (4) à Marrakech, b) Reconstitution à Marrakech calibrée sur la période 1934-1975 (1) et sur la période 1924-1933/1933/1944-1975 (2), (3) étant la série observée (D'après Guiot et AL, 1982 b).

Stockton (1988), utilisant la série millénaire de Col du Zad, classe comme sèche toute année dont l'indice dendrochronologique est inférieur ou égal à 0.7 (soit 70% de la croissance espérée). La fréquence des sécheresses, leur durée et leur intensité ont été reconstituées sur la période 1000-1984 AD en se basant sur la théorie des séquences (Theory of rus) (Guerrero-Salazar et Yevjevich, 1975). Table 5 donne la fréquence et la période séparant deux épisodes secs.

Tableau 5: Fréquences et durées de la sécheresse durant la période 1000-1984 AD à Col du Zad (Moyen Atlas) (Stockton 1988).

Durée	Nombre de sécheresses observées	Intervalle entre deux Sécheresses
1 à 6 ans	89	11.0
2 à 6 ans	35	28.5
3 à 6 ans	9	113.7
4 à 6 ans	6	182.0
5 à 6 ans	4	303.3
6 ans	3	455.0

Pour mieux intégrer l'hétérogénéité des conditions climatiques et des milieux de la cédraie, Chbouki (1992) établis une définition dendrochronologique objective basée sur le parallélisme observé entre les fluctuations des pluies et de la croissance radiale. Le meilleur indicateur dendrochronologique de la sécheresse est donné par:

$$X_0 = \mu - (0.75\sigma);$$

Avec μ la moyenne et σ l'écart-type de la série chronologique. Ainsi, deux sites ont été choisis pour établir la chronologie de la sécheresse au Maroc. Il s'agit de col du Zad (Moyen Atlas) et Jaffar (Haut Atlas). La figure 4 montre la succession des années sèches. On observe que 84 % des sécheresses ne dépassent pas 2 ans (Table 6). Cependant, la probabilité d'observer des sécheresses beaucoup plus longues reste anormalement élevée. Il semble que la persistance en période sèche diffère substantiellement de sa tendance moyenne, d'où la nécessité d'identifier et de séparer les régimes climatiques favorables et défavorables. En effet, la fréquence de la sécheresse varie avec le temps (Figure 5); le 14^{ème} siècle étant le plus sévère et le 16^{ème} le plus bénéfique. L'étude historique de Naciri (1988) montre la validité et la fiabilité remarquables de ces résultats.

Tableau 6: Statistiques des sécheresses passées au Maroc (1069-1978).

Durée	Nombre de sécheresses	Déficit	Intensité
1	76	.179	.179
2	24	.357	.178
3	7	.386	.129
4	3	.602	.150
5	4	.943	.189
6	1	.993	.993
7	1	.815	.815

Histoire de la Secheresse au Maroc (1069-1978)

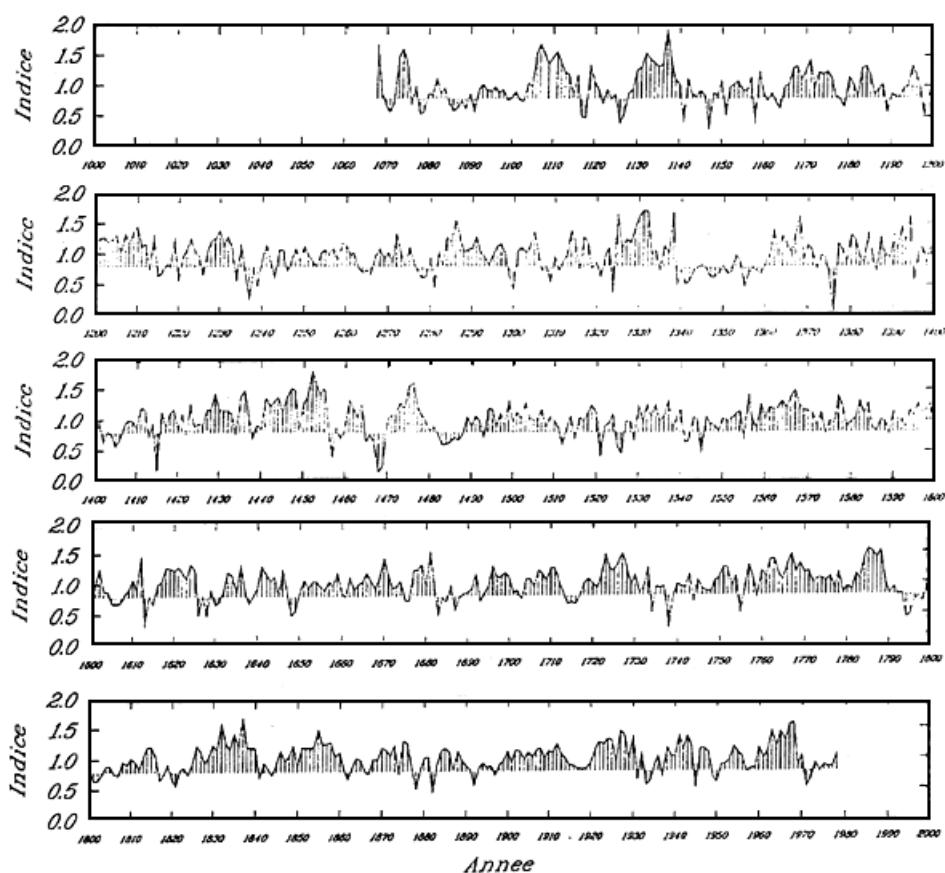
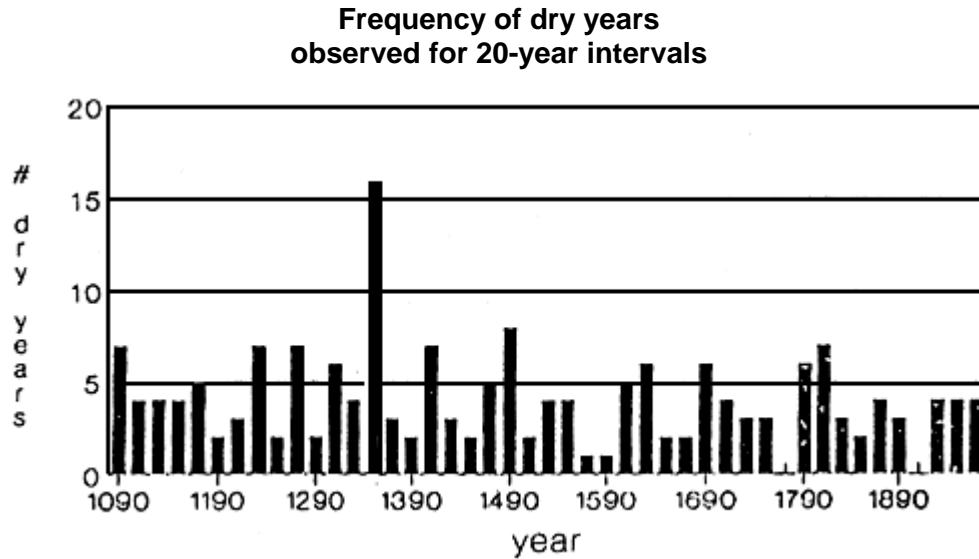


Figure 4: Reconstitution des sécheresses passées sur la période 1069-1978 AD. La courbe Dendro-chronologique moyennes des sites de Col du Zad et de Jaffar est représentée par déviations de par et d'autres du seuil indicateur de la sécheresse (0.79). Les années sèches sont représentées par des déviations vers le bas.



The values are given for the year at
the center of the interval

Figure 5: Variabilité de la fréquence de la sécheresse avec le temps. Le nombre d'années sèches est rapporté par intervalle de 20 ans. Le 14^{ème} siècle a connu une fréquence élevée, alors que le 16^{ème} siècle a été climatiquement favorable.

CARACTERISTIQUES SPATIO-TEMPORELLES DE LA SECHERESSE

D'une année à l'autre, nous constatons la grande variabilité spatio-temporelle de la sécheresse. Ce sont, à vrai dire, des types de sécheresse qui se succèdent et diffèrent de par leur persistance, déficit, intensité, impact régional et voire même origine et mécanisme d'initiation. Des fois, c'est le Sud Marocain qui souffre le plus, d'autres fois la région centrale est la plus touchée, et le plus souvent c'est l'ensemble du pays qui est gravement affecté. L'intensité et la saison du déficit sont tout aussi variables. Chbouki (1992) a cherché à caractériser la sécheresse dans ces deux dimensions, spatiale et temporelle. Pour ce faire et travaillant sur 48 sites dendrochronologiques couvrant la période 1845-1974 AD, il a identifié à l'aide de la méthode des cartes-modèles (Blasing, 1975) dix types d'anomalies dont sept types de sécheresse (Table 7). Chaque type semble indiqué la prédominance d'un patron de la circulation atmosphérique. Ces patrons varient en fonction de la fréquence relative des types de temps et montrent l'importance de trois facteurs:

- La position et l'intensité de l'anticyclone subtropical;
- L'importance et la position des centres de cyclogénèse locale;
- L'importance des perturbations Nord-Est à travers la Méditerranée.

Tableau 7: Types d'anomalies climatiques dérivées des données Dendrochronologiques (1845-1974) AD). H = Humide; N = Normale; S = Sèche

Code	Années de base	Associations positives	Associations négatives
1 H	1857, 1963, 1856 1964, 1858	1856-1858, 1963-1965	1850, 1874, 1883
2 N	1954, 1955, 1953 1961, 1980	1889-1890, 1953-1955, 1961-1962	
3 H	1960, 1959, 1958 1917, 1901	1901, 1904, 1917 1918, 1956, 1958-1962	1874, 1881, 1883 1938
4 S	1950, 1862, 1951 1952, 1949	1862, 1949-1952	
5 S	1966, 1945, 1968 1926, 1881	1867-1869, 1874 1881, 1883, 1884 1926, 1945, 1966 1968	1901, 1917, 1956 1962, 1963
6 S	1974, 1948, 1877 1876, 1973	1869, 1871, 1873 1874, 1876, 1877 1881, 1883, 1899 1926, 1931, 1948 1973, 1974	1857, 1858, 1901 1906, 1908, 1917 1918, 1959, -1963
7 S	1972, 1971, 1892 1893, 1933	1850, 1892, 1893 1931, 1939 1971-1973	1858, 1860, 1870 1927, 1953-1955 1963-1965, 1967
8 S	1947, 1946, 1944 1897, 1936	1867, 1877, 1883 1898, 1899, 1926, 1931, 1936, 1937 1944, 1946-1948	1857, 1858, 1865 1867, 1894, 1901 1902, 1904, 1913 1914, 1957, 1959 1961, 1965, 1971
9 H	1969, 1970, 1942 1920, 1941	1856, 1893, 1894 1920, 1921 1941-1943, 1969, 1970	1849, 1913, 1949 1950, 1953, 1954 1958, 1959, 1961
10 S	1967, 1905, 1925 1910, 1927	1905, 1907-1912 1925, 1927, 1965-1968	1853, 1871, 1872, 1897, 1898, 1931, 1933, 1934, 1936, 1937, 1948, 1949

La typologie révèle deux associations:

- La première reflète des déviations positives/négatives du même patron atmosphérique. La paire d'anomalies I-IV (Figure 6) correspond à un excès/déficit marqué lié à la position latitudinale des couloirs de perturbations par rapport au Maroc. La paire d'anomalies II-IX (Figure 7) quant à elle indique la position des centres de cyclogénèse locale de par et d'autres des chaînes Atlantiques.

- La deuxième association indique le degré d'intensité de la même anomalie atmosphérique. Il s'agit par exemples des paires VI-VIII (Figure 8) et III-X (Figure 9).

La technique des cartes-modèles utilisée, donne simultanément les patrons temporelles des types d'anomalies. Ceux-ci, à partir des coefficients de corrélation, montrent la fréquence des différents types d'anomalies climatiques et mettent en

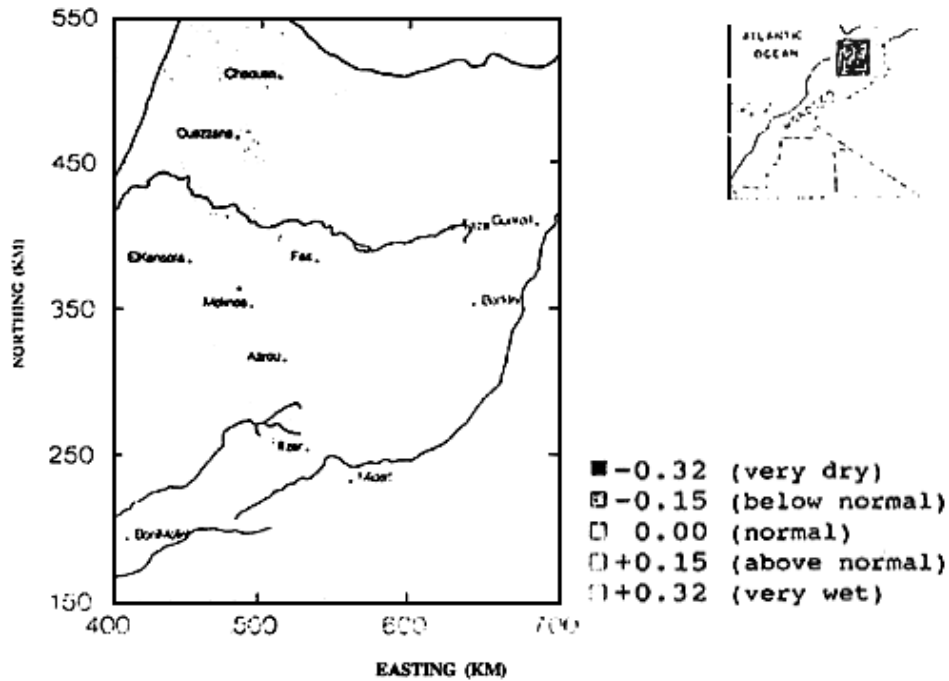
évidence la nature changeante de la persistance en fonction des régimes climatiques. Les résultats montrent une alternance marquée de périodes favorables et défavorables avec une périodicité d'approximativement 20 à 25 ans (Figure 10). Durant un épisode sec donné, on constate la prédominance et la succession d'un ou de plusieurs types de sécheresses. Notons cependant que la manifestation de certaines anomalies est confinée à une période récente ce qui laisse supposer soit un changement climatique récent, soit une période de retour plus longue dépassant la période d'analyse. On peut identifier deux périodes sèches: 1860-1900, 1925-1950, et deux périodes humides: 1900-1920 et 1950-1970. Plusieurs études indépendantes corroborent ces résultats (Makrogiannis, 1984; Sahsamanoglou, 1990) et confirment le potentiel remarquable de la dendrochronologie dans la reconstitution paléoclimatique.

CONCLUSION

L'ensemble de ces résultats nous permet d'appréhender, d'une manière indirecte, l'écophysiologie du cèdre. Pour compléter nos connaissances dans le domaine et être en mesure de mieux exploiter les données dendrochronologiques, la communauté scientifique est appelée à entreprendre des programmes de recherches en matière d'écophysiologie du cèdre dans ses conditions naturelles.

Par ailleurs, les mêmes analyses dendrochronologiques sont à affiner par l'utilisation de données climatiques plus appropriées telle que l'évapotranspiration et l'insolation et ce sur des intervalles de temps biologiquement déterminés. Aussi, lors du choix des stations météorologiques, les stations les plus proches des sites sont à retenir et peuvent faire l'objet d'une régionalisation avant de les introduire dans le calcul des fonctions réponse comme le préconisent Blasing et *al.* (1981).

Anomaly Type I



Anomaly Type IV

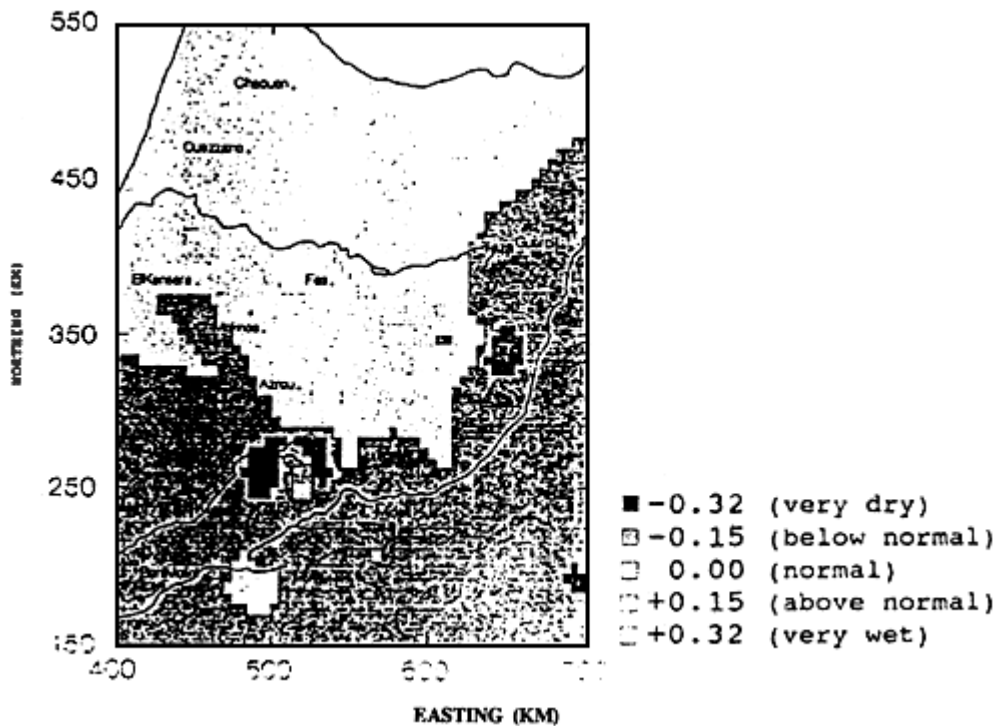
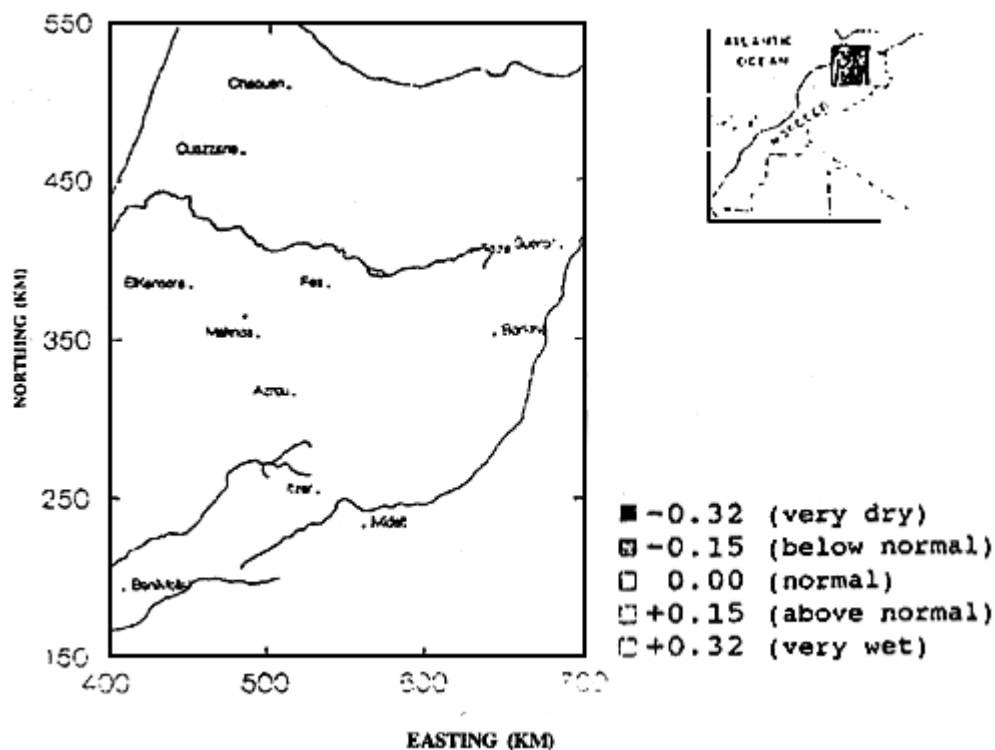


Figure 6: La partie d'anomalies I et IV représente la déviation positive (excès pour type I) et négative (déficit pour type IV) du même patron atmosphérique lié à la position et intensité de l'anticyclone subtropical.

Anomaly Type I



Anomaly Type IV

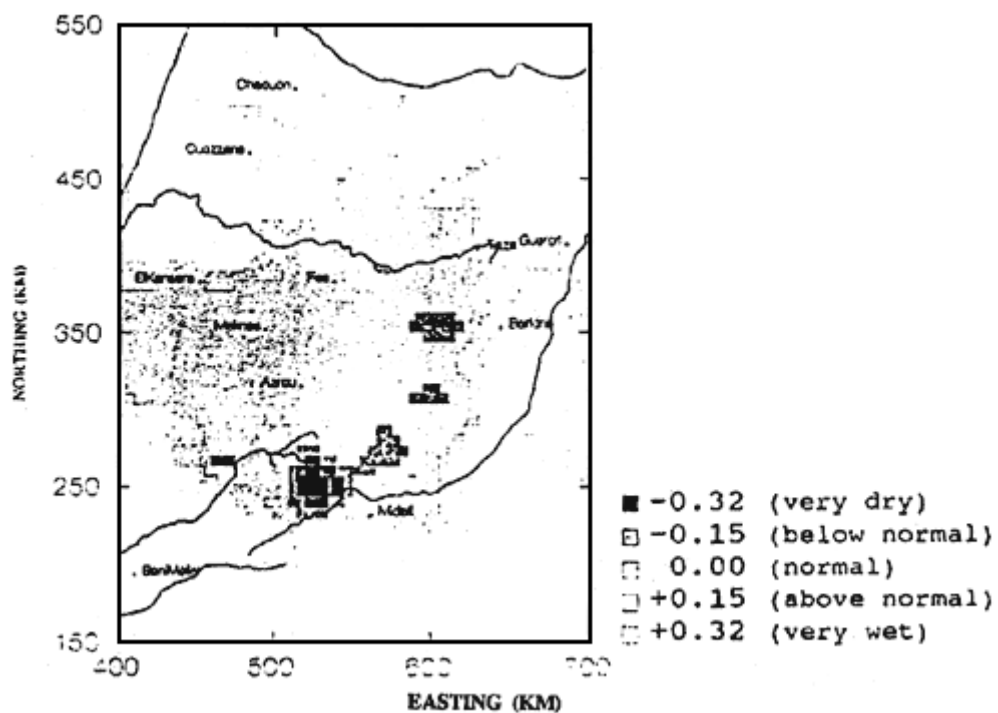
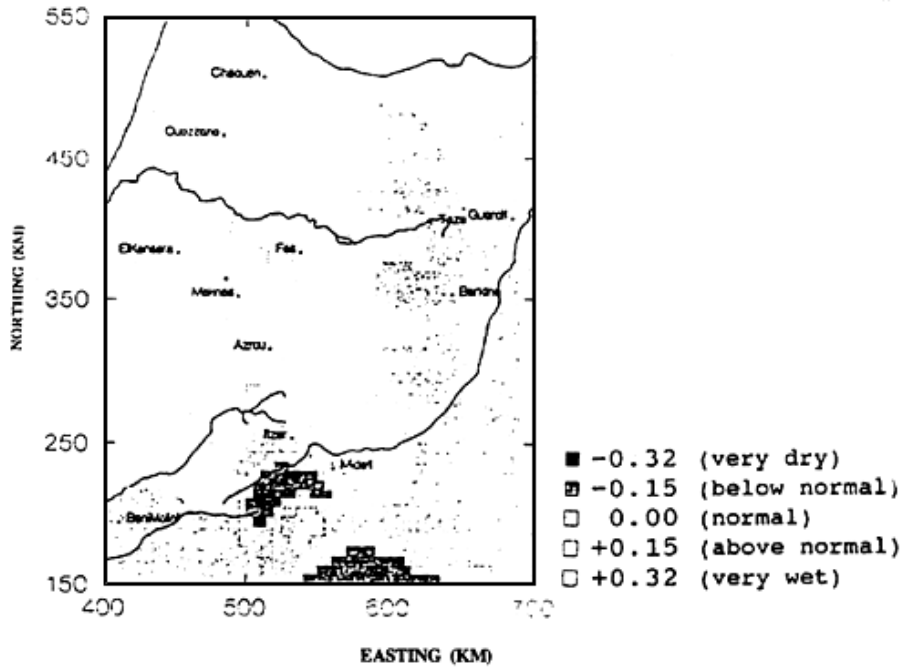


Figure 7: La paire d'anomalies IX et II montre la déviation positive (excès pour type IX) et négative (déficit pour type II) du patron atmosphérique lié à la position des centres de cyclogénèse.

Anomaly Type I



Anomaly Type IV

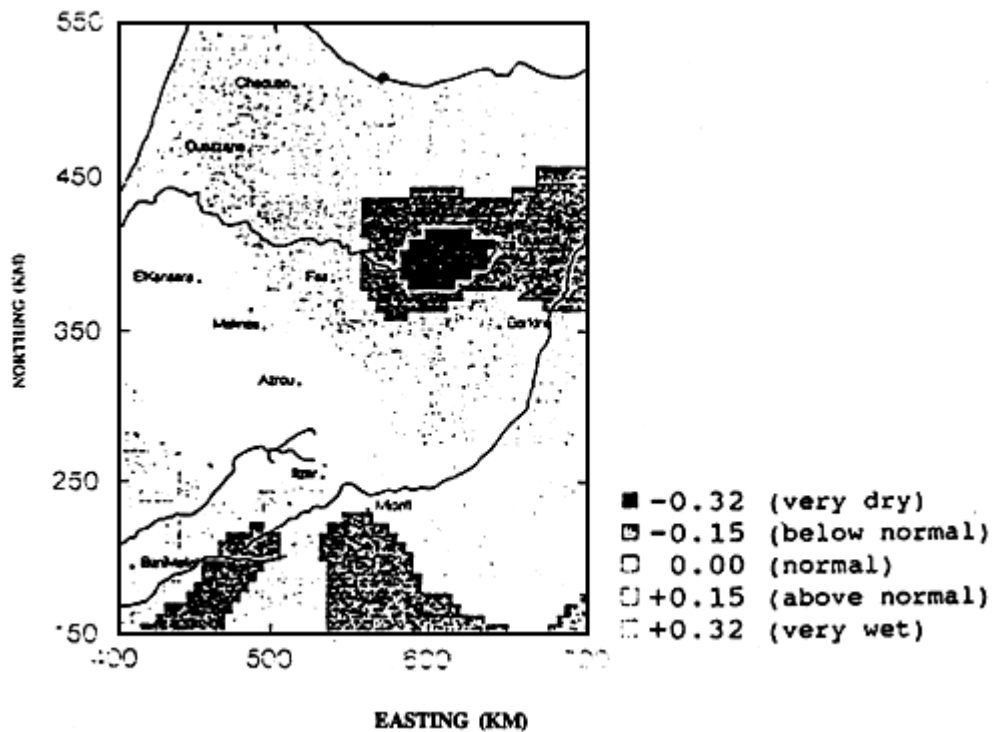
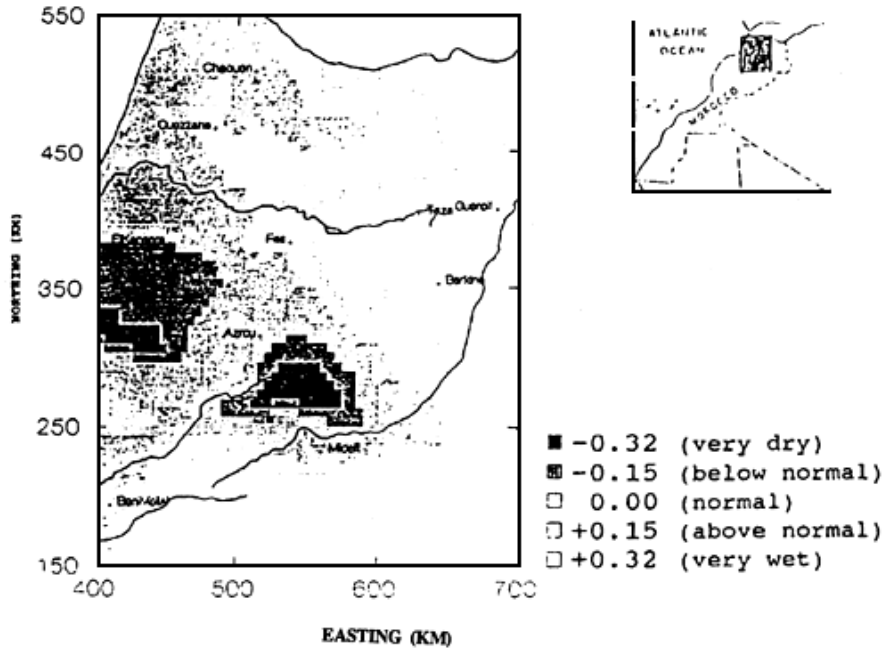


Figure 8: La paire d'anomalies VIII et VI reflète deux degrés d'intensité de la même anomalie climatique avec un déficit sur l'Est et le sud et un excès sur la plaine Atlantique.

Anomaly Type I



Anomaly Type IV

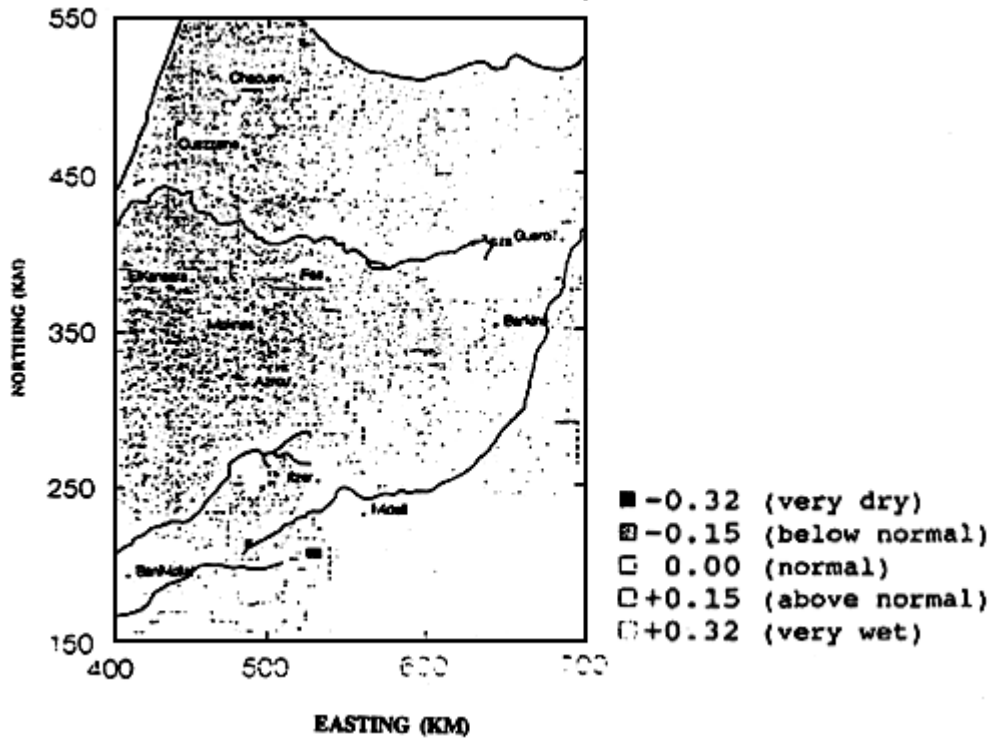


Figure 9: La paire d'anomalies III et X reflète eux degrés d'intensité du même patron Atmosphérique avec un déficit sur le domaine Atlantique.

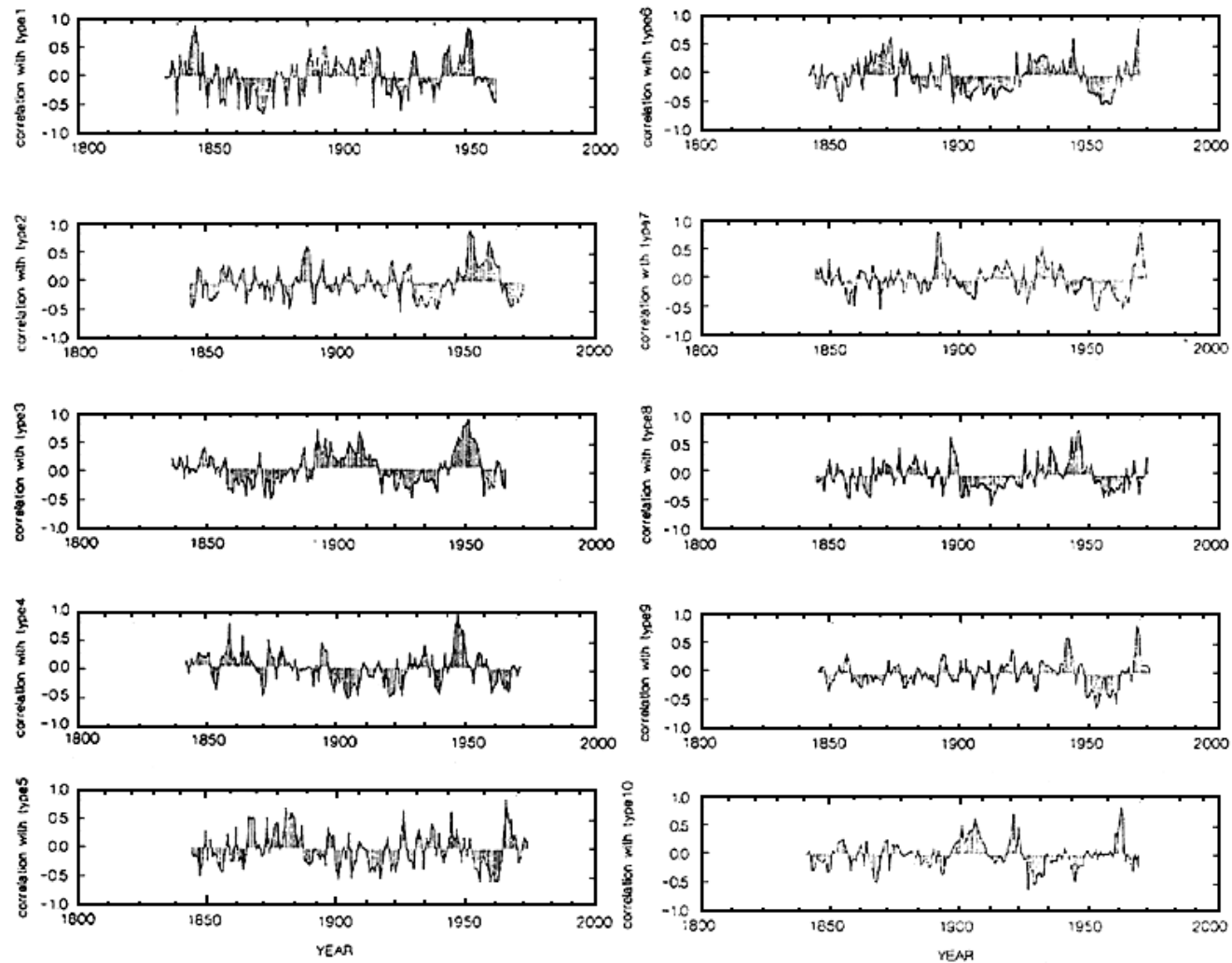


Figure 10: Variabilité temporelle des types d'anomalies. Des coefficients de corrélations positifs indiquent la prédominance de l'anomalie. Les résultats montrent une nette alternation d'approximativement 20 à 25 ans.

Nous disposons donc d'une banque de données particulièrement fiables et sensibles aux fluctuations climatiques qu'il faudrait exploiter afin de mieux cerner la variabilité naturelle du climat, et replacer les anomalies récentes dans leur contexte historique. De là, nos efforts doivent s'orienter d'une part vers la modélisation et l'explication des mécanismes climatiques et d'autre part vers la prévision et la projection des anomalies futures et de leurs conséquences écologiques et socio-économiques.

BIBLIOGRAPHIE

- Aussenac G., (1984). Le cèdre, essai d'interprétation bioclimatique et écophysologique. Bulletin de la Société Botanique Française, 131, 385-398.
- Berger A.L.; Guiot J.; Mathieu L. and Munaut A.V., (1979). Tree rings and climate in Morocco. Tree-Ring Bulletin, 39, 61-75.
- Blasing T.J., (1975). Methods for analyzing climate variations in the North Pacific Sector and Western North America for the last few centuries. Ph. D. Dissertation, Univ. of Wisconsin, Madison.
- Blasing T.J.; Duvick D.N. et West D.C., (1981). Dendroclimatic calibration and verification using regionally averaged and single station precipitation data. Tree; Ring Bulletin, 41, 37-43.
- Chbouki N., (1992). Spatio-temporal characteristics of drought as inferred from tree-ring data in Morocco. Ph. D Dissertation, university of Arizona, Tucson, Arizona.
- Finkelstein D., (1981). Influences des conditions d'alimentation hydrique sur le débourrement et la croissance des jeunes plants de Cèdre (*Cedrus atlantica* Manetti) cultivés en serre. Annales des Sciences Forestières, 38, 511-530.
- Fritts H.C., (1976). Tree rings and climate. Academic Press, London, 567 pp.
- Guerrero-Salazar R. and Yevjevich V., (1975). Analysis of Drought characteristics by the Theory of runs. Hydrology paper No. 80. Colorado State University, Fort Collins, Colorado.
- 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 3^{ème} cycle, Université d'Aix-Marseille, 123 p.
- Guiot J., (1981). Analyse mathématique de données géophysiques. Applications à la Dendroclimatologie. Thèse, Université Catholique de Louvain, Louvain-la-Neuve, 170 p.
- Guiot J.; Berger A.L. and Munaut A.V., (1982). Response fonctions. Climate from tree rings, Hughes, M.K., Kelly, P.M., Pilcher, J.R. et La Marche, V.C, Cambridge University Press, Cambridge, 38-45.
- Guiot J.; Berger A.L.; Munaut A.V. and Till Cl., (1982). Some new mathematical procedures in dendroclimatology, with examples from Switzerland and Morocco. Tree Ring Bulletin. 42, 33-48.
- Kramer P.J. and Kozlowski T.T., (1979). Physiology of Woody plants. Académie Press, Orlando, 811 p.
- Kozlowski T.T.; Kramer P.J. and Pallardy S.G., (1991). The physiological ecology of woody plants. Academic Press, San-Diego, 657p.

- Lepoutre B. et Pujos A., (1964). Facteurs climatiques déterminant les conditions de germination et d'installation des plantules de Cèdre. Annales de la Recherche Forestière Maroc, 7, 23-54.
- Liphschitz N.; Lev-Yadum S. et Waisel Y., (1985). The annual rhythm of activity of the lateral meristems (Cambium and Phellogen) in *Pistacia lentiscus L.*, IAWA Bulletin, 6 (3), 239-244.
- Makrogiannis T.J., (1984). Local zonal index and circulation change in the European area, 1873-1972. Archives for Meteorology, Geophysics, and Bioclimatology, Ser. B, 34, 39-48.
- M'hirit O., (1982). Etude écologique et forestière des Cédraies du Rif Marocain. Essai sur une approche multidimensionnelle de la phytoécologie et de la productivité du cèdre (*Cedrus atlantica* Manetti). Thèse d'Etat, Université d'Aix-Marseille, 436 + 117 p.
- Mokrim A., (1990). Contribution à l'étude Dendrochronologique du Pin d'Alep (*Pinus halepensis MM.*) natural et de la variabilité pluviométrique au Maroc. Thèse d'Etat, Université Catholique de Louvain, 174 p.
- Munaut A.V.; Berger A.L.; Guiot J. et Mathieu L., (1978). Dendroclimatological studies on Cedars in Morocco. Evolution des atmosphères planétaires et climatologie de la terre, Centre National d'Etudes Spatiales, Nice, 343-379.
- Naciri M., (1988). Calamités naturelles et fatalités historiques. In proceeding of "Droupt, water management and food production". Novembre 21-24 1985, Agadir Maroc, 83-101.
- Riedacker A., (1978). Régénération et croissance de la partie souterraine et aérienne des cèdres placés sous climat constant. Annales des Sciences Forestières, 35, 117-138.
- Sahsamanoglou H.S., (1990). A contribution to the study of action centers in the North Atlantic. International Journal of Climatology, 10, 247-261.
- Stockton C.W., (1988). Current research progress towards understanding drought. In proceeding of "Drought, water management and food production." Novembre 21-24 1985, agadir Maroc, 21-35.
- Tessier L., (1984). Dendroclimatologie et écologie de *Pinus Silvestris L.* et *Quercus pubescens* Willd. Dans le Sud-Est de la France. Thèse d'Etat, Université d'Aix-Marseille, 275 p.
- Till C., (1985). Recherches Dendrochronologiques sur le cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* (Endl.) Carrière.) au Maroc. Unpublished Ph. D Thesis. U.C.L. Louvain-La-Neuve, Belgium.
- Till C., (1987). Caractéristiques des chronologies de Cernes définies sur le cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* (Endl.) Carrière) au Maroc pour étudier l'évolution des Forêts et du climat. *Estratto da Dendrochronologia*, 5, 143-181.
- Toth J., (1978). Contribution à l'étude de la fructification et de la régénération naturelle du cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* Manetti) dans le Sud de la France. Thèse docteur-ingénieur, Université d'Aix-Marseille, 136 p.

Tranquillini, W. (1979). Physiological ecology of the Alpine Timberline. Tree existence at high altitudes with special reference to the European Alps. Ecological studies 31, Springer Verlag, Berlin, 137 p. climat. *Estratto da Dendrochronologia*, 5, 143-181.