

البيئة ونمو أرز الأطلس ببيروثونص

ك. ربير؛ ب. بواصو

المركز الوطني للآلية الفلاحية والهندسة القروية، والمياه والغابات
إكس أوبرفانس - فرنسا

ظل أرز الأطلس أحد الأنواع الأكثر استعمالا في إعادة التشجير في منطقة حوض البحر الأبيض المتوسط خلال السنوات العشرين الماضية. إلا أن النتائج المحصلة كانت غير منتظمة نوعا ما وخصوصا منذ أن تم العمل بغرس الأرز في ظروف مختلفة بصفة تزايدية. وكتيجة لذلك، أصبحت ضرورة التعرف الواسع على متطلباته البيئية وعلى العوامل التي تحد نموه أمرا مفروضا.

. وهكذا، تم القيام بدراسة بيئية تعتمد على جماعات الأرز المتعددة المعروفة. تقدم نتائج هذه الدراسة على الشكلين التاليين:
- وصف كفي للسلوك البيئي للأرز في منطقة الدراسة.

- دليل بيئي يحدد خصوبة المواقع حسب الظروف البيئية التي تتصل بها. يسمح هذا الدليل للمهتم بالمجال الغابوي بالحكم، وفق تشخيص سريع، عما إذا كانت شجرة الأرز يلائمها الموقع ويكون لها معدل نمو جيد وتعتبر المعايير الرئيسية التي ترتبط بنمو الأرز في المنطقة تحت الدراسة هي المناخ (مجمّل التساقطات، درجة الحرارة، الارتفاع)، طبيعة الصخور، حجم وتغاير خواص النحيزة التي يمكن للجذور أن تتفرع فيها (التربة والطبقة التي تليها) وأخيرا الطوبوغرافيا.

ECOLOGIE ET CROISSANCE DU CEDRE DE L'ATLAS EN PROVENCE

RIPERT C. et BOISSEAU B.

*Centre National du Machinisme Agricole, du Génie Rural,
des Eaux et des Forêts (CEMAGREF)
Division Forêt Méditerranéenne,
B.P. 31, Le Tholonet,
13612 Aix-en-Provence Cedex 1, France*

Résumé - *Le cèdre de l'Atlas a été au cours des vingt dernières années l'une des espèces de reboisement les plus utilisées dans la région méditerranéenne.*

Cependant, les résultats obtenus sont assez inégaux, d'autant plus que le cèdre est introduit dans des conditions de plus en plus variées. Aussi, il s'est très vite avéré évident qu'une connaissance plus approfondie de ses exigences écologiques et des facteurs limitant sa croissance est nécessaire.

Une étude écologique a donc été menée à partir des nombreux boisements de cèdre existants. Les résultats de cette étude se présentent sous deux formes:

- *Une description qualitative du comportement écologique du cèdre sur la zone étudiée,*
- *une clé écologique déterminant la fertilité des sites en fonction des conditions de milieu rencontrées.*

Cette clé écologique doit permettre au forestier, par un diagnostic rapide, d'apprécier si le cèdre est adapté au site et aura un bon taux de croissance.

Les principaux critères auxquels ont pu être reliés la croissance du cèdre dans la région étudiée sont le climat (pluie totale, température, altitude), la nature de la roche, le volume et l'hétérogénéité du substrat prospectable par les racines (sol et formations superficielles) et enfin la topographie.

***Cedrus atlantica* / écologie / accroissement / milieu / fertilité.**

Summary - For the past twenty years, the Atlas Cedar has been one of the species most widely used for reforestation in the Mediterranean region.

However, the results obtained are fairly irregular, all the more so since the Cedar is planted in increasingly varying conditions. Consequently, it soon became evident that a greater knowledge of its ecological needs and of the factors limiting its growth was necessary.

An ecological study was thus undertaken, based on numerous existing cedar stands. The results of this study are presented in two forms:

- a qualitative description of the cedar's ecological behaviour in the zone under study.
- an ecological key (guide) determining the fertility of the sites according to the environmental conditions met with.

This ecological key is to enable the forester to judge, by a rapid diagnosis, whether the cedar is suited to the site and will have a good rate of growth.

The main criteria to which it has been possible to link the growth of the cedar in the region studied, are the climate (total rainfall, temperature, altitude) the nature of the

rock, the volume and heterogeneity of the substratum in which the roots may spread (soil and subsoil) and finally the topography.

***Cedrus atlantica* / Ecology / Growth / Site / Fertility.**

INTRODUCTION

Le cèdre est une essence circumméditerranéenne où l'on distingue plusieurs espèces: le cèdre du Liban, le cèdre de Chypre et le cèdre de l'Atlas. Ce dernier, (*Cedrus Atlantica, manetti*) est originaire d'Algérie et du Maroc. Les premières introductions en région méditerranéenne française date de 1862 (Mont Ventoux et Luberon dans le Vaucluse, Riassesse et Marcilly dans l'Aude). Les autres espèces n'ont pas fait l'objet d'introduction importante; leur utilisation comme essence de reboisement ne s'est pas développée.

Le cèdre de l'Atlas, s'est très bien adapté en région méditerranéenne; il a prospéré se régénérant très facilement dans la plupart des zones où il avait été introduit et on considère son implantation comme réussie.

Dans le reste de la France, le cèdre a été introduit, plus récemment, dans la vallée du Rhône, le Bassin Stéphanois, la Bourgogne, le Piémont Pyrénéen, etc...

Ces régions plus septentrionales sont très différentes sur le plan climatique. Elles sont en général caractérisées par un régime pluviométrique plus abondant et plus régulier ainsi que par des températures plus fraîches en toute saison. Il n'y a pas de longue période de sécheresse comme en région méditerranéenne.

Dans la plupart de ces régions, le cèdre de l'Atlas donne de bons résultats souvent meilleurs qu'en Provence.

Le domaine provençal que couvre notre étude autécologique est donc tout à fait particulier par rapport au contexte national. Ses conditions climatiques notamment sont difficiles pour la végétation forestière. Le cèdre est néanmoins une essence de reboisement très importante dans cette région notamment sur substrat calcaire où l'éventail des essences de reboisement n'est pas très large. Son utilisation toutefois mérite d'être optimisée, c'est l'objectif de la présente étude autécologique dont nous présentons dans cet article les principaux résultats.

PRESENTATION DE LA METHODE AUTECOLOGIQUE

Le but est d'étudier l'écologie d'une essence à partir des boisements existants (naturels ou artificiels) dans un domaine délimité.

Il s'agit plus précisément de mettre en évidence les facteurs écologiques déterminants pour la croissance de l'essence.

Dans un domaine d'étude bien défini, on commence par inventorier tous les peuplements forestiers de l'essence considérée. Dans chaque boisement retenu on effectue ensuite un ou plusieurs relevés phyto-écologiques et dendrométriques (âge et hauteur); le nombre de relevés dans un boisement est déterminé par la diversité des milieux rencontrés.

200 à 300 relevés sont nécessaires pour effectuer ensuite des analyses valables sur le plan statistique. Avant d'entreprendre le traitement des données écologiques, on modélise la croissance en hauteur de l'essence étudiée. On dispose pour cela des

données d'âge et de hauteur issues des relevés dendrométriques et d'analyses de tige. Cette modélisation permet de caractériser la croissance en hauteur de l'espèce et de calculer un indice de fertilité pour chaque relevé (hauteur atteinte par le peuplement à un âge de référence).

N.B. : dans la suite du texte, on désignera par cèdre, le cèdre de l'Atlas

Cet indice de fertilité permet de comparer les relevés entre eux dans la recherche des relations entre la croissance de l'espèce et les facteurs descriptifs du milieu. Les analyses qui sont réalisées alors font largement appel à l'outil informatique ainsi qu'à des méthodes statistiques et d'analyse de données (analyse de variance et AFC/CAH pour cette étude). Les résultats obtenus sont présentés sous une forme synthétique. Pour le Cèdre, il s'agit d'une clé dite "clé autécologique" qui indique une classe de fertilité en fonction des conditions de milieu rencontrées.

L'objectif recherché est de proposer des résultats de façon assez simple et facilement utilisable sur le terrain. Cet outil doit permettre d'apprécier si l'essence est adaptée au site par un diagnostic rapide du milieu.

Dans cet esprit, les variables descriptives du milieu qui sont prises en compte pour ces études sont faciles à appréhender sur le terrain. Leur évaluation ne demande pas de connaissances très approfondies, ni de matériel sophistiqué. Les résultats ainsi obtenus sont eux-mêmes simples (détermination de la classe de fertilité). En effet, le but n'est pas d'obtenir avec précision la production (ou la hauteur atteinte par le peuplement) à l'âge adulte mais d'aider le reboiseur à effectuer un choix d'essence raisonné.

La phase ultime de l'étude consiste à vérifier les résultats obtenus sur des boisements n'ayant pas été pris en compte dans l'enquête. Ceci permet de d'évaluer la fiabilité des résultats ainsi que d'apporter éventuellement des compléments.

Plusieurs essences ont été étudiées par la méthode autécologique (Pin pignon, Cyprès vert, Pin brutia, etc...). Nous présentons ici de façon succincte les résultats obtenus sur le cèdre de l'Atlas qui est la dernière étude réalisée.

PRESENTATION DES RESULTATS OBTENUS SUR LE CEDRE DE L'ATLAS EN PROVENCE

La Croissance en Hauteur

Elle a été modélisée à partir d'analyses de tige. Le modèle apparaît dans la figure 1 sous forme de 4 classes de croissance (5 niveaux de courbes).

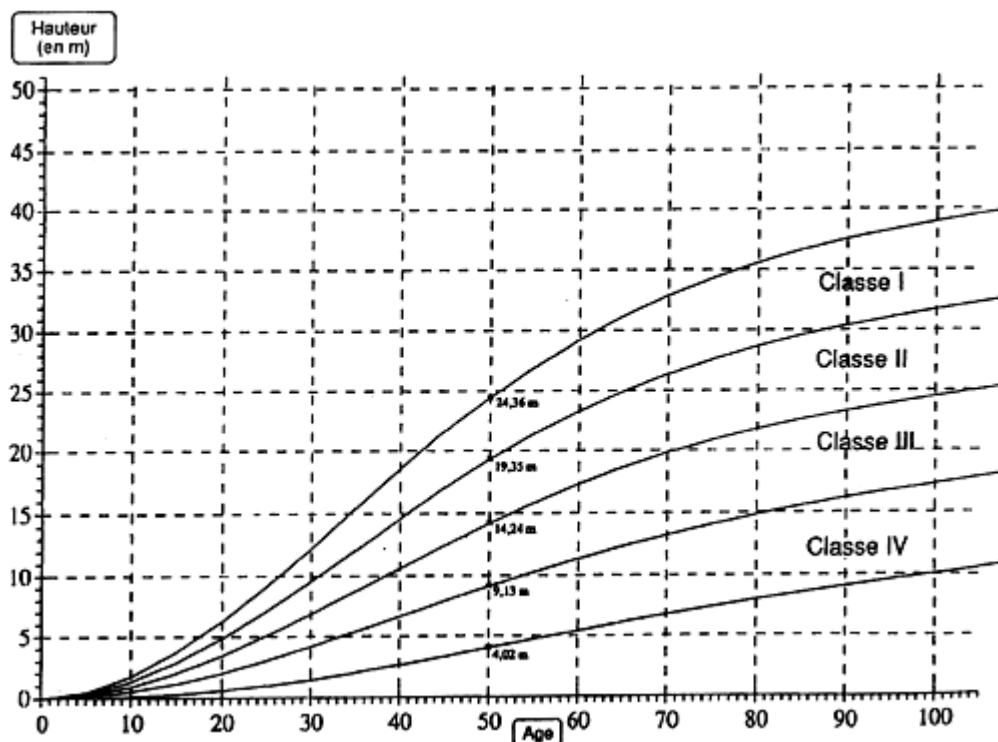


Figure 1: Cèdre, classes de croissance

Le domaine d'application du modèle de croissance en hauteur couvre la Basse Provence, l'Arrière Pays méditerranéen et les Préalpes du Sud (cf. carte).

Particularité de la croissance du cèdre : Elle est lente dans le jeune âge, la concurrence est donc à craindre dans les régénérations et les plantations soit vis à vis de la végétation adventice et notamment des graminées, soit vis à vis d'essences à croissance plus rapide (pin noir par exemple). Dans le vieil âge, les courbes présentent une asymptote oblique. Les cèdres en pleuplement forestier continuent de croître légèrement au-delà de 90 ans.

Croissance comparée du cèdre. Le tableau (Figure 2) donne à titre indicatif quelques points de repères sur la croissance d'autres essences de reboisement avec lesquelles le cèdre est en contact dans son domaine d'utilisation potentiel.

Tableau 1: Croissance d'autres espèces de reboisements

ESPECES	Amplitude des hauteurs possibles		
	à 30 ans	à 50 ans	à 80 ans
Cèdre (RIPERT, BOISSEAU)	1,5 à 12m	4 à 24m	8 à 36m
Pin d'Alep (COUHERT)	3 à 12m	4 à 18m	5 à 24m
Pin brutia (NOUALS, BOISSEAU)	2,5 à 17m		
Pin de Salzmann (J.C. HERVE)	2 à 13m	4 à 22m	(5 à 27m)
Pin noir d'Autriche (F. D'EPENOUX)	4 à 13m	7 à 22m	7 à 26m
Pin laricio de Corse (COMMERCION)	6 à 17m	10 à 28m	12 à 34m
Sapin Méditerranéen (COLOMBET)	3 à 15m	6 à 28m	8 à 40m

Les pins par exemple présentent une croissance plus rapide au départ mais ils sont rattrapés par le cèdre qui continue de croître plus longtemps. Il est bien évident que

pour comparer précisément ces essences entre elles, il faudra se situer dans des conditions écologiques connues et identiques.

Comportement Ecologique

D'après les analyses de variances, illustrées par le tableau ci-joint (figure 2), et les autres traitements qui ont abouti à la clé autécologique, on peut donner pour le comportement écologique du cèdre, les indications suivantes :

La fertilité dépend en premier lieu des conditions climatiques (pluviométrie, température et altitude). Comme le montre le tableau (figure 3).

Facteurs	Modalités défavorables	Modalités intermédiaires	Modalités favorables
Pluviométrie	type 8 p/an= <650 min	type 6 p/an=800 mm	type 4-7-5 p/an = 900 à 1000 mm
Température	type 6 tempmoy.annuelle > 14°	type 4 et 5 temp.moy.annuelle = 12 à 13°	type 2 – 3 temp.moy.annuelle = 7 à 10°
Altitudes	< 400 m	400 à 600m ou 700m	> 600 m ou 700 m
Roches	Marne Dolomie	Calcaire dur Calcaire doiomitique Grès calcaire	
		Calcaire marneux et alternance calcaire/marne Alluvions anciennes: formation de Valensole	Micaschiste Gneiss Alluvions modernes
Topographie	Sommet, croupe, haut versant	Plateau	
		mi-versant	Plaine, vallée, vallon, bas-versant
Composition de la formation superficielle	Terre fine + gravier 4-cailloux -f pierre et bloc		Terre fine + gravier + cailloux
Epaisseur de l'altérite ou de la colluvion	< 70 cm	> 70 cm	> 2 m
Affleurement rocheux	> 10 %		< 10 %
Cailloux dans le sol	> 60 %	30 à 60 %	10 à 30 %
Teste tarière	< 20 cm	20 à 40 cm	> 40 cm
Réaction de la terre fine à l'acide chlorhydrique	Forte	Visible ou audible	nulle ou faiblement audible
Antécédents culturels	Garrigue	Forêt Friche	Terre de culture Restanque

Figure 3: Influence des facteurs du milieu considérés isolément sur la croissance du cèdre de l'Atlas en Provence (établi à partir d'analyses de variance)

Pour les roches, marnes et dolomies sont particulièrement défavorables.

Les micaschistes et les gneiss, roches siliceuses, sont les plus favorables.

Les autres roches présentent des fertilités diverses en fonction des conditions stationnelles du sol.

La fertilité dépend du volume de substrat exploitable par les racines (le substrat comprenant le sol et le sous-sol).

Ce caractère est valable que le sol se développe sur colluvions ou sur altération mais va s'exprimer de façon différente:

- Sur les formations superficielles de type colluvial: la fertilité dépend de l'épaisseur de la colluvion (1) puis de la proportion de terre fine et d'éléments grossiers (voir tableau).
- Sur roche mère altérée, la fertilité est conditionnée par la présence de fissures (1) ou de diaclases (1) de la roche en place. La présence d'un sol sur la roche mère altérée améliore la fertilité en fonction de son épaisseur qui s'ajoute à celle de l'altérite (1). L'épaisseur de l'altérite, le nombre et la dimension des fissures sont déterminants car le cèdre plus que toute autre essence exploite bien les fissures de la roche en place (ou les interstices entre les blocs d'un éboulis).

(1) Voir définition des termes employés

Cette capacité de prospection de son système racinaire explique sans doute aussi que des sols assez caillouteux ne lui soient pas défavorables.

Dans certains cas, la présence d'une certaine proportion de cailloux dans le sol semble même favoriser sa croissance. Ce phénomène peut sans doute s'expliquer par la forte sensibilité de cette essence à une bonne aération du sol. Ainsi, les caractéristiques physiques du sol contribuant à son hétérogénéité et donc à l'aération du substrat (charge en cailloux modérée, texture de la terre fine mélangée) sont favorables.

Dans la même logique mais sans avoir pu le vérifier lors de l'étude, une bonne structuration de la terre fine dans le sol est sans doute favorable.

Ainsi le cèdre appréciera aussi les sols terreux et profonds (alluvions, anciennes terres de culture, voir tableau) à condition que ceux-ci ne soient pas compacts et asphyxiants.

Un autre cas particulier est constitué par les sols trop filtrants (texture sableuse) qui même profonds ne sont pas toujours propices à une bonne croissance.

La réaction de la terre fine à l'acide chlorhydrique indique que les sols décarbonatés sont les plus favorables à la croissance du cèdre, ce qui recoupe d'ailleurs l'information concernant les roches siliceuses.

Enfin, la position topographique est un facteur important d'appréciation de la fertilité:

- les positions favorables de bas versant, de vallon ou de plaine correspondent souvent à des colluvions épais ou des sols profonds qui assurent une bonne alimentation en eau.
- Inversement, les positions défavorables de haut de versant, sommet ou croupe correspondent souvent à des sols superficiels, rocheux et secs.

Evaluation de la Fertilité des Stations pour le Cèdre de L'Atlas

Lors de l'étude, les relevés ont d'abord été regroupés par ensembles écologiques dans lesquels une analyse plus fine a été réalisée. Ainsi une première césure distingue les milieux sur roches acides des milieux sur roches carbonatées.

- Les premiers correspondent à la Basse Provence siliceuse (Maures) où, en raison de la faible taille de l'échantillon les résultats obtenus sont fragmentaires (voir résultats secondaires).
- Les seconds constituent l'essentiel du domaine d'étude. On y a distingué 3 grands ensembles présentant des affinités d'ordre climatique et géographique:
 - La Basse Provence,
 - L'arrière Pays méditerranéen,
 - Les Préalpes du Sud.

Basse Provence et Arrière Pays sont analysés dans la clé autécologique.

Les Préalpes du Sud sont marginales dans le domaine d'étude. Les résultats obtenus sont fragmentaires (résultats secondaires).

Nous présentons dans cet article le résultat principal, c'est à dire la clé autécologique qui se compose des éléments suivants :

*la carte du "domaine d'étude et des ensembles écologiques pour le cèdre de l'Atlas" (Figure 4),

*la clé autécologique (Figure 5) accompagnée d'une notice (Figure 6) où sont définis quelques termes techniques employés dans cette clé.

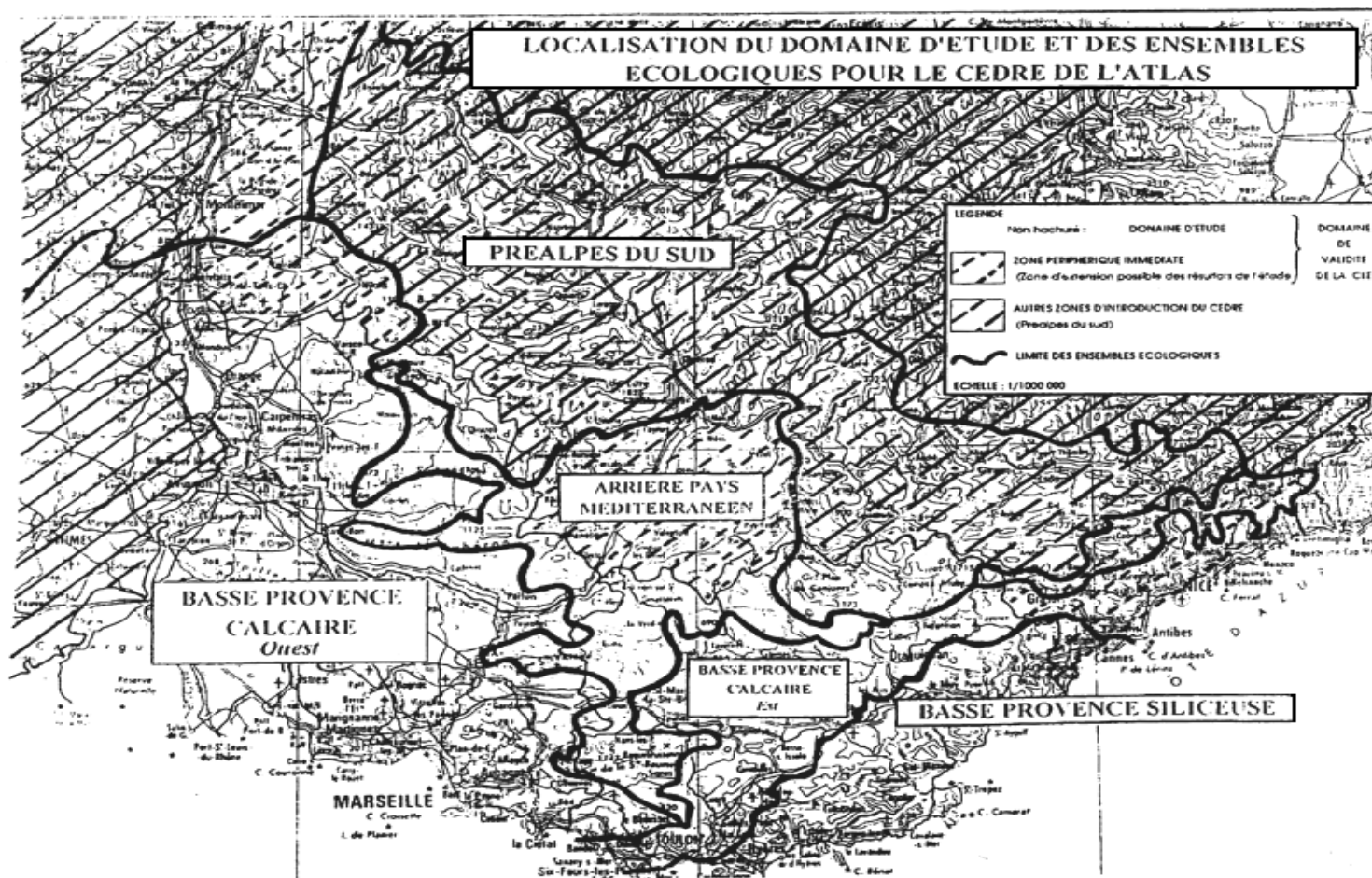
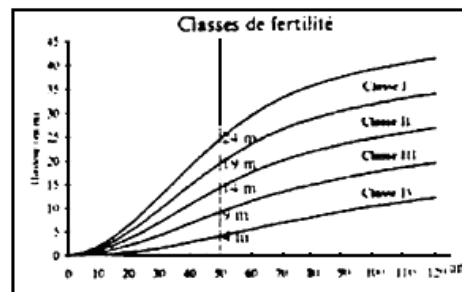
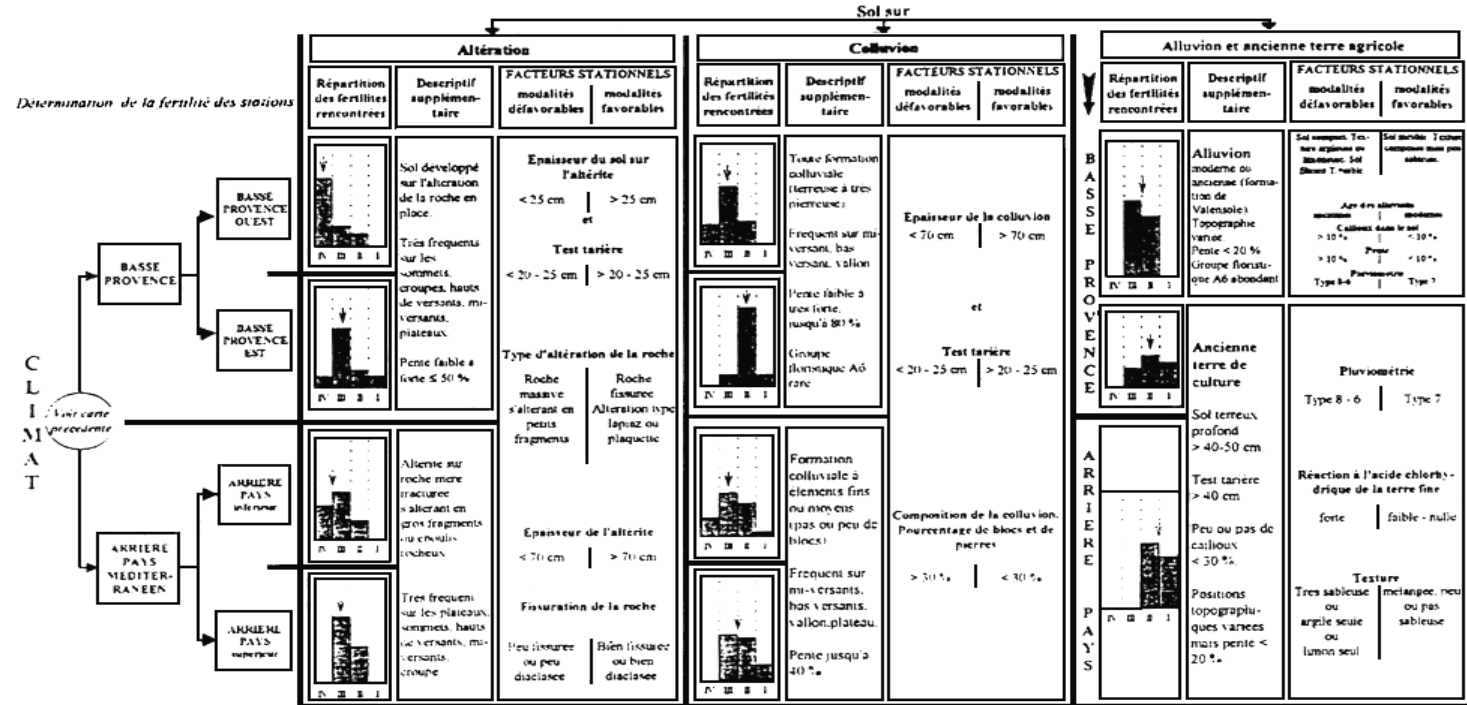


Figure 4: Localisation du domaine d'étude et des ensembles écologiques pour le cèdre de l'Atlas.

SUBSTRATS CALCAIRES

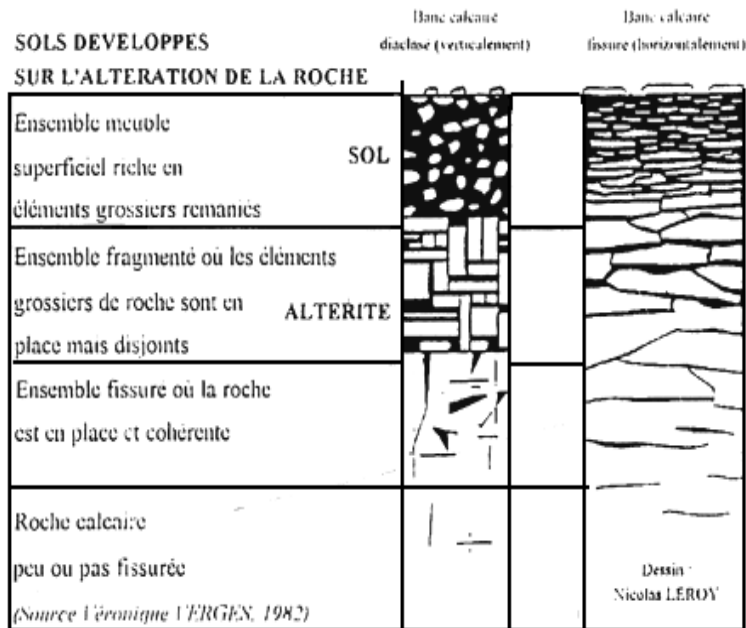


Facteurs stationnels secondaires		
defavorable	Variables	favorable
> 10 %	Atteignement rochers	< 10 %
> 60 %	cailloux dans le sol	< 60 %
> 10 %	Pente (colluvion, alluvion...)	< 20 %
forte à variable	Reaction à l'acide chlorhydrique de la terre fine	faible nulle
Sommets	Topographie generale	Bas versant
Haute versant		Vallon
Mi-versant		Plateau
Croupe		Plateau
convexe	Topographie stationnelle	concave

Figure 5: Clé autoécologique pour le cèdre de l'Atlas en provence calcaire

SOLS DEVELOPPES

SUR L'ALTERATION DE LA ROCHE



LES ALLUVIONS : elles se rencontrent à proximité des cours d'eau actuels (alluvions récentes de vallées et vallons) mais aussi disparus ou déplacés (alluvions anciennes de plateaux ou terrasses). Exemple, formation de Valcnsolc.

Les alluvions sont issues d'un transport par l'eau sur de longues distances. De ce fait, les éléments grossiers sont roulés, arrondis et se présentent sous la forme de galets

LES COLLUVIONS : duc a des phénomènes de transport de matériaux sur la pente, elle se rencontre le plus couramment sur des versants, des bas versants, des vallons et dans des positions topographiques station-nelles concaves.

"La colluvion" est un mélange de terre et d'éléments grossiers de toutes dimensions (gravier, cailloux, pierre et bloc) qui peuvent être présents ensembles et dans des proportions très variables. On les identifie généralement ainsi :

- les éléments: grossiers sont généralement disposés dans tous les sens (mais on peut quelquefois distinguer des lits):
- du fait du tinnsport sur la pente, les cailloux, les pierres, les blocs gardent leur forme acquise au moment de l'altération de la roche mère mais leurs arècs sont émonssées.

LES ANCIENNES TERRES AGRICOLES: abandonnees suite à l'exode rurale, elles affectent des parcelles devenues marginales pour l'agriculture d'aujourd'hui Ces terres présentent le plus souvent des caractéristiques pnsiques plus favorables que les surfaces couramment dévolues à la forêt ou aux parcours.

Elles sont profondes (> 40 ou 50 cm) terreuses et relati veinent meubles (tout dépend de leur date d'abandon) Elles comportent peu ou pas d'éléments grossiers quand il y en a. il s'agit souvent de la fraction la plus fine-graviers (2 mm à 2 cm) et cailloux (2 cm a 7 cm). Les pentes y sont faibles ou nulles, ou bien il s'agit d'anciennes terrasses (restanques). Remarque certains alluvions peuvent être d'anciennes [cires du culture. Leur charge en galets est dans ce cas faible

<p>REACTION A L'ACIDE CHLORHYDRIQUE DE LA TERRE FINE. Il s'agit de mesurer l'effervescence de quelques gouttes d'une solution d'acide chlorhydrique MCl a 10 % selon une echelle a 5 degrés :</p> <p>1 - réaction nulle. 2 - réaction légèrement audible. 3 - réaction nettement audible et peu visible. 4 - réaction visible. une seule couche de bulles. 5 - réaction forte, plusieurs couches de bulles</p>	<p>CAILLOUX DANS LE SOL cailloux de plus de 2 cm présents dans les 20 premiers centimètres du sol. "Les cailloux" comprennent en réalité les cailloux et les pierres, c'est à dire une granulométrie de 2 à 20 cm.</p>
	<p>LE TEST TARIERE moyenne des profondeurs d'enfoncement d'une tarière a vis hélicoïdale (Ø 3 cm) en 5 points du terrain.</p>
<p>AFFLEUREMENT ROCHEUX roche en place visible a la surface du sol</p>	

Figure 6: Quelques définitions des termes employés.

Présentation de la Clé Autécologique et Mode d'Emploi (Figure 4).

L'utilisation de la clé se fait grâce à 2 entrées principales (correspondant aux 2 facteurs les plus déterminants pour la croissance du cèdre: le climat et le substrat).

L'entrée par le climat se présente sous la forme d'une petite arborescence dichotomique qui permet de se situer dans l'un des 4 ensembles écologiques (Cf. carte de localisation du domaine d'étude et des ensembles écologiques pour le cèdre de l'Atlas).

Cette arborescence est simplifiée et ne constitue qu'un bref rappel d'un schéma un peu plus complexe et plus élaboré (non présenté ici) qu'une carte peut d'ailleurs avantageusement remplacer.

L'entrée par le substrat propose un choix entre 3 grands types de sol.

- les sols situés sur roche mère altérée,
- les sols sur colluvion,
- les alluvions et les anciennes terres de culture.

Au croisement d'un ensemble écologique et d'un grand type de sol on a une unité écologique. Ce croisement est figuré par un encadré gras qui recouvre donc pour chaque grand type de sol, 4 unités écologiques correspondant aux intersections avec les 4 ensembles écologiques. Dans le cas des alluvions et des anciennes terres de culture, la Basse Provence et l'Arrière Pays n'ont pas été subdivisés. •

Pour chacun de ces grands types de sol, l'information est présentée en 3 colonnes.

Une 1ère colonne indique la fertilité que l'on peut rencontrer dans les différentes unités écologiques (au croisement d'un ensemble écologique et d'un type de sol; encadré gras). C'est le premier niveau de prédiction de fertilité.

Un petit diagramme indique la ou les classes de fertilité qui ont été enregistrées dans chacune de ces unités, ainsi que leur importance respective. Ceci permet d'orienter la prédiction de fertilité vers une ou deux classes, les plus représentées (indiquées par une flèche).

Une 2^{ème} colonne (encadré gras) apporte quelques indications complémentaires sur le substrat qui permettent à l'utilisateur de vérifier qu'il se trouve bien dans la catégorie de sols choisie.

Dans une 3^{ème} colonne (encadré fin), commune aux 4 unités écologiques et correspondant à un même grand type de sol, sont indiqués les principaux facteurs d'ordre stationnel qui permettent d'affiner la fourchette de fertilité indiquée dans la 1^{ère} colonne (décompte des modalités défavorables et favorables de toutes les variables indiquées). C'est le deuxième niveau de prédiction de la fertilité.

Dans le bas de la clé, 2 encarts donnent les informations suivantes

Le 1^{er} encart rappelle les courbes de croissance et les 4 classes de fertilité du cèdre

Un 2^{ème} encart donne une liste des facteurs stationnels secondaires avec leurs modalités défavorables et favorables vis à vis de l'appréciation de la fertilité du cèdre.

Ces facteurs, communs aux 3 grands types de soi proposés, ont une influence plus relative et moins systématique sur la fertilité du cèdre.

Ils peuvent servir en cas de difficultés dans l'observation des facteurs principaux ou compléter le diagnostic d'un site et affiner ainsi la prédiction de la fertilité.

Précision obtenue

En observant les facteurs correspondant aux deux niveaux de prédiction de la fertilité (éventuellement complétés par les facteurs stationnels secondaires), l'utilisateur pourra se situer dans une, voire une demi-classe de fertilité.

Il serait hasardeux de vouloir prédire plus précisément la hauteur atteinte par les peuplements à l'aide de cette clé. Les relevés de terrain ayant servi à la construire ne le permettent pas.

Le niveau de précision obtenu est d'ailleurs suffisant pour que l'utilisateur décide ou non de reboiser, ou fasse un diagnostic sur un peuplement existant.

CONCLUSION

La Provence qui correspond au domaine de validité de la clé, est une région parfois limite pour l'introduction du cèdre. Lors de reboisement, il y a risque d'échec si la station n'a pas été évaluée correctement.

Les meilleures conditions de croissance se rencontrent dans l'Arrière Pays méditerranéen pour des raisons climatiques. Certaines stations seront cependant à éviter si on souhaite obtenir une bonne croissance (cf. utilisation de la clé).

La Basse Provence siliceuse est également favorable pour des raisons à la fois climatiques et lithologiques (les résultats ne sont pas présentés dans cet article).

Les conditions de croissance les plus défavorables se rencontrent aux plus basses altitudes (< 400 m) et particulièrement en Basse Provence calcaire ouest. L'introduction du cèdre y reste toutefois possible si les conditions de sol et notamment le volume de substrat exploitable par les racines, peuvent compenser les effets défavorables du climat (pluviométrie annuelle < 650 mm) (cf. clé).

De toute manière, dans ces conditions limites, il faudra préférer les versants d'exposition générale Nord ou Est.

Quels que soient les conditions climatiques, éviter marne et dolomie et tout substrat massif et compact; rechercher au contraire les facteurs d'hétérogénéité plus propices à constituer des substrats aérés, meubles.

Rappelons que le volume exploitable par les racines ne se limite pas au sol: dans la mesure du possible il faut prendre en compte la qualité du sous-sol (fissuration et altération de la roche mère).

Hors du domaine de validité de la clé, dans le reste de la région méditerranéenne, il n'est évidemment pas possible de transposer les résultats de l'étude.

Toutefois, on peut admettre que le comportement écologique général du cèdre soit conditionné par les mêmes facteurs.

On a pu d'ailleurs vérifier dans les Préalpes du Sud, où on dispose de quelques observations, que la croissance du Cèdre restait conditionnée par des mêmes facteurs édaphique et pédologique qu'en Provence. Cette cohérence de résultat laisse penser qu'il s'agit sur ce plan là d'un caractère constant pour cette essence.

Dans cette région toutefois le climat devient plus nettement favorable au Cèdre et sa croissance devrait se décaler vers de meilleures fertilités: le contexte climatique plus favorable pouvant atténuer aussi l'importance des conditions de sol.

BIBLIOGRAPHIE

Ph. Bourdenet, (1977). Enquête sur le Cèdre en Languedoc-Roussillon et possibilité d'extension-Mémoire ENITEF.

Brethes A., Demarcq Ph., (1992). Mortalité du cèdre sur dolomie dans l'Aveyron. ONF, Bulletin technique n° 23.

Ostermeyer R.,(1984). Enquête sur les cèdres en Languedoc-Roussillon: résultats complémentaires-Mémoire TSTFE-CFTMA, 164 p.

Putod R.,(1974). - Le Cèdre en région Provence-Alpes-Côte d'Azur. Bulletin de Vulgarisation Forestière n° 74/6, 44 p.,

- Le reboisement en cèdre dans le Sud-Est de la France - Bulletin de Vulgarisation Forestière n° 74/8, 40 p.

Ripert C. et Nouais D., Proposition de découpage interrégional en secteurs écologiques homogènes dans la zone méditerranéenne française, 43 p. + cartes.

Toth J.,(1977). - Le cèdre (cèdre de l'Atlas - *Cedrus atlantica*) en France. Bulletin de Vulgarisation Forestière n° 71/4.

- Première approche de la production potentielle du Cèdre de l'Atlas dans le Sud de la France. Revue Forestière Française n° 5, p. 381-389, Sept.-Oct. 1973.

- Le Cèdre de l'Atlas en France (régénération). Bulletin de Vulgarisation Forestière n° 79/8-9. p. 1-10 Août-Sept. 1979.

YI. Croissance du Cèdre de l'Atlas en relation avec quelques variables du milieu en Languedoc-Roussillon, thèse de docteur-ingénieur - Université des Sciences et Techniques du Languedoc, Montpellier, 193 p.

نتائج إدخال أرز (سدرس أطلنتيكا مانيتي)

إلى جنوب غرب بلغاريا

الكسندر دلكوث وأونيان كروزيف

معهد الغابات

صوفيا - بلغاريا

يرجع تاريخ إدخال أرز الأطلس لبلغاريا إلى نهاية القرن التاسع عشر وبداية القرن العشرين وقد كانت فكرة تحمل أشجار أرز الأطلس لجفاف الصيف جد المفروط السبب الرئيسي لإدخاله إلى بلدنا. ويعتبر طقس جنوب غرب بلغاريا في مقارنته بمناطق البلد الأخرى شيها بطقس بيئة هذا النوع الطبيعية.

وقد تمت دراسة درجة انتشار ونمو أشجار أرز الأطلس وظروفها في بعض المواقع التجريبية الواقعة بجنوب غرب بلغاريا بواسطة تحليل تتبعي زمني شجراتي وتم كشف تفاعلات نوعية لدى الأشجار التي تم تحليلها مع البيئة (الطقس والتربة) في مواقع مختلفة.

ويبين تحليل المعطيات المحصل عليها أن نتائج إدخال أشجار أرز الأطلس السابق إلى جنوب غرب بلغاريا تعتبر لا بأس بها. لهذا يجب استغلال هذا النوع على نطاق واسع لأهداف حراجية بقصد تنظيم المجال الطبيعي بجنوب غرب بلغاريا.

RESULTATS DE L'INTRODUCTION DU CEDRUS ATLANTICA MANETTI EN BULGARIE DE SUD-OUEST

DELKOV A. et GROZEV O.

Institut des Forêts - Sofia, Bulgarie

Résumé -L'introduction du Cèdre de l'Atlas en Bulgarie date de la fin du XIX^e le début du XX^e siècle. La conception, que le cèdre de l'Atlas est très convenable aux particularités locaux du climat-fréquentes, durables et intenses sécheresses d'été, a été la principale raison pour l'introduire dans notre pays. En comparaison de l'autre part du pays, le climat en Bulgarie de Sud-Ouest ressemble le plus à celui, dans l'habitat naturel des espèces. Le degré de propagation, la croissance et les conditions du cèdre de la l'Atlas dans quelques sites expérimentaux, situés en Bulgarie de Sud-Ouest, ont été étudiés à l'aide d'une analyse Dendrochronologique. On a révélé chez les arbres investigués des réactions spécifiques à l'égard des conditions d'environnement (le climat et le sol) dans des différentes sites. L'analyse des données obtenues montre, que les résultats de l'introduction précédente du cèdre de l'Atlas en Bulgarie de Sud-Ouest sont assez bons. Voilà pourquoi, cette espèce de valeur doit être utilisée, plus largement dans le but de la sylviculture et l'aménagement du paysage en Bulgarie du Sud-Ouest.

Introduction / Sylviculture / Chronologie / Relation climat-accroissement

Summary - The introduction of the Atlas Cedar in Bulgaria begins in the end of 19-th - beginning of 20-th century. The main reason for introducing of this species in Bulgaria was the concept, that the Atlas cedar is very suitable to the local climatic peculiarities - frequent, extended and intense summer droughts. Compared to the rest parts of the country, the climate in South-West Bulgaria is most similar to this one in the natural habitat of the species. The spread, growth, and conditions of the Atlas cedar in South-West Bulgaria were studied, according to the sites -mainly in North-South direction. By the means of dendrochronological analysis the specific reactions of the investigated trees to the environmental conditions (climatic and soil ones of the sites) were revealed. The data obtained show that the results of the former introduction of the Atlas cedar in South-West Bulgaria are good and therefore this valuable species should be more widely used for the purposes of silviculture and landscape design in South-West Bulgaria.

Introduction / silviculture / tree-ring chronology / climate-growth relationship.

INTRODUCTION

The first planting with *Cedrus* species in Bulgaria have been made in 1876 (Peew, 1969). General reasons for including Atlas cedar into introduction are its forests and ornamental properties.

Atlas cedar is growing very successfully in various regions of the country, but the biggest territories with this plant are along the Black Sea Coast and in South Bulgaria. In the region of Varna there are as soliters or in a small groups 326 trees from Atlas cedar, 15 to 90 years old, and have been created 84.2 ha cedar silvi-cultures (Peew, 1969). These trees are preliminary in the *Fagus orientalis* zone, e. i. up to 600 m a. s. 1. The trees are healthy and vital, fruit-bearing every year and seeds are with high germination.

The best cultivation of Atlas cedar is in Ayazmo park, near Stara Zagora town, where this species is with best growth conditions compared to *Cedrus deodara* and

Cedrus libani. The main use of Atlas cedar there is a park lane tree and for constructing of small pure or mixed groups with *Cedrus deodara*, *Cupressus sempervirens*, *Pinus nigra* and *Pinus halepensis*. At some sites there could be seen plenty of self planting, approx. 50 seedlings aged 3-5 years per one sq. m (Petrow, Prokopiew, 1962).

Basically, investigations on growth and introduction of Atlas cedar have been made only in the Black Sea region and Stara Zagora. In the remaining parts of the country *Cedrus atlantica* Manetti is not investigated so well. For this reason, purpose of that paper is investigation of spread, growth characteristics and health status of Atlas cedar in the region of South-West Bulgaria.

MATERIAL AND METHODS

Subject of experiment were Atlas cedar trees as soliters and as small groups obtained at the regions of Sofia and Sandansky (Figure 1). The tested trees were with different age, ranging from 15 to 35 years, and were gathered in groups remoted by each other from few hundred meters to few kilometers. This is due to the fact that in the south-west part of the country there are not any silvicultures established or they are too young and dendrochronological analyses are not aplicable.

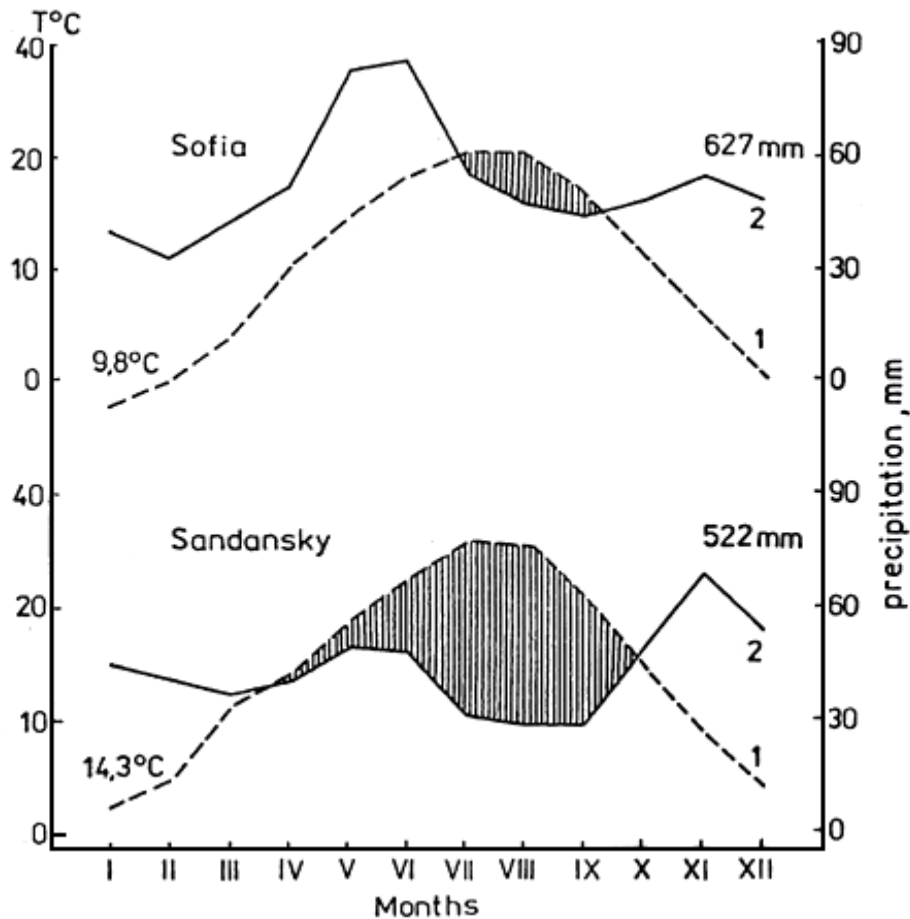
Some of investigated trees are located along roads with high traffic. The main soil unit in Sofia region, according to the FAO classification (1986), is vertisol, developed on the Quaternary-andesite materials, at 560 m a.s.l., at coordinates 42°44'N and 23°22'E.



Figure 1: Localisation of the experimental area

The climatological information is obtained from meteorological station Sofia. Mean annual temperature is 9.8°C, with average month min temperature for January -3.0°C, and absolutely min temperature of -27.5°C. The highest temperatures were measured in July-August, 26.6 -26.9°C, with absolutely max temperature for August of 37.4°C.

The growing season continues about 190 days, calculated on the data base of average month temperatures above 10°C, according to Florow and Arabadjieva (1966).



**Figure 2: Climatographs after Goussen-Walter for the stations of Sofia (ait.560m) and Sandan-sky (ait. 190m).
1- mean month temperatures; 2- précipitation per months.**

Precipitations are approx. 627 mm. Outlined is a summer precipitation maximum, in May-June (83 -85 mm), connected with continental climatological influence, however, a secondary increase of precipitation, in November, a slight indication of Mediterranean climate influence is also noted.

Climatpgraph after Goussen-Walter (Figure 2) shows existence of possibilities of moisture deficit for 75 days period.

According to Tishkow classification (1982), the region of investigation is in the Moderate - Continental climatic subzone (1.2.).

The main soil unit in Sandansky region, is of umbric fluvisols, developed on the alluvial granite materials (FAO, 1986), at 200m a.s.l., at coordinates 42°44'N and 23°22'E.

Climatic data was drawn from meteorological station of Sandansky. Mean annual temperature is 14.4°C, with month average minimum for January, -0.4°C and month average maximum for August, 26.7°C.

Calculated vegetation period is 240 days, from first decay of March till the beginning of November.

Mean value of precipitations is 522mm. Outlined is a autumn-winter precipitation maximum -55% of total precipitations, which indicate Mediterranean climate influence.

According to Tishkow (1982), Atlas cedar trees of Sandansky region are under climatical conditions of the Middle-Struma climatic region of the South Bulgarian climatical subzone with Mediterranean climatic influence.

It could be seen from figure 2, the possible period of moisture deficit, within 195 days, from the beginning of April till middle October.

For each tree height and diameter at a height of 1.3m from the ground were measured. Based on the obtained data, the averaged maximum heights and diameters were defined respectively.

From each region fourteen trees were cored. Two cores were taken from each tree using an increment borer.

Measurements, storage and crossdating of the tree-ring widths were done after the methods described by Stokes, Smiley (1968).

The ring widths were measured by means of a binocular microscope type MBC 9, magnification 16 times and precision 0.01 mm. Groth indices for each sample were calculated after the method of Fritts et al. (1969).

After statistical processes, by means of a computer, from raws with normal distribution, tree-ring chronologies for Sofia from 12 trees and for Sandansky from 8 trees were established (Figures 3 and 4).

Relationships between growth indices and climatic factors, as precipitations and temperatures were searched after the method of Bitvinskas (1974).

The health condition of trees has been evaluated visually.

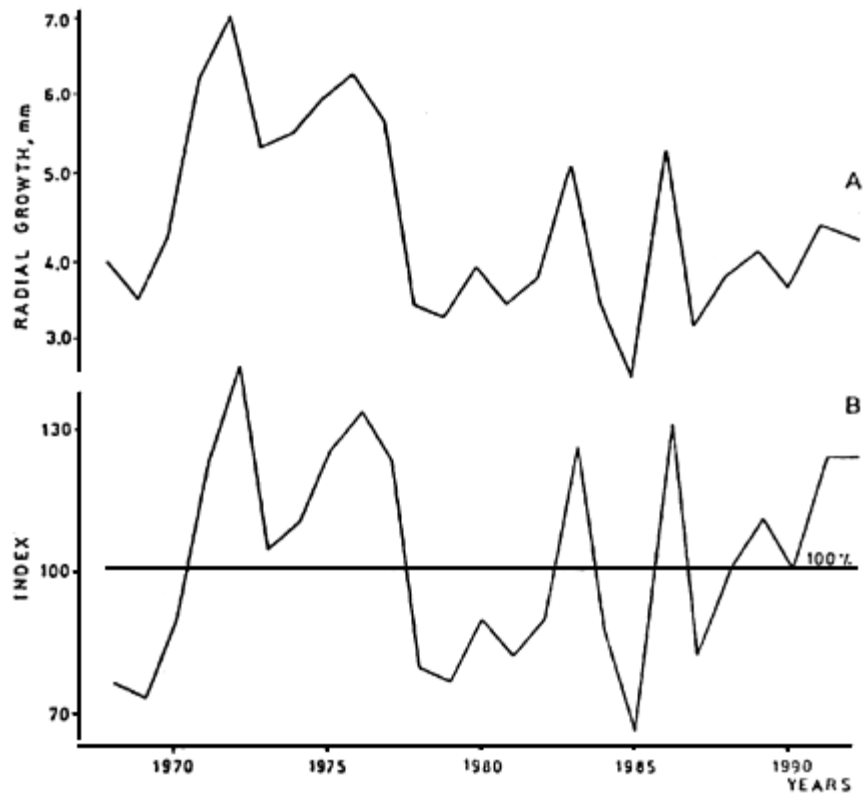


Figure 3: Mean chronology for Sofia: A - in mm; B - in indices

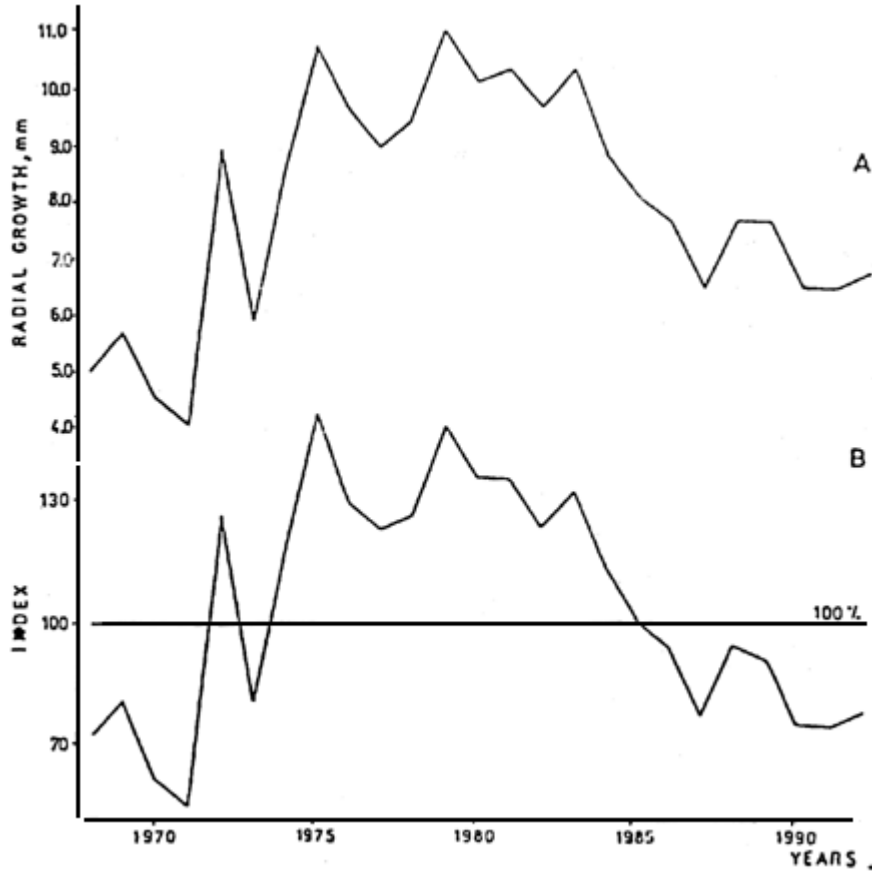


Figure 4: Mean chronology for Sandansky: A - in mm; B - in indices

RESULTS AND DISCUSSION

For purposes of this investigation 49 trees were measured -28 in Sofia and 21 in Sandansky region (Table 1).

According to the results from this table, good adaptability of *Cedrus atlantica* Manetti was evident for all trees. In Sofia for life period of 35 years trees have reached 11m average height and 25 cm average diameter, for 30 years -9m and 17 cm respectively and for Sandansky for 33 years -12m and 42 cm, for 28 years -11m and 29cm, and for 18 years -7m and 16 cm, respectively. The maximum height for Sofia from all measured trees is 18m and max diameter -47.46cm, and for Sandansky -14.5m and 54.14cm respectively.

Tableau 1: Biometric characteristics of trees from sofia and sandansky region

NUMBER	SOFIA			SANDANSKY		
	H (m)	D1.3 (m)	Age	H (m)	D1.3 (cm)	Age
1	10	24.52	35	12.5	47.12	33
2	11	24.2	35	14	44.9	33
3	11	33.12	35	12	29.94	28
4	11	24.2	35	12	29.3	28
5	11.5	26.7	35	11	24.2	28
6	13.5	29.3	35	10	26.74	28
7	8.5	21.34	35	9	33.44	28
8	10.5	23.72	35	7.5	14	18
9	10	18.14	35	7.5	13.06	18
10	10	17.68	35	13	33.12	28
11	11	23.08	35	11.5	47.76	33
12	12	22.62	35	10	41.08	33
13	9	25.16	35	8	19.42	18
14	8.5	15.76	35	5.5	8.92	18
15	9	15.28	35	6.5	21.98	18
16	9	23.08	35	13	30.26	33
17	18	47.76	35	9	37.58	33
18	10	16.42	30	10	40.44	33
19	8	11.78	30	13	33.44	33
20	9	12.1	30	14.5	54.14	33
21	9	15.6	30	9	16.88	20
22	10.5	22.92	30			
23	9	20.7	30			
24	8	14.16	30			
25	9	23.08	30			
26	10	32.16	35			
27	11	31.84	35			
28	9	23.88	35			

The obtained data could be compared with data from Atlas cedar and Austrian black pine (aged 40 years) from Ayazmo park, where average and maximum heights and diameters for Atlas cedar were 11.7m and 16m; 25.7cm and 34cm, and for Austrian black pine -8.9m and 11m; 14.6cm and 20cm (Petrow, Prokopiew, 1962).

It is clear, that Atlas cedar exceeds Austrian black pine on growth and productivity. According to Peew (1968), Atlas cedar exceeds Austrian black pine with 40% of yearly growth.

It is clear from table 1 the better growth in widths for the trees from Sandansky region compared with these ones in Sofia. This result has been confirmed by the data for tree-ring widths in chronologies (Table 2).

Tableau 2: Tree-ring chronologies, obtained through specimens or *Cedrus atlantica* Manetti over the 1968-1992 period for sofia (1) and sandansky (2) region (in: mm)

YEARS	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1960 (1)									3.98	3.4
1960 (2)									4.8	5.5
1970 (1)	4.23	6.23	6.96	5.29	5.43	5.97	6.23	5.61	3.47	3.3
1970 (2)	4.16	3.78	8.54	5.62	8.08	10.58	9.22	8.74	9.02	10.7
1980 (1)	3.85	3.43	3.67	5.08	3.43	2.51	5.11	3.04	3.7	2
1980 (2)	9.84	10.1	9.24	10.04	8.52	7.72	7.2	6.18	7.34	4
1990 (1)	3.48	4.23	4.19							7.14
1990 (2)	6.06	6.06	6.44							

Mean chronology from each region covers 1968 - 1992 period (Figures 3 and 4). The figures show differences between growth rhythms of analyzed ring widths rows in two regions as well as growth values in certain years are in counter-phase.

Reasons for growth variation in similar aged trees from Sofia and Sandansky could be found in several directions. First of all as a reason existence of umbric fluvisols in Sandansky could be mentioned. This type of soil supports normal water regime, even at time of precipitation minimum and possible moisture deficit. On this type of soils *Cedrus* species demonstrate the biggest growth rate (Peew, 1969).

Climatic conditions determine more long period of vegetation (about 50 days) for the plants from Sandansky than in Sofia (Figure 2).

Some depression influence on the Sofia trees, could be expressed by the low winter temperatures, in spite of Peew (1966) conclusions, that after few subsequent cold winters Atlas cedar trees, aged above 20 years, were not damaged.

Considering growth-climate relationships, it is outlined, that precipitations are of primary significance for tree-ring with formation process.

For trees of Sofia region with the highest significance are precipitation amount for the whole year period, $C_x = 77,3\%$, followed by precipitation amount for April-October period, $C_x = 72,7\%$.

For trees of Sandansky region precipitation amount for April-August period, $C_x = 65,0\%$, is the basic factor forming main part of ring width.

Rate of relationships between growth and temperatures (in all variations) is very low, fact determining the limiting role of precipitations as factor of tree growth value production.

For better assessment of the calculated results for Atlas cedar (Table 2), comparison has been made with the some data for the three most widely spread coniferous species in Bulgaria, which according to ECP/UNEP (1990) cover territories as follows: Scots pine - 59,9%, Austrian black pine - 29,0% and Norway spruce - 15,7%.

Tableau 3: Growth values for different coniferous species aged 35 years (in mm)

	Minimum	Maximum	Average
ATLAS CEDAR			
Sofia	2.51	6.96	4.40
Sandansky	3.78	10.72	7.62
SCOTS PINE	2.52	4.60	3.60
AUSTRIAN BLACK PINE	1.36	3.33	2.16
NORWAY SPRUCE	1.58	3.37	2.17

It could be seen the best growth characteristics of *Cedrus atlantica* Manetti. This comparison has its value only for sites suitable for Cedrus species. In places, where Scots pine, Norway spruce and partly Austrian black pine appeared naturally, Cedrus plantings are not recommendable. Most often these sites are 800 m a.s.l. For Atlas cedar plantings suitable sites are no more than 600 - 700 m a.s.l. the investigated trees no damages have been established made by insects or fungi and by polluted air. Good health status of Atlas cedar has been confirmed by the results from dendrochronological analyses - graphically represented through standardised curves (Figures 3 and 4).

Results of assessment for healthy status of this investigation confirm analogical studies in the region of Black Sea (Peew, 1969) and Stara Zagora (Gantchev, Prokopiew, 1959; Petrov, Prokopiew, 1962). After ecological expertise in region of "Tzaparevo" Forest Enterprise, 20-25 km north-west from Sandansky, a good condition of cedar silvicultures has been proved (Rosnev et al., 1991). In the same time silvicultures of Scots and Austrian black pine, which grow parallel to Atlas cedar silvicultures, and are at the same age (about 15 years), were seriously damaged. A very big percentage of young trees were dried.

Soliter trees are with well formed and good shaped crowns, which increase their ornamental effect.

CONCLUSIONS

The present investigation for *Cedrus atlantica* Manetti for the regions of South-West Bulgaria shows the naturalisation process for this tree species for soil-climatic conditions of Bulgaria and confirms its valuable ecological and economical properties, which could be collected as follows:

1. Broad ecological variability. Investigated objects include two climatic zones, and soil types are different.
2. Low winter temperatures and long-period summer droughts resistance.
3. Resistance against natural enemies.
4. Tolerableness for air pollution from vehicule transport.
5. Fast growth and production of high quality timber.

BIBLIOGRAPHIE

Gantchev A. and Prokopiew E., (1959). Trees and Shrubs Introduced in Bulgaria. Sofia (in Bulgarian).

Peew H., (1966). Results from the Wintering of Some Introduced Tree Species. Gorsko stopanstvo, No 9. (in Bulgarian).

Peew H., (1968). Peculiarities in the Development and Growth of Cedar. Gorsko stopanstvo, No 1. (in Bulgarian).

Peew H., (1969). Cedar Silvicultures. Gorsko stopanstvo, No 5. (in Bulgarian).

- Peew H., (1969). The Cedars as a Tree Species. Gorsko stopanstvo, No 11. (in Bulgarian).
- Petrov M. and E., Prokopiew E., (1962). Introduced Fast Growing Tree Species of Industrial Importance. Sofia, Zemizdat. (in Bulgarian).
- Rosnev B. et *al.*, (1991). Expert Assessment for Health Conditions of Silvicultures and Certain Forests in Bulgaria. FNTD/NTSL. (in Bulgarian).
- Tishkow H., (1982). Climatic Division. In: Geography of Bulgaria, vol. 1. Sofia, BAN. (in Bulgarian).
- Florow R. and Arabadjieva, L., (1966). Physiological Investigations on Certain Tree and Shrub Species in Bulgaria. Sofia, NIIHM-BAN, vol. VII. (in Bulgarian).
- Bitvinskas T. T., (1974). Dendroclimatic Investigations. Gidrometeoizdat, Leningrad.
- Fritts H. C, Mosimann, J. E., and Bottorf, C P., (1969). A Revised Computer Program for Standardising Tree-ring Series. Tree-Ring Bull. 29.
- Stokes M. A. and Smiley, T. L., (1968). An Introduction to Tree-ring Dating. Univ. of Chicago Press, Chicago.
- ECP/UNEP, (1990). Forest Damage and Air Pollution. Report of the 1989 Forest Damage Survey in Europe.
- FAO/UNESCO, (1986). Soil Map of the World. In: World Soil Resources Report. Rome. January 1993.

فعالية النمو الشعاعي لأشجار الأرز

إسهام التتبع الزمني الشجري

شبوكي نبيل ومكرم عبد العزيز

الشعبة الغابوية

معهد الحسن الثاني للزراعة والبيطرة

الرباط - المغرب

تستخلص مظاهر نمو أشجار الأرز انطلاقا من تسلسل الحلقات الجذعية. فالمظهران الأقصى والمتوسط كلاهما يعكسان تقلصا أسيا سلبيا. ويشير عمر أوسع حلقة ونقطة انحرافها إلى تاريخ حدوث أول تدخل غابوي كما يكون حاصل المظهر الأقصى/المظهر المتوسط منحني على شكل جرس بحد أقصى يبلغ ما بين 50 و 70 سنة ويستقر على قيمة ما بين 13 و 16. وتعكس هذه النسبة مدى التحسن الكامن لإنتاجية الجماعة الشجرية. كما تعزز مظاهر انتشار السطح الأرضي هذه الاكتشافات وتكملها. وتوصي بالتاريخ الموالي والملائم للتدخل إن الإمكانات الكامنة في تقنيات الدراسة التتبعية الزمنية الشجرية من تعرف على العوارض وتقويمها وإعادة تجديد أشجار الأطلس ودراسته لتعتبر إضافات للتاريخ ولما سبق عرضه في هذا المجال. لهذه الغاية، تم تحديد إطار منهجي عام، كما أن المقاربة الكلاسيكية للتتبع الزمني الشجري التي تنطوي على جمع العينات ووصفها ومعالجتها أصبحت عرضة لإعادة النظر.

DYNAMIQUE DE LA CROISSANCE RADIALE DU CÈDRE: APPORT DE LA DENDROCHRONOLOGIE

MOKRIM A. et CHBOUKI N.

*Maîtres de conférence, Département de foresterie,
Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II,
BP 6202 Rabat-Instituts Rabat*

Résumé - Les profils de croissance du cèdre de l'Atlas sont dérivés des séries dendrochronologiques. L'âge du cerne le plus large et celui du point d'inflexion indiquent la date de la première intervention sylvicole. Le rapport profil maximum sur profil moyen a une courbe en cloche avec un maximum entre 50 et 70 ans et se stabilise à une valeur de 1,3 à 1,6. Ce rapport montre le potentiel d'amélioration de la productivité du peuplement. Les profils d'accroissement de la surface terrière corroborent et complètent ces résultats et suggèrent la deuxième meilleure date d'intervention. Le potentiel des techniques dendrochronologiques dans l'identification et l'évaluation des perturbations, dans la reconstitution et l'étude de l'historique et de la dynamique des sites du cèdre de l'Atlas est exposé. Pour ce, un cadre méthodologique général est défini. L'approche dendrochronologique classique d'échantillonnage, de description et de traitement est reconsidérée.

Dendrochronologie / dynamique et perturbation des peuplements / accroissement radial / accroissement en surface terrière.

Summary - Atlas cedar growth profiles are derived from tree-ring series. Both, maximum and mean profiles show a negative exponential decrease. The age of the largest ring along with the point of inflexion indicate the timing for the first forestry intervention. The ratio maximum profile/mean profile has a bell-shaped curve with a maximum between 50 and 70 years and stabilizes at a value of 1,3 to 1,6. This ratio shows the extent of potential improvement of stand productivity. Basal area increment profiles corroborate and complement these findings and suggest the second best timing for intervention. The potential of dendrochronological techniques in the identification and assessment of perturbations, in the reconstruction and study of Atlas cedar stand history and dynamics is exposed. For this purpose, a general methodological framework is defined. The classical dendrochronological approach for sample collection, description and treatment is reconsidered.

Dendrochronology / stand perturbation and dynamics / radicle growth / growth profiles / basal area increment.

INTRODUCTION

Le cèdre de l'Atlas reconnu pour sa longévité millénaire (Till, 1985; Stockton, 1988; Chbouki, 1992) offre des séries dendrochronologiques datables. Les cédraies marocaines sont les seuls peuplements naturels de la forêt nationale qui soient en mesure de fournir actuellement un bois d'oeuvre de grandes qualités technologiques voire un bois noble. La production ligneuse de la cédraie Marocaine est non seulement loin de couvrir le besoin national, mais en plus et sous l'emprise d'un certain nombre de facteurs elle affiche une tendance régressive aussi bien dans le temps que dans l'espace. Parmi les facteurs généralement incriminés pour cette évolution négative de la cédraie en particulier et de la forêt marocaine en général on peut citer:

- La difficulté voire l'absence d'une régénération des peuplements. L'emprise anthropique (pâturage, culture...etc) fait ombrage aux carences techniques, aux

deffaillance culturelles, et à l'impact probable des conditions écologiques en générale et climatiques en particulier.

- La foresterie marocaine souffre grossièrement de l'absence d'une pratique sylvicole appropriée aux conditions de nos peuplements. Il faut reconnaître que devant la déficience en connaissance sur la physiologie de croissance chez cette espèce, devant l'absence d'un historique de ses peuplements, devant l'absence de données précises sur l'évolution temporelle et spatiale des différentes composantes de la productivité de l'espèce, devant la méconnaissance de l'impact des conditions climatiques sur le phénomène de croissance en général, il est vain de pouvoir affirmer que notre pratique sylvicole est adéquate.

La dendrochronologie par sa démarche, si elle ne permet pas de combler toutes ces carences, au moins, elle nous offre la possibilité d'émettre, d'infirmier, ou de fortifier certaines hypothèses de travail relatives à la relation climat-croissance, relative datation de certains événements (infestations parasitaires périodiques, incendies, gel), relatives aux changements ayant intervenus dans la vie du peuplement (relâchement ou accentuation de la concurrence).

EVOLUTION TEMPORELE DE LA CROISSANCE

Décomposition du profil de croissance

L'examen des profils de la croissance radiale à l'échelle d'un arbre montre la superposition d'influences multiples qui se manifestent par:

- Une tendance générale: c'est le cas avec l'effet de l'âge qui montre une décroissance exponentielle négative. Cette décroissance exprime d'une part la contrainte géométrique due au dépôt de bois autour d'une circonférence de plus en plus grande. D'autre part, la décroissance reflète une perte de vigueur de l'arbre mur et une stabilisation et adaptation de l'arbre à son environnement (peuplement entier et potentialités du site). Le changement graduel d'un facteur de l'environnement se manifeste aussi sous forme d'une tendance positive ou négative.

- Une tendance périodique: des effets endogènes à l'arbre se manifestent de la sorte. La fructification et le développement des cônes induisent une baisse périodique de la croissance radiale (Eis *et AL*, 1965). Certaines influences externes affichent cette manifestation aussi. Christensen (1987) rapporte une évolution rythmique de la croissance radiale, avec des périodes de 3 à 5 ans, dues aux attaques d'insectes.

- Occurrences accidentelles localisées ou généralisées. Celles ci s'extériorisent sous forme de suppression ou relâchement de la croissance radiale. Elles expriment des influences exogènes diverses: feu, gel, vent, attaques parasitaires, action anthropique, dynamique forestière,...

- Composante aléatoire considéré comme l'expression des fluctuations climatiques annuelles.

Pour intégrer et différencier toutes ces influences, Cook (1987) propose de modéliser les séries dendrochronologiques comme suit:

$$R_t = A_t + C_t + D1_t + D2_t + E_t$$

avec R_t l'épaisseur de cerne de l'année t , A_t la tendance au vieillissement, C_t le signal climatique, $D1_t$ la perturbation localisée, $D2_t$ la perturbation généralisée à l'ensemble du site et E_t le bruit de fond non expliqué. Les dendrochronologues ont mis au point des

méthodes statistiques élaborées pour extraire et amplifier le signal climatique Ct, tout en filtrant les autres signaux qui, d'un point de vue forestier, constituent le signal recherché.

Profils moyen et maximum

Afin de comparer la productivité et la fertilité de différents sites, les séries dendrochronologiques élémentaires, exprimées en âge réel (âge cambial), sont groupées et synthétisées dans les profils moyens et maximums. Ces profils permettent d'estimer la tendance générale de la croissance radiale, indépendamment des autres signaux et perturbations. Ces derniers étant introduits selon l'âge réel et non chronologique seront dilués dans les profils.

Les profils maximums reflèteraient le potentiel génotypique et stationnel de la croissance radiale alors que les profils moyens indiquent en plus le degré de compétition et l'ampleur des facteurs exogènes de suppression de la croissance (Mokrim, 1990).

Quelques résultats

Allure des profils de croissance

Dans la forêt d'Itzer, Mezgueldi (1992) a montré que l'exponentielle négative (figure 1) ajuste mieux les profils moyens et maximums quelque soit le substrat, la pente, l'altitude ou l'exposition dominante des sites. Ses résultats corroborent l'explication géométrique de l'effet de l'âge. Par ailleurs on distingue au sein de tout profil de croissance deux phases: une phase jeune adulte et une phase de vieil adulte.

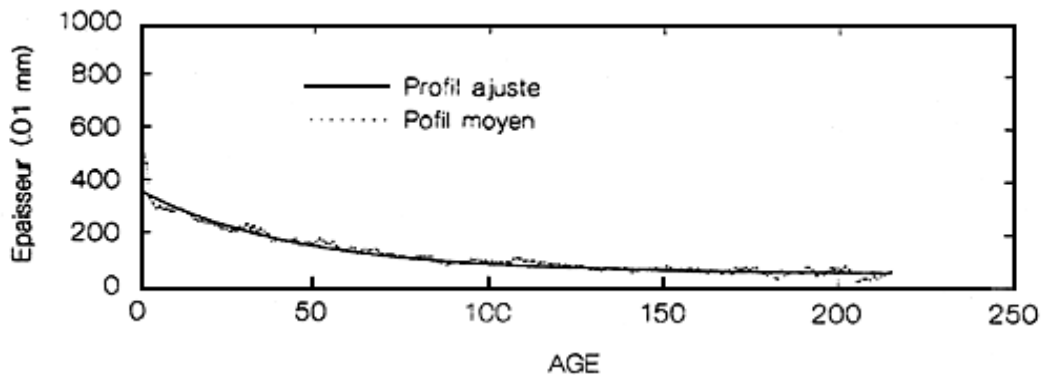


Figure 1. Ajustement du profil moyen (Site 1)

Age et valeur de l'accroissement maximal

Habituellement, le fléchissement d'une courbe d'accroissement ou la réduction de la vitesse de croissance au sein d'un peuplement indique qu'il y a un phénomène de limitation qui entre en jeu. Cette limitation peut être soit de nature endogène à l'arbre ou résultant de conditions externes (écologiques, condition de végétation, état de peuplement...). Elle sera très précoce sur les stations très fertiles et sur les stations les plus pauvres et va accentuer la lutte entre les arbres pour disposer de l'espace vital nécessaire. Dans le premier cas de figure, la concurrence entre les plants va entrer en action très rapidement suite au grand développement des plants du site. Dans les stations pauvres, c'est la disponibilité de l'eau et des éléments nutritifs qui accentuera la compétition entre les plants pour explorer latéralement et verticalement le maximum d'espace. La détermination de l'âge du changement dans la tendance de la courbe de croissance a son intérêt pratique. En effet, une ou des interventions sylvicoles doivent être programmées dans le temps pour palier ou du moins retarder cette chute dans la

vitesse de croissance si on ne peut pas l'activer positivement. La détermination de l'âge maximal de la formation du plus large cerne, ainsi que l'épaisseur de ce cerne indique que jusqu'à cet âge on ne devrait théoriquement avoir que des cernes aussi large sinon plus et que la limitation survenue antérieurement n'était pas de nature endogène à l'arbre.

Sur station fertile on devra doser le couvert et ou la densité du peuplement au plus tard avant l'âge d'occurrence de l'accroissement maximal. Sur site pauvre on devra songer, en plus, à la fertilisation artificielle par exemple si les autres conditions écologiques et "économiques" la justifie.

L'analyse des résultats obtenus pour dix stations de cèdres dans le moyen Atlas (Mezgueldi, 1992; Dahmani, 1992) montre que; la formation du plus large cerne se produit vers un âge moyen de 17 an. Cette moyenne fluctue entre les sites de 11 à 27 ans. Au niveau des arbres l'âge maximal enregistré est de 64 an. Le fléchissement de la courbe d'accroissement radial chez le cèdre devient net à partir d'un âge moyen de 38 ans et atteint un maximum de 52 ans (chez le pin d'Alep le fléchissement de la courbe de croissance se produit vers un âge moyen de 23 an avec un maximum absolu de 53 ans (Mokrim, 1990). Au niveau des arbres le maximum enregistré est de 71 ans. L'épaisseur du plus large cerne est en moyenne de 4.6 mm avec un maximum de 6.2 mm. Le maximum absolu mesuré est un cerne de 8.1mm d'épaisseur.

Taux d'accroissement moyen annuel

Sur le profil moyen le taux d'accroissement moyen annuel est de l'ordre de 1.70mm/an contre 3 mm/an pour le profil maximum. Jusqu'à un âge de 60 année, la moyenne des cernes formées est d'une épaisseur de 2.15 mm pour le profil moyen et 4.6 mm pour le profil maximum. Chez le pin d'Alep et pour le même âge (60 année) la moyenne est de 3.1 et 6.35 mm/an respectivement pour les profils moyens et les profils maximums.

Le test d'égalité des taux d'accroissement (ci-dessous) réalisé pour les six premiers sites montre que; sur le profil moyen, on distingue quatre groupes alors que sur le profil maximum, tous les sites ont des taux d'accroissement statistique égaux sauf cas du premier site. Ce résultat coule dans le même sens que notre hypothèse selon laquelle la grandeur et l'évolution du profil maximum sont moins dépendantes des conditions locales et qu'elles refléteraient beaucoup plus les potentialités génotypiques du matériel étudié.

Test d'égalité des taux d'accroissement

site	profil moyen	site	profil maximum
s2	A	s2	A
s1	B	s3	B
s3	B	s1	B
s4	B	s5	B
s5	C	s4	B
s6	D	s6	B

Rapport profil maximum/profil moyen

Le rapport courant du taux d'accroissement annuel calculé pour le profil maximum sur celui calculé pour le profil moyen donne une idée sur l'évolution temporelle de la marge d'amélioration éventuelle du taux d'accroissement annuel observé.

La figure 2, donne la représentation graphique du rapport profil maximum sur le profil moyen. Les courbes sont en forme de cloche comprimées vers la gauche. Ce rapport culmine selon les sites entre l'âge de 50 et 75 ans. La partie descendante épouse une allure d'exponentielle négative et devient à partir de l'âge de 150 à 200 ans asymptotique aux axes horizontaux de 1.3 à 1.6 fois.

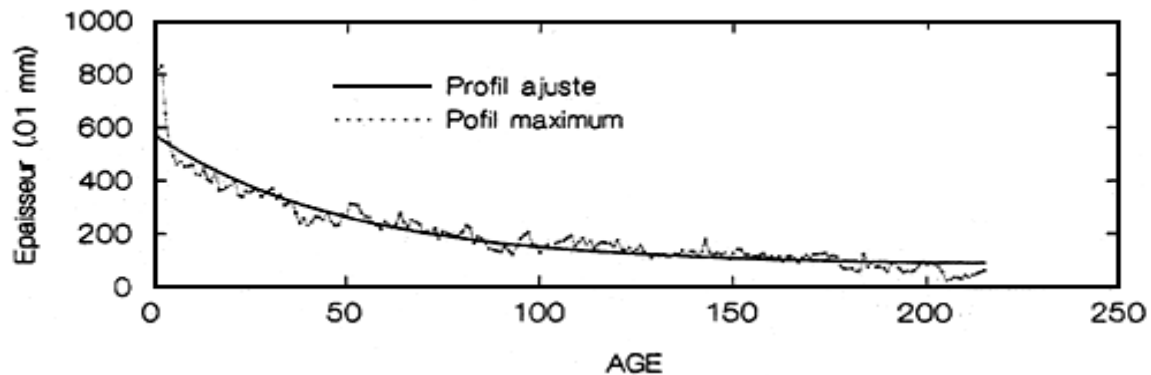


Figure 2. Ajustement du proru maximum (Site 1)

Le creusement de l'écart entre le profil maximum et le profil moyen dans la partie ascendante de la courbe résulterait du fait que les arbres dominants disposent d'un système racinaire plus développé et d'un espace vital plus étendu que le reste des arbres. Ces arbres vont exprimer au maximum leur capacité de croître et surtout de grossir. Le changement de la tendance de ce rapport peut résulter de l'entrée en action de manière séparée ou simultanée de plusieurs facteurs. Parmi les causes possibles citons:

- Cause endogène de nature génétique ou physiologiques.
- Cause en rapport avec la position sociale des arbres dominants au sein du peuplement (développement de branches latérales et du houppier qui vont concurrencer la croissance radiale.
- Cause liée à l'état de peuplement (lés arbres codominants et les arbres dominés rentrent en compétition avec les arbres dominants).

Dans la pratique s'il est vérifié que ces deux dernières causes exercent une quelconque limitation dans le processus de croissance, le sylviculteur est en mesure d'intervenir pour lever ou atténuer l'impact de cette limitation. L'âge moyen de 60 à 70 ans indique la deuxième échéance avant laquelle il faudrait intervenir pour maintenir un taux d'accroissement élevé.

La grandeur du rapport (élevé) dans le site s6 confirme que la limitation à la croissance dans ce site est de nature purement exogène à l'arbre (écologique et ou état de peuplement). Le test d'égalité des taux d'accroissement annuels pour le profil maximum avait montré que la différence de ce site par rapport aux autres n'était pas statistiquement significative.

Accroissement de la surface terrière

La nature décroissante des épaisseurs brutes peut cacher d'autres phénomènes tel que le dépérissement des arbres. Les profils de l'accroissement de la surface terrière (AST) offrent un excellent outil d'analyse et de suivi de la productivité d'un peuplement mais aussi de la vigueur des arbres. Contrairement à l'inventaire classique,

l'établissement de ces profils est rapide à partir des séries dendrochronologiques et ne se limite pas aux intervalles séparant deux inventaires. De même, il permet au forestier de reconstituer l'historique de la productivité du peuplement.

Les profils de l'AST sont exploités de la même manière que les profils moyens et maximums. Ils permettent de comparer la productivité et la fertilité des sites tout en indiquant les phases critiques dans le développement du peuplement. L'AST est plus sensible aux changements et fluctuations de la concurrence que les profils linéaires de l'épaisseur de cernes (Doyle, 1987).

Les profils individuels de l'AST (pour des arbres individuels) montrent:

- Le statut social de l'arbre (dominant, dominé,...) et son évolution avec l'âge. En effet, le sens et la valeur de la pente de la courbe, parallèlement avec la série chronologique, reflètent ce statut.

- L'état sanitaire général et l'évolution temporelle de la vigueur des arbres.

A l'échelle d'un peuplement, les profils de l'AST épousent une allure sigmoïdale et sont bien ajustés par la fonction Weibul (Federer et Hornbeck, 1987). La pente des profils constitue un excellent indicateur de la qualité du site (Phipps et Whiton, 1988; Federer et Hornbeck, 1987; Mezgueldi, 1992). Les profils d'AST montrent une première phase de croissance plus ou moins rapide avant de plafonner. L'explication de cette évolution et l'intérêt pratique (sylvicole) à déduire de cette évolution sont similaires des développements sus rapportés à propos de l'étude des profils de croissance.

Pour l'intérêt de la pente de l'AST dans la caractérisation de la qualité du site, Phipps et Whiton (1988) adoptent la classification suivante:

- Une pente de valeur inférieure à 0.1 indique que c'est une station relativement de moindre qualité.

- Une pente de valeur comprise entre 0.1 et 0.2 indique une qualité moyenne ou modérée.

- Une pente de valeur supérieure à 0.2 indique une bonne station.

Le travail de Mezgueldi semble réconforter cette classification pour le cèdre. Ainsi les six premiers sites sont classés d'après la valeur de la pente de l'AST comme suit:

la pente a qualité	$a < 0.1$	$0.1 < a < 0.2$	$a > 0.2$
du site	Pauvre	Modérée	Bonne
classification		$s_5 > s_3 > s_6$	$s_2 > s_1 > s_4$

RECONSTITUTION DE L'HISTORIQUE DES PEUPELEMENTS

Identification et ampleur des facteurs perturbants

La réponse de l'arbre aux perturbations peut être similaire malgré la diversité des facteurs. Néanmoins, l'examen minutieux des séries chronologiques des épaisseurs de cernes et des profils de l'AST peut nous aider à identifier la nature des facteurs perturbants, la date de leur occurrence, leur intensité, leur fréquence etc...

- Feu: son action se manifeste par un resserrement de la croissance radiale des pieds brûlés. Afin de lever toute équivoque, ces arbres sont identifiés par la blessure carbonisée qu'ils gardent. Sur l'ensemble d'un peuplement, l'action d'un feu peut se révéler bénéfique pour les arbres résistants et non brûlés. La réduction de la densité et

de la concurrence et la libération des éléments minéraux stimulent la croissance du peuplement restant sur lequel on observe un relâchement de la croissance en synchronisation avec son resserrement dans les sujets atteints. Ainsi identifié, on peut alors établir le régime des incendies: fréquence, intensité (extension spatiale et ampleur de resserrement), et intervalle de récurrence (Sheppard et Lassoie, 1987; Banks, 1987; Pruden et *Al.*, 1987). Dans les cédraies marocaines, le feu semble être un des moteurs de la dynamique des peuplements et de leur croissance. Lors des tournées et compagnes d'échantillonnage, nous avons observé plusieurs pieds brûlés. Les carottes de cèdre datées et mesurées, montrent plusieurs cernes à tissu traumatique. Ceux-ci peuvent indiquer l'occurrence d'un feu, d'un gel ou d'autre blessure. Nous disposons donc de tous les éléments pour entreprendre une reconstitution dendrochronologique du régime des feux dans les cédraies du Maroc.

- **Attaques parasitaires:** le plus souvent, elles entraînent la défoliation des cimes et une perte de croissance proportionnelle. La démarche dendrochronologique a toujours été d'étudier la population atteinte relativement à une population contrôlée saine et vivant dans les mêmes conditions écologiques et ayant la même réponse aux fluctuations des facteurs de l'environnement (Brubaker, 1987; Swetnam, 1987). Les cédraies n'échappent pas à ces attaques (M'hirit, 1987; Anon, 1980; Chararas, 1980; Cervera et *Al.*, 1981). La dendrochronologie peut apporter des informations essentielles et complémentaires concernant les cycles biologiques des parasites, l'ampleur des attaques et les pertes occasionnées.

- **Autres perturbations:** L'examen des séries chronologiques et des profils de l'AST permet d'identifier les périodes de resserrement et de relâchement de la croissance, d'examiner leur concordance dans le temps, et d'estimer l'ampleur de la perturbation (Lorimer, 1985; Brubaker, 1987). La méthodologie arrêtée par Lorimer (1985) permet d'isoler les différents facteurs et de reconstituer l'historique du site. La figure 3 montre la faisabilité de la technique. Par ailleurs, cette analyse est complétée par la distribution de l'âge établie par datation croisée. L'approche forestière classique basée sur le comptage des cernes et le diamètre est sujette à de nombreuses sources d'erreurs. Norton et Ogden (1991) résument ces sources d'erreurs en quatre:

- **formation de cernes anormaux:** faux cernes, cerne absent, présence de plages à cernes extrêmement minces. Ceci est particulièrement vrai pour les vieilles cédraies du Moyen et Haut Atlas.

- **Carottes partielles:** plusieurs carottes n'atteignent pas le centre de l'arbre suite au mauvais alignement de la carotte, à la longueur des tarières et la pourriture du cœur (M'jej pour le cèdre).

- **Age à la hauteur d'échantillonnage:** les conditions d'installation et de survie des semis sont variables et donnent lieu à des fourchettes d'âge trop dispersées pour être d'une quelconque utilité pratique. Norton (1983) et Ogden (1983) (in Norton et Ogden 1991) rapportent pour des plants haut de 1m, des fourchettes d'âge de 35 à 103 ans pour *Libocedrus bidwillii* et 8-29 ans pour *Aghatis australis*.

- **Relation diamètre-âge:** même statistiquement significative cette relation est incertaine. D'abord, elle se base sur des âges incertains. En plus, au sein de la même classe, le diamètre montre une grande variabilité. Norton (1983) (in Norton et Ogden, 1991) rapporte une fourchette de 200 ans pour un diamètre de 10 cm.

Le recours aux méthodes dendrochronologiques, dans le respect de ses principes de base, permettra de résoudre bon nombre de ces difficultés.

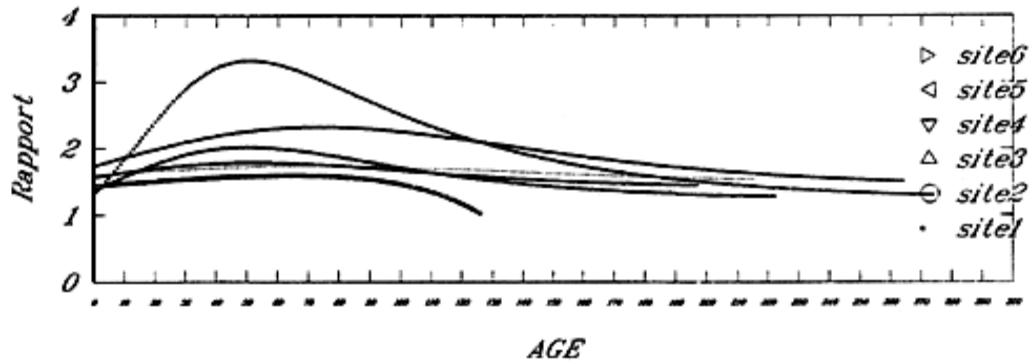


Figure 3. Evolution du rapport profil maximum sur profil moyen

Reconstitution de la dynamique des peuplements

L'approche méthodologique de Lorimer (1985) et Brubaker (1987) fait appel à:

- L'identification des perturbations par leurs signes extérieurs: lésion carbonisée, dissymétrie des houppiers, défoliation, état de sol, témoins biologiques anciens (anciens troncs, souches...).
- La distribution de l'âge: celle ci montre la mosaïque du peuplement et renseigne sur son stade d'évolution. Les cohortes d'âge correspondant aux périodes de régénération naturelle peuvent indiquer les régimes des perturbations et dans le cas du cèdre apporter une contribution originale à la problématique de sa régénération.
- L'identification physiologique des perturbations par l'analyse des séries dendrochronologiques. L'examen des profils de l'AST s'inscrit dans le même cadre (Phipps et Whiton, 1988; Federer et Horbeck, 1987; Mezgueldi, 1992).
- L'examen structural du couvert: l'homogénéité du couvert semble indiquer des perturbations intenses et généralisées. Des méthodes quantitatives pour l'étude et la caractérisation de la structure du couvert seraient les bienvenues.
- La distribution des diamètres: celle ci va de pair avec celle de l'âge. Son interprétation reste assez délicate vue la grande variabilité des taux de croissance.

On constate donc que la dendrochronologie constitue une plaque tournante dans la reconstitution de la dynamique des peuplements. Pour ces fins, une nouvelle approche capable de cerner l'ensemble de ces facteurs et problèmes et d'apporter des éléments de réponse irréfutables est à élaborer et adopter.

NOUVELLE APPROCHE METHODOLOGIQUE

La démarche dendrochronologique classique doit être reconsidérée à plusieurs niveaux: choix des sites et échantillonnage, description des sites, descripteurs de la croissance radiale et standardisation.

Choix des sites et échantillonnage

Le plan d'échantillonnage est établi, cas par cas, en fonction des objectifs assignés à l'étude, des spécificités de la zone d'étude, mais aussi en fonction des contraintes techniques et financières. Les dendrochronologues ont toujours cherché des sites marginaux et stressés avec de vieux sujets. La qualité du signal climatique et la longueur des séries ont motivé cette politique. Pour étudier la dynamique de la croissance, Lorimer (1985), Brubaker (1987) et Doyle (1987) proposent une démarche générale qui consiste à:

- Identifier les groupements forestiers homogènes des points des vue climatique, édaphique et végétationnel. Les gradients et contrastes écologiques sont d'une grande utilité lors de la conception et mise en place du protocole expérimental.

- Procéder au choix et à la mise en place de placettes d'échantillonnage. La couverture spatiale du protocole expérimental doit permettre l'estimation et la reconstitution des facteurs de la dynamique dans leur caractère et composante régionaux. Une certaine contiguïté des placettes est à observer. De même, une population contrôle devrait toujours figurer dans le plan d'échantillonnage. La taille des placettes dépendra des formations forestières étudiées. Doyle (1987) propose des placettes de 1.5 ha. De son côté, Lorimer (1985) a trouvé que des placettes de 0.5 ha étaient suffisantes tant qu'elles contenaient 75 à 125 arbres dominants ou codominants avec un DHP supérieur à 15 cm. Le chercheur est libre de subdiviser la placette en sous-placettes.

Description des peuplements et échantillons

Le chercheur est tenu de relever toute observation pouvant faciliter l'interprétation des résultats et la reconstitution de l'historique des sites, et ce à deux niveaux:

- Identifier le centre de la placette et procéder à la description systématique de tout le peuplement avec le numéro de l'arbre, le code de l'espèce, le diamètre à hauteur de poitrine (DHP), la position par rapport au centre, la position, hauteur et symétrie du houppier, l'état sanitaire, la nature et la gravité des blessures et/ou anomalie. La cartographie est donnée par la distance du centre et de l'azimut (angle horizontal par rapport au nord magnétique) de tous les arbres à DHP supérieur à 2.54 cm (Doyle, 1987). Reed et Al. (1989) rapportent une autre méthode de cartographie simple, fiable et rapide.

- Carotter tous les arbres ayant un diamètre supérieur à 15 cm dans un rayon de 10 m autour du centre, quelque soient leur âge et degré de sensibilité. L'opération de carottage est à conduire avec précaution afin d'atteindre le centre des arbres. S'il le faut, on peut même envisager l'extraction des carottes au niveau du sol et à hauteur de poitrine.

Description du phénomène de croissance

Pour décrire le phénomène de croissance radiale, plusieurs variables ont été utilisées. Il s'agit de l'épaisseur des cernes, l'épaisseur du bois initial et du bois final, leur densité, du diamètre des vaisseaux et de leur fréquence.

Il est d'usage fréquent de mesurer l'épaisseur totale des cernes et de tracer les profils de la croissance radiale. Cette méthode étant facile et moins onéreuse que les autres. A partir de ces données, on calcule les accroissements de la surface terrière. Nous avons déjà montré l'utilité de ces profils de la croissance radiale et de l'AST. Pour compléter la panoplie des descripteurs, Waring et Oren (1987) et Doyles (1987) soulignent l'importance de l'aubier et de l'évolution de son accroissement avec l'âge. Enfin la distribution spatio-temporelle des cernes caractéristiques (cernes minces, tissus traumatiques...) peut apporter un complément substantiel dans la mise en évidence des régimes de perturbations.

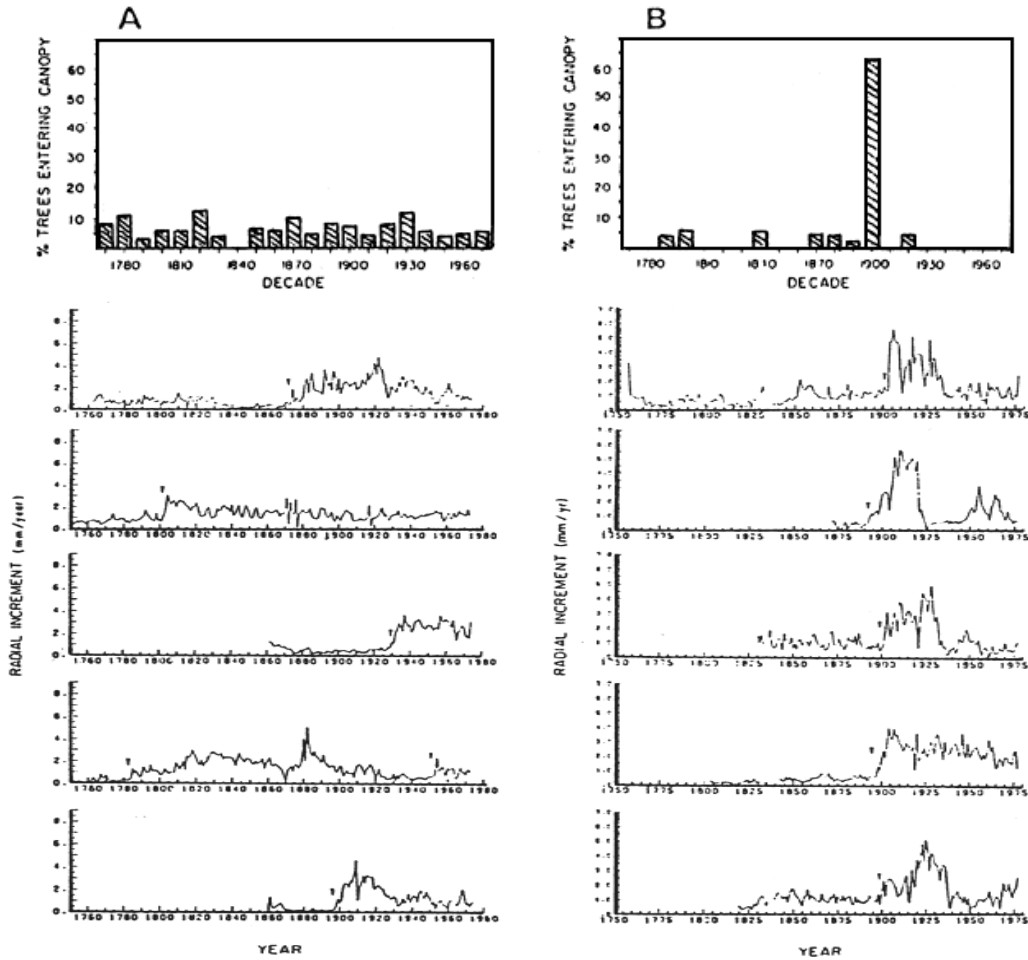


Figure 4: A. In a balanced, all-aged forest, a small proportion of trees should show evidence of sudden release from suppression or rapid initial growth in each decade. B. In a stand that developed following destruction of many or most canopy trees, synchronous releases from suppression can be expected. Graphs below the histograms depict typical radial increment graphs for individual trees. (After Lorimer, 1980, 1983).

Standardisation

Les méthodes développées par Cook (1985, 1987) sont parfaitement adaptées à toutes les situations et éventualités. Les bruits à filtrer sont l'effet de l'âge et le signal climatique. Pour ce qui est de l'effet âge, la méthode des profils moyens semble la plus appropriée et montre pour une grande variété de milieux forestiers la suprématie de l'exponentielle négative dans l'ajustement (Dahmani, 1992; Mezgueldi, 1992). Nous suggérons donc que parmi la panoplie des fonctions de lissage (splines, polynomiales, droites, Huggershoff ...) de choisir systématiquement l'exponentielle négative. La décomposition de Cook (1985, 1987) basée sur les profils d'autocorrélations individuelles et moyennes, permet d'isoler les sources de variabilités, et il suffit donc de retenir ces signaux pour un examen détaillé.

BIBLIOGRAPHIE

- Banks J.C.G., (1987). Fire and stand histories in subalpine forests on the thredoski slopes, Koscuite National Park, N.S.W. Australia. In proceeding of the international symposium on ecological aspects of tree-ring analysis, Tarrytown, N.Y., August 17-21, 1986.
- Brubaker L.B., (1987). Forest disturbance and tree-ring analysis. In proceeding of the international symposium on ecological aspects of tree-ring analysis, Tarrytown, N.Y., August 17-21, 1986.
- Chbouki N., (1992). Spatio-temporal characteristics of drought as inferred from tree-ring data in Morocco. Ph.D Dissertation, University of Arizona, Tucson, Arizona.
- Christensen K., (1987). Tree rings and insects: the influence of cockchafers on the development of growth rings in oak trees. In proceeding of the international symposium on ecological aspects of tree-ring analysis, Tarrytown, N. Y., August 17-21, 1986.
- Cook E.R., (1987). On the disaggregation of tree-ring series for environmental studies. In proceeding of the international symposium on ecological aspects of tree-ring analysis, Tarrytown, N.Y., August 17-21, 1986.
- Dahmani K., (1992). Etude de l'accroissement radial du cèdre et de ses relations avec les facteurs climatiques. Mémoire de 3ème cycle, IAV Hasan II, Rabat.
- Doyle T.W., (1987). A dendroecological approach for studying inter tree competition. In proceeding of the international symposium on ecological aspects of tree-ring analysis, Tarrytown, N.Y., August 17-21, 1986. 45-53.
- Eis S., Garman E.H. and Ebell L.F., (1965). Relation between cone production and diameter increment of douglas fir (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco), gran fir (*Abies grandis* (Doug.) Lindl.), and western white pine (*Pinus Monticola* Doug.). Canadian journal of botany, 43, 1533-1559.
- Federer C.A. and Hornbeck J.W., (1987). Red spruce diameter growth and weibul functions for even-aged stand development. In proceeding of the international symposium on ecological a Y., August 17-21, 1986. 18-25.
- Lorimer C.G., (1985). Methodological considerations in the analysis of forest disturbance history. Canadian Journal of Forest Research. 15, 200-213.
- Mezgueldi A., (1992). Etude dendrochronologique de la croissance radiale du cèdre dans la forêt d'Itzer et Kerrouchen. Mémoire de 3ème cycle, IAV Hassan II, Rabat.
- M'hirit O., (1987). Etat actuel des connaissances sur le cèdre. Eléments pour un programme de recherche. Rapport pour le comité CFA/CEF/CFPO des questions forestières méditerranéennes" *Silva Mediterranea*", 38 +38p.
- Mokrim A., (1990). Contribution à l'étude dendrochronologique du pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill.) naturel et de la variabilité pluviométrique au Maroc. Thèse d'état Université Catholique de Louvain 174p
- Northon D.A. and Ogden J., (1991). Problems with the use of tree rings in the study of forest population dynamics. In methods og dendrochronology: application in the environment sciences. Cook, E.R. academic Publishers, Dordrecht, 284-288.

- Phipps R.L. and Whiton J.C., (1988). Decline in long terms growth trends of White oak. Canadian journal of forest research, 18, 24-32.
- Pruden M.A., Fryer G.I. and Johnson E.A., (1987). Fire frequency and old trees in the Southern Canadian Rockies. In proceeding of the international symposium on ecological aspects of tree-ring analysis, Tarrytown, N.Y., August 17-21, 1986. 175-179.
- Reed D.D., Liechty H.O. and Burton A.J., (1989). A simple procedure for mapping tree locations in forest stands. Forest Science, 35(3), 657-6662.
- Sheppard P.R. and Lassoie J.P., (1987). Fire history of lodgepole pine of Mt. San Jacinto, Calofornia. In proceeding of the international symposium on ecological aspects of tree-ring analysis, Tarrytown, N.Y., August 17-21,1986. 155-162.
- Stockton C.W., (1988). Current research progress toward un derstanding drought. In proceeding of "Drought, water management and food production."
- Swetnam T.W., (1987). Western spruce budworm outbreaks in northrn New Mexico: tree-ring evidence of occurrence and radial growth impacts from 1700 to 1983. In proceeding of the international symposium on ecological aspects of tree-ring analysis, Tarrytown, N.Y., August 17-21, 1986. 130-141.
- Till C, (1985). Recherches dendrochronologiques sur le cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* (Endl.) Carriere.) au Maroc. Ph.D. Thesis. U.C.L. Louvain-la-Neuve, Belgium.
- Waring R.H. and Oren R., (1987). New analysis of branches, boles, and roots for predicting historical changes in photosynthesisi, respiration, and carbon allocation below ground. In proceeding of the international symposium on ecological aspects of tree-ring analysis, Tarrytown, N.Y., August 17-21, 1986. 1-5.