

Propriétés technologiques du bois de cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* Manetti)

par Khalid EL AZZOUZI (1) et René KELLER (2)

Cet article est un résumé d'une étude originale (El Azzouzi, 1992, 1994, 1995) complétée par une synthèse bibliographique qui regroupe pratiquement toutes les études réalisées jusqu'à ce jour sur la qualité du bois de cèdre en général et du cèdre de l'Atlas en particulier.

Le cèdre de l'Atlas représente la principale source du bois d'œuvre au Maroc (80 % de la production nationale). Il y est présent sur 132 000 ha. En France, le cèdre de l'Atlas est très largement utilisé dans les reboisements depuis plusieurs années, sa surface d'extension potentielle est évaluée à environ 200 000 ha dans la région méditerranéenne.

Cette espèce a fait l'objet de plusieurs recherches qui étaient surtout consacrées aux problèmes liés à la régénération, que ce soit du point de vue écologique ou socio-économique. Tel est l'objectif majeur de tout aménagement forestier de la cédraie marocaine par exemple. Des études de pro-

ductivité ont été réalisées en France comme au Maroc depuis quelques années. Malheureusement la littérature consacrée aux études sur la qualité de son bois est très peu abondante.

Le cèdre est vénéré depuis la plus haute antiquité, non seulement pour son utilisation, mais aussi sa vigueur et sa longévité, il est un symbole de majesté et de force. Le bois de cèdre est caractérisé par sa durabilité naturelle très élevée et par son odeur aromatique marquée et persistante. Les rares auteurs qui se sont intéressés à l'étude de la qualité du bois de cèdre de l'Atlas, ont montré que ce bois mérite une attention toute particulière car il possède des qualités qui peuvent concurrencer tous les résineux des régions tempérées qui ont bénéficié d'une recherche assez large sur la qualité de leur bois et de l'application de ses résultats.

Dans cet article nous avons essayé :

- d'apporter aux sylviculteurs et aux utilisateurs du bois de cèdre de l'Atlas une meilleure connaissance sur sa qualité ; une comparaison faite à partir de la littérature, a pour objectif de donner une idée sur les possibilités de valorisation industrielle de ce bois ;

- de faire des comparaisons de la qualité du bois entre les cèdres issus de peuplements naturels marocains et de reboisements français ;

- d'évaluer l'effet de la sylviculture et du type de substrat sur la variation de la qualité du bois de cèdre. D'abord nous allons voir l'effet du mode de traitement et des types de substrats, sur cette variabilité ; ensuite nous allons analyser l'effet des modalités d'éclaircies sur la variabilité de la qualité du bois.

Ces objectifs vont nous permettre de donner aux sylviculteurs des indications sur la variabilité de la qualité du bois en relation avec les différents traitements sylvicoles appliqués à la cédraie, de façon à mieux définir la fréquence des interventions dans les peuplements et programmer les traitements dans le temps.

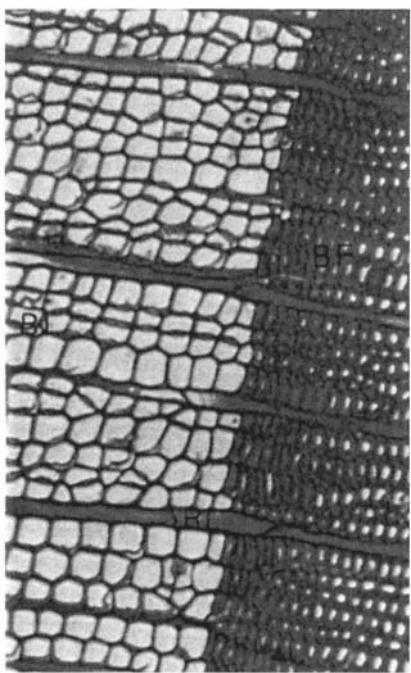
Pour réaliser ce travail, nous avons effectué des échantillonnages non destructifs de part et d'autre de la Méditerranée. Nous avons sondé au total 365 arbres à raison de deux carottes diamétralement opposées par arbres, ce qui nous donne un total de 730 carottes. Nous avons réalisé deux types d'échantillonnages :

- 1/ le premier échantillonnage est fonction du mode de traitement (futaie régulière et futaie jardinée) et du type de substrat (basalte et calcaire) ;

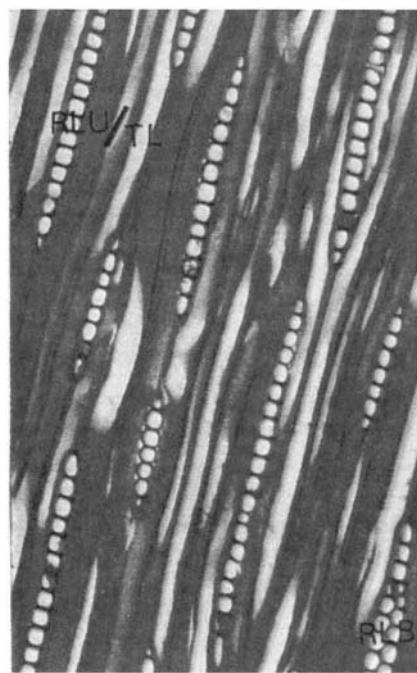
- 2/ le deuxième échantillonnage est fonction des modalités d'éclaircies à l'intérieur de trois placettes expérimentales suivies depuis plusieurs années

1.- Formation post-doctorale à l'ENGREF

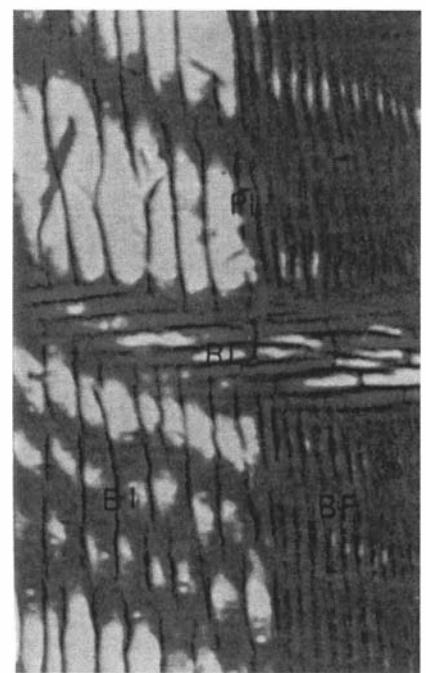
2. - Directeur du Laboratoire de Recherches en Sciences Forestières ENGREF, 14, rue Girardet, C.S. 24216, 4042 Nancy-cédex T. 03 83 39 68 00 ; F. 03 83 32 73 81



a: Coupe transversale



b: Coupe tangentielle

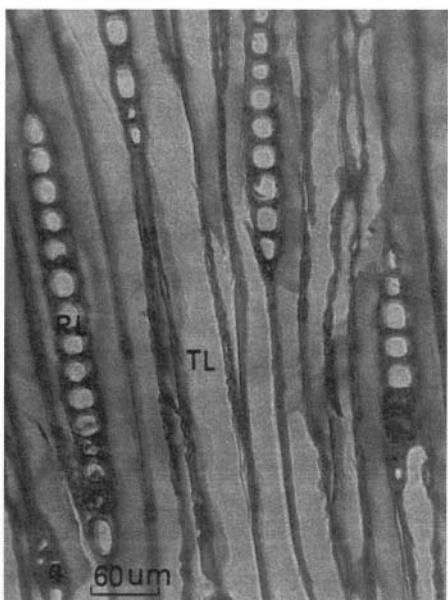


c: Coupe radiale

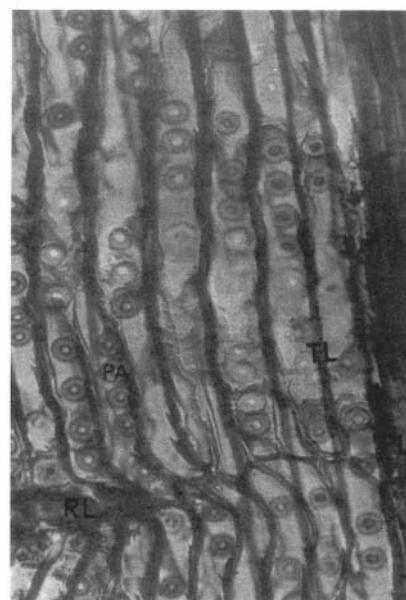
Figure 1 : Les trois sections du plan ligneux du bois de cèdre de l'Atlas

échelle : 150 µm

BI : bois initial ; BF : bois final ; TL : trachéides ; PA : ponctuations aréolées ; RL : rayons ligneux
 RLU : rayons ligneux unisérié ; RLB : rayon ligneux bisérié ; PL : parenchyme vertical
 CTL : canaux traumatiques longitudinaux ; CTR : canaux traumatiques radiaux



a: Coupe tangentielle



b: Coupe radiale

Figure 2 : Vue des rayons ligneux sur deux sections du plan ligneux.

par la DREF (pour le Maroc) et l'INRA (pour la France).

L'étude de la qualité du bois a concerné plusieurs propriétés que nous avons jugées intéressantes dans le cas du cèdre, au vu de ses utilisations actuelles et potentielles.

Les caractéristiques prises en considération dans ce travail sont :

- l'anatomie qui permet la caractérisation de chaque espèce forestière et met en évidence quelques explications pour la variabilité de certaines propriétés.

- la vitesse de croissance qui permet de mettre en évidence l'évolution de la production en fonction de la sylviculture et de milieu ;

- la densité qui conditionne plusieurs propriétés physiques et surtout mécaniques du matériau ;

- le retrait qui caractérise les variations dimensionnelles du bois vis-à-vis de l'humidité ambiante ;

- la couleur et la duraminisation qui qualifient l'aspect esthétique du bois ;

- le taux de résine et d'extraits à l'eau, qui peuvent jouer un rôle dans la variation de certaines propriétés causant parfois des difficultés lors de la transformation du bois.

Aspect général et anatomie

L'identification de la qualité du bois du cèdre de l'Atlas a été réalisée sur les trois sections d'orthotropie formant le plan ligneux à savoir les sections transversale, tangentielle et radiale (figure 1).

La première constatation qu'on peut faire sur du cèdre de l'Atlas scié, raboté, c'est cette odeur magnifique qui se dégage de son bois et qui persiste pendant longtemps. On a constaté que cette odeur est quasiment absente de l'aubier et qu'au fur et à mesure qu'on s'approche du cœur elle devient plus forte. Entre le cèdre du Moyen Atlas et celui du Rialsesse et du Luberon nous avons constaté une différence d'odeur, ce qui signifie que la provenance pourrait avoir un effet sur l'odeur du bois de cèdre. Il s'agirait probablement d'une substance chimique, malheureusement méconnue, qui aurait des pro-

	Provenance	Traitement	Zone	Diamètre des lumens moyen (μm)	Surface des lumens moyenne(μm ²)
Sehbe (Maroc)	Témoin		bois initial	30	662
			bois final	11	109
Rialsesse	Eclaircie moyenne		bois initial	31	765
			bois final	13	163
Luberon	Eclaircie très forte		bois initial	33	835
			bois final	14	174
Témoin			bois initial	27	534
			bois final	12	132
Eclaircie faible			bois initial	33	835
			bois final	14	177
Eclaircie forte			bois initial	36	1008
			bois final	12	180
Témoin			bois initial	22	383
			bois final	11	98
Eclaircie moyenne			bois initial	28	611
			bois final	13	149

Tableau 1 : Comparaison des caractéristiques des trachéides dans le bois initial et dans le bois final entre différentes modalités d'éclaircies. Deuxième échantillonnage (moyenne mesurée sur une surface de 216 664 μm²)

priétés répulsives vis-à-vis des mites. L'identification de cette substance serait à notre avis très intéressante.

Les examens macro- et microscopiques ont été faits sur du bois massif et sur des coupes anatomiques réalisées dans les trois directions du plan ligneux. Le but de cette étude est d'apporter d'abord un complément à l'identification du bois de cèdre de l'Atlas et de voir comment réagirait la structure anatomique aux différents types de sylviculture.

Examen macroscopique

Sur la section transversale d'une grume, on distingue, de l'extérieur vers le centre trois zones : une zone très brune qui forme une écorce bien développée et dont l'épaisseur peut

atteindre 19 mm en moyenne, une zone claire formée par l'aubier regroupant une vingtaine de cernes en moyenne (cas de notre échantillonnage), et une zone brun rougeâtre, le duramen, dont la proportion peut atteindre 69 % en moyenne sur le rayon de la section transversale (écorce exclue). La limite entre l'aubier et le duramen est très nette puisqu'on n'observe pas de zone intermédiaire, par contre cette limite est irrégulière sur la section, ceci est certainement dû à la présence d'un certain nombre de cellules de parenchyme de rayons qui sont toujours vivantes dans les parties les moins colorées. Sur cette section toujours, on constate que les accroissements annuels sont bien délimités grâce à la présence d'une zone de bois final plus coloré et plus dense que le

bois initial. La texture du bois de cèdre est assez forte, la proportion de bois final est d'autant plus forte que la largeur de cerne est grande (effet des éclaircies pour les cas du Sehbe et du Rialsesse).

Sur une section transversale ou radiale, les rayons ligneux sont bien distincts à l'oeil nu à condition que la surface du bois soit bien polie sinon on les observe plus nettement sur coupes microscopiques; sur une section tangentielle on ne peut les distinguer qu'à un grossissement de 6x. Ils sont nombreux. Sur les trois sections on distingue parfois des limites continues ou discontinues qui sont beaucoup plus marquées sur les sections radiale et transversale ; il s'agit des canaux traumatiques groupés en série tangentielles et qui sont visibles à l'oeil nu, mais plus nettement à la loupe avec un grossissement de 2x et plus nettement encore sur coupes microscopiques.

Examen microscopique

Comme chez tous les résineux, les trachéides longitudinales forment la plus grande masse du bois de cèdre de l'Atlas. Dans le tableau n°1, nous avons présenté les valeurs moyennes des diamètres des trachéides ainsi que leurs surfaces et ce en fonction des provenances et des modalités d'éclaircie. Ce résultat, nous montre que le diamètre et la surface des trachéides sont très faibles dans le bois final, ce qui signifie que leurs parois sont très épaisses. Dans le bois initial comme le bois final on constate que le diamètre et la surface des trachéides ont tendance à augmenter avec les éclaircies. De nombreuses ponctuations ont été observées sur les coupes anatomiques. Les ponctuations aréolées sont très nombreuses, grandes et circulaires vues sur une section radiale (figure 2). Sur une section tangentielle, ces ponctuations présentent un épaissement des parois cellulaires et forment ce qu'on appelle un torus qui est épais dans la partie centrale de la membrane de la ponctuation. Il peut présenter un bord crénelé, d'où le nom de torus lobé. Ce torus lobé est une caractéristique du bois de cèdre. Parfois on trouve des petites ponctuations aréolées sur des parois radiales du bois final et parfois même sur des parois tangentielles.

Facteur		Moyenne(mm)	Ecart-type	ddl	Test F
Substrat	Basalte	3,52	0,58	1	13,42***
	Calcaire	3,10	0,55		
Mode de traitement	Amélioration	3,35	0,56	2	0,17 NS
	Régénération	3,22	0,70		
	Jardinage	3,50	0,48		

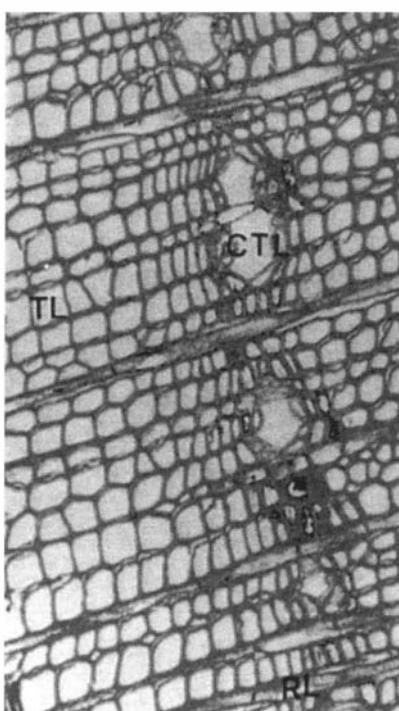
Tableau 2 : Analyse de variance : étude de la largeur moyenne de cernes (125 arbres).

Les trachéides peuvent atteindre d'après Quiquandon (1976) une longueur de 2920 µm, qui avoisine celle de l'épicéa commun. L'épaisseur des parois cellulaires est de l'ordre de 5 µm.

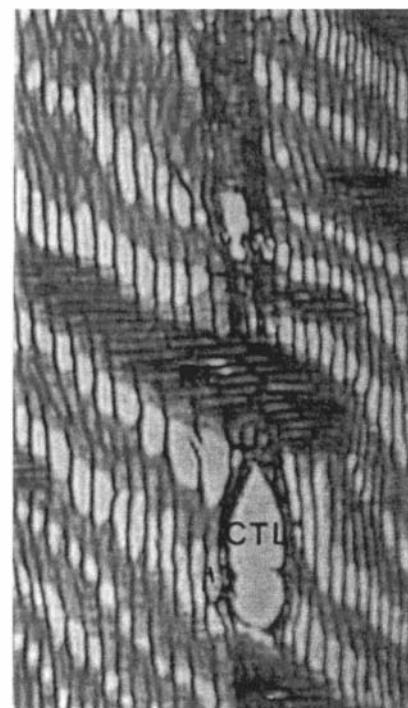
Les rayons ligneux sont nombreux dans le bois de cèdre de l'Atlas. Ils sont unisériés ou bisériés (figure 2). Leur hauteur maximale d'après Venet (1986 op. cit.) ne dépasse pas 50 cellules ; ici nous avons trouvé une hauteur maximale de 39 cellules.

Les parois transversales et tangentielles des cellules du parenchyme des rayons sont épaisses et abondamment

ponctuées (figure 2). Sur une section radiale, nous avons trouvé des trachéides transversales peu nombreuses et qui font partie du rayon ligneux. Elles présentent des petites ponctuations aréolées sur leurs parois radiales et tangentielles. Ces dernières sont très minces. Toujours sur une section radiale, les rayons ligneux présentent des indentures et leur champ de croisement avec les trachéides verticales présente 2 à 5 ponctuations taxodioïdes ou cupressoïdes. Ces rayons ligneux sont donc hétérogènes. Leur nombre moyen sur une largeur de 5 mm est de 32 rayons (c'est une moyenne mesurée sur un ensemble de



a: Coupe transversale



b: Coupe radiale

Figure 3 : Canaux traumatiques dans le bois de cèdre

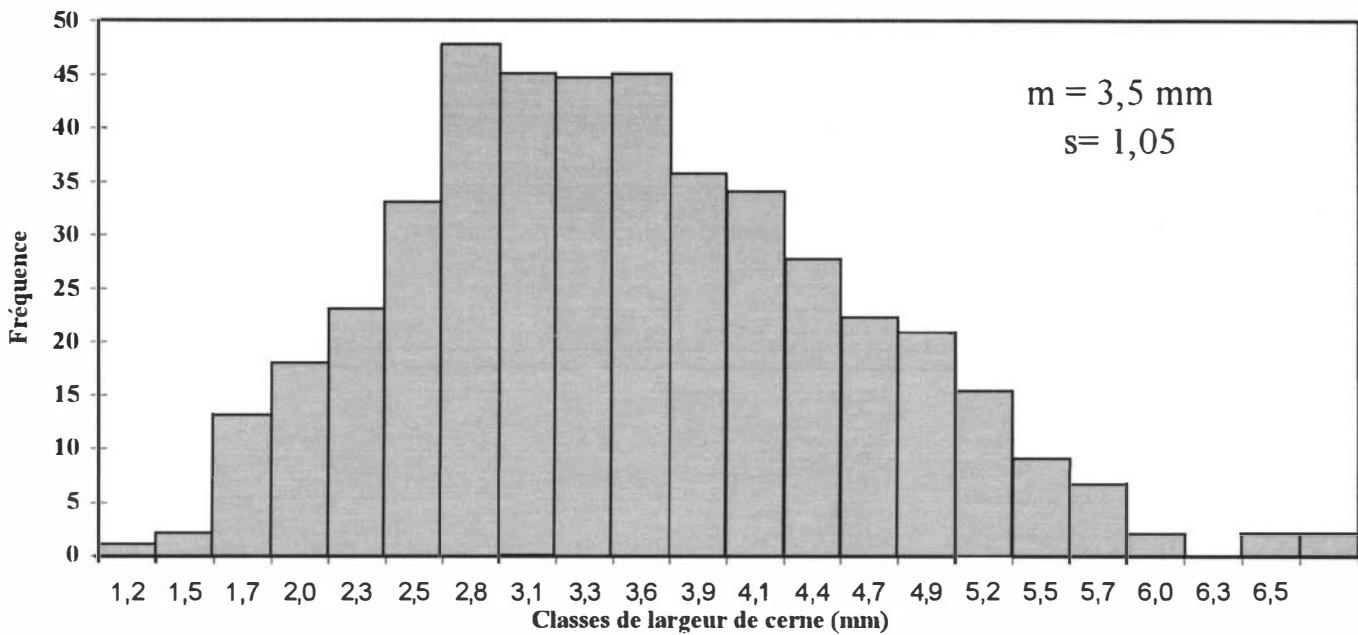


Figure 4 : Histogramme de fréquence des largeurs moyennes de cernes pour le premier échantillonnage (443 individus)

114 cernes correspondant à 13 individus). Le nombre de rayons ligneux ne varie pas avec le type du substrat ou la sylviculture puisqu'on a retrouvé toujours le même nombre de rayons quel que soit le type du substrat ou le traitement sylvicole appliqué. La seule différence a été constatée entre les trois provenances avec 36 rayons pour le Luberon, 32 pour le Sehbe et 31 pour le Rialsesse. A l'intérieur de l'arbre le nombre de rayons ligneux est toujours le même quelle que soit la zone de mesure dans le bois.

Nous avons aussi trouvé des cellules du parenchyme axial à la limite du bois final et du bois initial (figure 2).

Le bois de cèdre ne présente pas de canaux résinifères normaux, les seuls canaux résinifères possibles étant traumatiques. Les canaux traumatiques longitudinaux sont généralement formés à la suite d'une blessure de l'assise cambiale. Ils sont groupés en série tangentielle. Ils sont formés par des espaces intercellulaires tubulaires, de longueur indéterminée, autour desquels on trouve une couche de cellules sécrétrices épithéliales (figure 3). Nous avons mis en évidence sur une section tangentielle des canaux traumatiques radiaux (généralement très rares). Ils sont très larges et toujours isolés contrairement aux canaux longitudinaux.

La largeur de cerne

La largeur de cerne (sous-entendu la croissance annuelle sur le rayon de l'arbre) est un facteur de première importance pour le sylviculteur et l'utilisateur dans la mesure où celle-ci reflète et conditionne la production en volume du bois. Ce facteur est étroitement lié aux propriétés physiques et mécaniques du matériau bois. C'est donc un paramètre qui revêt un intérêt particulier surtout dans notre cas puisque nous étudions les relations qui peuvent exister entre la sylviculture et quelques propriétés physiques, chimiques, anatomiques et esthétiques.

Premier échantillonnage: effet du mode de traitement et du substrat

La mesure de la largeur moyenne des cernes pour ce premier échantillonnage a été effectuée sur 125 arbres (à raison de 25 arbres par traitement-substrat). La valeur moyenne de la largeur moyenne de cernes est de l'ordre de 3,4 mm, cette valeur correspond à un âge moyen de 58 ans. Nous rappelons à ce titre que les arbres issus du substrat calcaire sont plus âgés que ceux du substrat basaltique avec des valeurs respectives de 62 et 54 ans.

Par comparaison avec d'autres résineux cités par Nepveu et al. (1989, op. cit.), nous pouvons dire que le cèdre de l'Atlas se comporte plutôt bien. Il présente la même largeur moyenne de cernes que l'épicéa et le sapin avec 3,4 mm (en excluant l'épicéa de Sitka qui peut atteindre une valeur de 9 mm), légèrement supérieure à celle du pin sylvestre (3,2 mm) et légèrement inférieure au pin maritime (3,7 mm); mais elle est nettement inférieure aux 6 mm du douglas.

La variabilité de largeur moyenne des cernes étudiée sur des zones délimitées à dix cernes depuis l'écorce jusqu'à la moelle (ce qui donne 443 zones ou individus) est représentée sous forme d'histogramme de fréquences (figure 4) où nous constatons que cette variabilité s'approche d'une courbe gaussienne avec une légère dissymétrie vers les valeurs plus élevées, due certainement aux valeurs élevées du côté du cœur. Il faut aussi noter que près de 75 % de notre échantillonnage possèdent une largeur moyenne de cernes comprise entre 2,5 et 4,5 mm.

Après une analyse de variance (tableau 2), nous avons constaté une différence significative de l'ordre de 1 % entre les deux substrats et c'est sur le substrat basaltique que le cèdre de l'Atlas pousse le mieux avec une différence d'environ 0,50 mm par an par rapport au substrat calcaire. Cette dif-

férence pourrait être expliquée par le fait que le substrat basaltique se caractérise par une richesse de sol beaucoup plus élevée que celle du substrat calcaire. Nous n'avons pas constaté de différence significative (tableau 2) entre les modes de traitement.

Afin de voir l'évolution de la largeur de cernes en fonction de l'âge, nous avons délimité nos carottes en zones de dix cernes depuis la moelle jusqu'à l'écorce et sur chacune de ces zones, nous avons calculé la largeur moyenne des cernes correspondants. Le résultat est représenté sous forme de graphique (figure 5) où nous constatons une diminution de largeur de cernes au cours de la vie de l'arbre, ce qui pourrait être expliqué par un vieillissement de l'assise cambiale avec l'âge ou par la concurrence qui s'installe beaucoup plus quand les arbres développent leurs systèmes racinaires et leurs houppiers par lesquels s'effectuent tous les échanges vitaux. Nous remarquons aussi que la vitesse de croissance en mode de futaie jardinée reste plus ou moins constante durant les 40 premières années puis après elle diminue. Durant les dix premières années, la futaie régulière présente la meilleure croissance et surtout en groupe

d'amélioration, ce qui est certainement dû aux différents traitements de dépressage et des nettolements qui ont pour but de favoriser les arbres les plus vigoureux et les mieux conformés.

D'une façon générale, le cèdre de l'Atlas se développe bien durant les trente premières années de sa vie. Il serait donc souhaitable que le sylviculteur agisse à un âge précoce (20 ou 30 ans) par le moyen des éclaircies afin de redresser ou au moins stabiliser la croissance des arbres.

Deuxième échantillonnage : l'influence des modalités d'éclaircie

Nous rappelons que pour ce deuxième échantillonnage la mesure de la largeur de cerne ainsi que toutes les autres mesures ont été effectuées sur une zone bien délimitée. C'est la zone qui correspond aux accroissements des arbres après la date de l'éclaircie de chaque placette expérimentale. Cette zone est généralement située dans la partie aubier de nos arbres.

La première constatation que nous

pouvons faire pour ce deuxième échantillonnage serait au niveau de la comparaison de nos trois provenances ou places d'expériences (tableau 3) sans tenir compte des modalités d'éclaircie.

Cette analyse de variance (tableau 3) effectuée sur les 240 arbres de notre deuxième échantillonnage nous montre une différence significative au seuil de 1 % entre les trois provenances. La meilleure croissance est signalée pour la région de Sehbe (Maroc) suivie par le Rialsesse puis le Luberon ; sachant que ce dernier se trouve sur un substrat calcaire, nous ne pouvons que confirmer le résultat de notre premier échantillonnage sur le fait que le cèdre se comporte plus mal sur ce type de substrat que sur le basalte pour le Sehbe ou du grès rose pour le cas du Rialsesse. Il faut noter aussi que la région de Sehbe sur basalte fait partie de la cédraie marocaine la plus productive.

Cas de Sehbe au Maroc

Le site expérimental de Sehbe (CEAU 4) a fait objet de deux modalités d'éclaircie, une éclaircie dite moyenne et une autre dite très forte avec un témoin qui n'a subi aucun traitement auparavant. L'analyse de

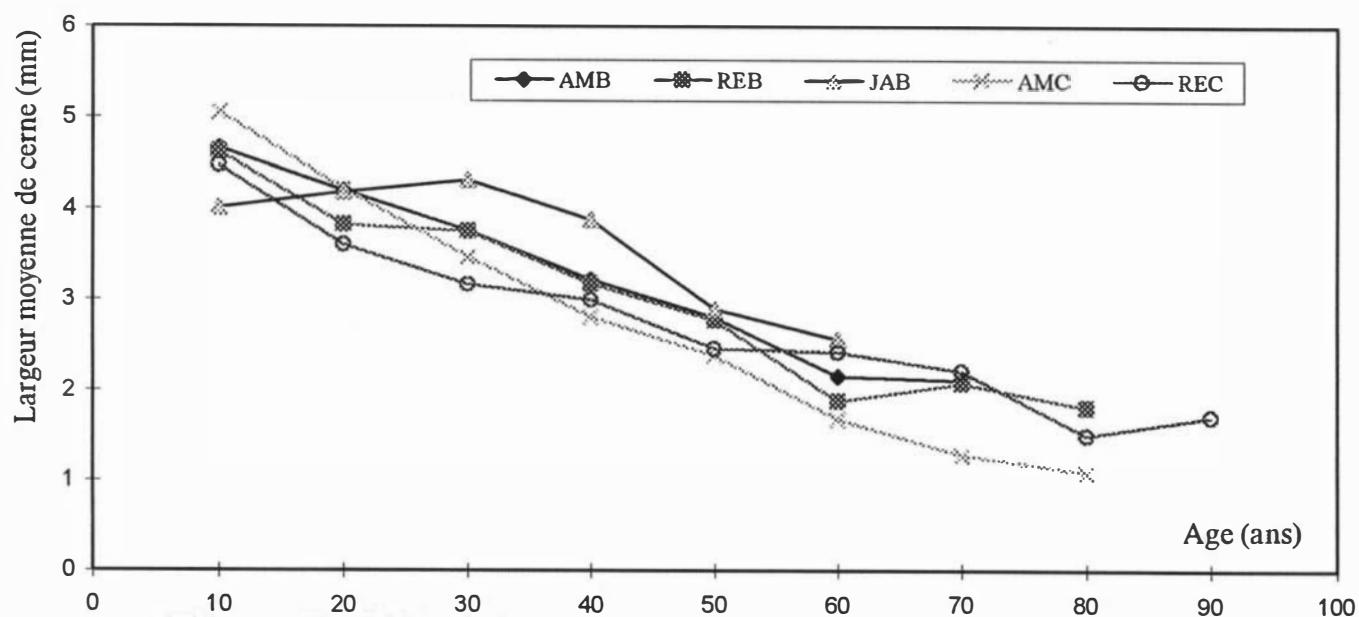


Figure 5 : Evolution de la largeur moyenne de cerne en fonction de l'âge
AM : amélioration ; RE : régénération ; JA : jardinage ; B : basalte ; C : calcaire
(chaque point correspond à la moyenne de 25 arbres)

Site expérimental	Moyenne (mm)	Ecart-type	Test F	
Sehbe (Maroc)	2,90	0,75		
Rialsesse	2,35	0,80	F(2,237)	31,2 ***
Lubéron	2,00	0,73		

Tableau 3: Effet de la provenance sur la vitesse de croissance des arbres.

variance (tableau 4) nous montre qu'il existe une différence significative au seuil de 1 % entre traitements. Deux groupes se distinguent, le premier étant le témoin avec la plus faible valeur de largeur moyenne de cernes, le deuxième regroupe des éclaircies qui ne présentent pas de différences significatives entre elles malgré une légère supériorité pour l'éclaircie très forte. L'augmentation de la largeur de cernes est due à la diminution de la concurrence vitale entre les arbres.

Cas du Rialsesse

La placette expérimentale du Rialsesse a fait l'objet elle aussi de deux modalités, une éclaircie dite faible et une autre forte. Nous constatons d'après l'analyse de variance (tableau 5) que la différence entre le témoin et les modalités d'éclaircie est significative au seuil de 1 %, alors

qu'entre ces dernières aucune différence n'est observée même si l'éclaircie forte présente une moyenne un peu plus forte.

Cas du Lubéron

Statistiquement nous n'avons pas trouvé de différence significative ($F(2,53)=2,53$ NS) entre le témoin (1,85 mm) et l'éclaircie dite moyenne (2,15 mm), malgré une petite différence des moyennes.

L'ensemble de ces observations nous permet de tirer quelques conclusions :

- les résultats du premier échantillonnage, nous permettent de recommander aux forestiers marocains de favoriser les reboisements en cèdre de l'Atlas sur toutes les régions à substrat basaltique. Cela serait plus intéressant surtout si on veut avantager la production en volume du bois d'œuvre. Le mode de traitement (futaie régulière

ou futaie jardinée) n'a pas d'influence sur la croissance des arbres, cela ne changera en rien la croissance en volume du bois, mais cette conclusion reste provisoire parce qu'il faut apprécier comment réagissent les autres paramètres de la qualité du bois vis-à-vis du mode de traitement.

- les résultats du deuxième échantillonnage nous indiquent qu'il serait souhaitable d'appliquer à toutes les cédraies des traitements d'éclaircies. Celles-ci doivent en fait être raisonnées en fonction des vitesses de croissance et de leur intensité afin d'optimiser la production.

Densité

La densité du bois est toujours considérée comme étant une caractéristique essentielle pour la détermination de sa qualité. Elle est étroitement corrélée aux nombreuses propriétés du matériau, surtout les propriétés mécaniques. Sa détermination reste donc indispensable pour l'appréciation des propriétés mécaniques, physiques, des caractéristiques papetières et de la perméabilité. C'est donc le paramètre déterminant pour les différents emplois.

Nous avons estimé cette densité selon deux méthodes, l'infradensité et la microdensitométrie qui est un moyen efficace pour déterminer la variation de la densité et de ses composantes.

Infradensité

Premier échantillonnage

L'infradensité moyenne est de 429 g/dm^3 . Sa variabilité (figure 6) s'approche d'une courbe gaussienne avec une légère étendue vers les valeurs extrêmes. Cette variabilité est due peut-être aux effets du substrat, des modes de traitements ou de la zone dans l'arbre.

L'analyse de variance (tableau 6) réalisée nous conduit aux observations suivantes :

- nous n'avons pas remarqué de différence significative entre le substrat basaltique et calcaire. Sachant que les largeurs moyennes de cernes pour ces deux types de substrat sont respectivement de 3,58 mm et 3,32 mm, on s'attendait à avoir une infradensité plus

Traitement	moyenne (mm)	Ecart-type	Test F	
Témoin	2,33	0,67		
Eclaircie moyenne	2,98	0,78	F(2,86)	9,42***
Eclaircie très forte	3,33	0,78		

Tableau 4: Effet des modalités d'éclaircies sur la vitesse de croissance (cas du Sehbe).

Traitement	moyenne (mm)	Ecart-type	Test F	
Témoin	1,70	0,55		
Eclaircie faible	2,47	0,85	F(2,86)	16,55***
Eclaircie forte	2,87	0,84		

Tableau 5 : Effet des modalités d'éclaircies sur la vitesse de croissance (cas de Rialsesse).

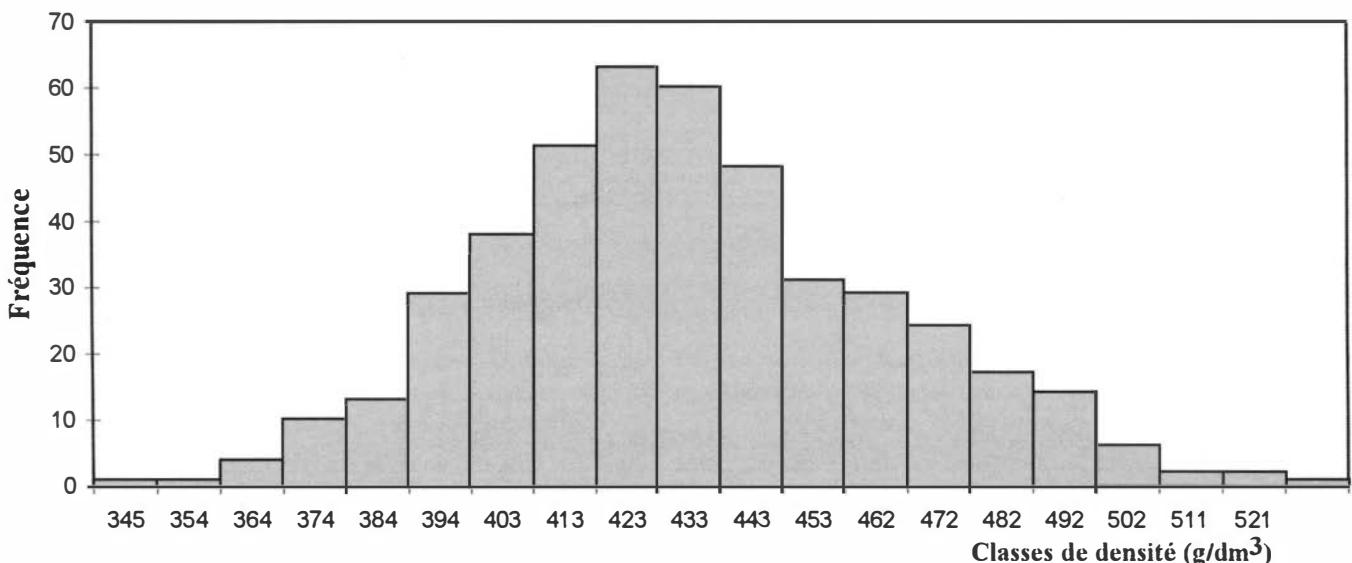


Figure 6 : variabilité de l'infradensité pour le premier échantillonnage (443 individus)

Facteur	Moyenne(g/dm ³)	Ecart-type	Test F
Substrat	Basalte	431	F(1,73)=068NS
	Calcaire	426	
Mode de traitement	Amélioration	429	F(2,72)=080NS
	Régénération	425	
	Jardinage	434	
Zone	Aubier	422	F(2,222)=3,50*
	Zone intermédiaire	433	
	Coeur	428	

Tableau 6: Analyse de variance: étude de l'infradensité.

Provenance	Moyenne g/dm ³	Ecart -type	Test F
Sehbe (Maroc)	430	24,7	F(2,117)=21,5***
Rialsesse	496	26,7	
Lubéron	485	30,5	

Tableau 7 : Analyse de variance : effet de la provenance sur l'infradensité.

élevée chez les arbres issus du calcaire. Or c'est toujours sur substrat basaltique que nous obtenons les plus fortes valeurs ;

- le mode de traitement ne semble pas avoir d'influence sur l'infradensité, néanmoins une valeur légèrement plus élevée est observée pour le jardinage ;

- en ce qui concerne l'effet zone, nous avons observé une différence significative à 5 % entre la zone intermédiaire et l'aubier. Les fortes valeurs d'infradensité de la zone intermédiaire par rapport à celle de l'aubier peuvent être attribuées au phénomène de duraminisation, et par rapport à celle du cœur peuvent être attribuées à la présence de bois juvénile qui possède généralement une densité plus faible.

Deuxième échantillonnage

L'analyse de variance des trois provenances (tableau 7) nous montre une différence significative au seuil de 1%; deux groupes se distinguent, celui de Sehbe présente la valeur la plus faible, puis celui qui regroupe les deux provenances françaises. L'infradensité est donc ici plus forte chez le cèdre issu des reboisements français. Cela est dû probablement à des différences entre provenances combinées à d'autres facteurs comme le climat, le substrat, la latitude, l'altitude, etc...

L'analyse de variance (tableau 8) réalisée à l'intérieur de chaque placette expérimentale afin de voir l'effet des éclaircies sur l'infradensité, ne nous fait apparaître aucune différence significative entre modalités d'éclaircies. Ce qui signifie que celles-ci n'ont pas eu d'effet

Place d'expérience	Modalité d'éclaircie	Moyenne (g/dm ³)	Ecart-type	Test F
Sehbe	Témoin	441	14,8	
	Eclaircie moyenne	438	29,3	F(2,42)=0,64NS
	Eclaircie très forte	436	32,2	
Lubéron	Témoin	489	18,3	
	Eclaircie moyenne	478	32,9	F(1,28)=1,28NS
	Témoin	508	19,1	
Rialsesse	Eclaircie faible	493	34,8	F(2,42)=1,77NS
	Eclaircie forte	488	34,8	

Tableau 8: Analyse de variance: effet des éclaircies sur l'infradensité.

sur la variation de l'infradensité. Donc une augmentation de la largeur de cernes ne sera pas un inconvénient pour l'infradensité du bois de cèdre de l'Atlas. Ce résultat va dans le même sens que celui du premier échantillonnage. Si la largeur moyenne de cernes est plus élevée sur substrat basaltique, la densité est néanmoins comparable à celle observée sur substrat calcaire pour lequel les largeurs moyennes de cernes sont plus faibles.

On constate aussi que l'application des éclaircies aboutit à une certaine

hétérogénéité ou variabilité de la densité du bois entre les arbres. Les écarts-types varient quasiment du simple au double entre le témoin et les éclaircies, ce qui serait gênant pour le sylviculteur si en valeur absolue ils étaient élevés, ce qui n'est en fait pas le cas.

Etude microdensitométrique

Nous rappelons que l'étude microdensitométrique a été réalisée sur le deuxième échantillonnage avant et

après dérésinement. Nous ne traitons dans cet article que les résultats après dérésinement. Cette étude a pour objectif de faire une analyse plus fine sur la densité du bois et de ses composantes en fonction des éclaircies. C'est aussi un très bon moyen pour examiner la variabilité de la largeur de cerne et de la texture du bois de cèdre de l'Atlas.

Les résultats nous permettent de faire quelques observations (tableau 9) :

- d'après sa densité moyenne (Dmoy), le cèdre de l'Atlas serait classé selon l'échelle de comparaison du CTBA (1988) parmi les bois mi-lourds à lourds;

- confirmation des résultats de l'infradensité par le fait que les arbres issus des reboisements français sont plus denses que ceux du Maroc;

- la densité du bois final (DBF) est 2 fois plus élevée que la densité du bois initial (DBI);

- la densité maximale (Dmax) est 3 fois plus élevée que la densité minimale du bois (Dmin), ce qui indique une hétérogénéité intracerne comparable à celles de l'épicéa de Sitka et du sapin pectiné;

- l'ordre de grandeur de la largeur du cerne (LC) est conforme à ce que nous avons trouvé auparavant à quelques différences près dues certainement au

Paramètres	Sehbe		Luberon		Rialsesse		Test
	M	ET	M	ET	M	ET	F(2,817)
Dmoy (g/dm ³)	541	51	620	56	621	65	***
DMin(g/dm ³)	349	32	387	44	380	42	***
D à 5 % (g/dm ³)	357	32	393	43	387	41	***
DBI(g/dm ³)	412	35	469	47	475	54	***
Dmax (g/dm ³)	1050	64	1071	72	1024	77	***
D à 95 % (g/dm ³)	1021	67	1053	71	1001	77	***
DBF (g/dm ³)	805	71	860	74	808	74	***
LC (mm)	2,70	0,89	1,77	0,88	2,10	1,08	***
LBI(mm)	1,78	0,55	1,08	0,55	1,20	0,65	***
LBF(mm)	0,91	0,40	0,69	0,37	0,93	0,47	***
Texture	33,03	6,07	38,37	6,24	44,49	7,90	***

Tableau 9 : Caractéristiques microdensitométriques après dérésinement.

nombre d'échantillons qui n'est que de 10 arbres par traitement et par placette, alors que précédemment nous avions utilisé l'ensemble de l'échantillonnage (30 arbres par traitement et par placette);

- la proportion du bois final est assez importante, ce qui donne une texture assez forte au bois de cèdre de l'Atlas surtout pour le cas de Rialsesse, la texture la plus faible étant observée pour le Sehbe; ce qui explique le résultat de l'infradensité.

L'étude de la densité nous permet de conclure que le cèdre de l'Atlas s'adapte très bien dans la région méditerranéenne française. Nous avons trouvé une différence de densité de 70 g/dm³ entre le cèdre issu des reboisements en France et celui qui provient de la cédraie naturelle du Maroc. Le bois de cèdre de France est plus dense.

En ce qui concerne le premier échantillonnage, nous pouvons conclure que la densité du bois est plus élevée pour les arbres des peuplements installés sur basalte. Ceci est en liaison avec une plus forte vitesse de croissance due à la richesse naturelle de ce type de substrat. Le traitement en futaie régulière ou jardinée n'a pas d'importance pour le paramètre de densité du bois puisqu'on retrouve presque les mêmes valeurs. Entre zones, nous avons trouvé une valeur de densité plus élevée dans la zone intermédiaire ou de transition. La différence de la densité entre cœur et zone intermédiaire pourrait être expliquée par la présence du bois juvénile du côté de la moelle.

En ce qui concerne le deuxième échantillonnage, les résultats nous conduisent à tirer quelques conclusions:

- sachant que nous travaillons seulement sur la zone de l'aubier, nous pouvons constater que le bois de cèdre de l'Atlas présente une valeur de densité très satisfaisante par rapport à d'autres résineux ;

- l'infradensité reste constante ou diminue légèrement avec les éclaircies ;

- l'étude microdensitométrique nous montre pour le cas du Sehbe que les éclaircies favorisent une bonne vitesse de croissance des peuplements tout en conservant une densité du bois satisfaisante et parfois même en l'augmen-

	Ra (%)	Rt (%)	Rr (%)	Rv (%)	Anisotropie
Moyenne	-0,24	3,06	2,10	4,96	1,50
Ecart type	0,47	0,66	0,68	1,21	0,45

Tableau 10 : Valeurs de retrait du bois de cèdre de l'Atlas entre le point de saturation des parois cellulaires et l'état sec à l'air (moyenne sur 305 arbres)

tant dans le cas des éclaircies modérées. C'est ce que nous constatons aussi pour le Rialsesse. Par contre l'application d'une éclaircie forte dans cette placette provoquerait une chute de densité de 33g/dm³. Il y a donc intérêt à y appliquer des éclaircies modérées. Le cas du Luberon n'échappe pas à cette tendance et dans cette placette on constate qu'un gain de 25% sur les accroissements annuels diminue la densité de 8%, ce qui reste satisfaisant. La texture du bois de cèdre est assez forte, et d'autant plus élevée que l'intensité de l'éclaircie est forte, ceci est expliqué par une amélioration de la largeur du bois final avec la vitesse de croissance; ce résultat est beaucoup plus marqué chez les arbres issus de Rialsesse et du Luberon, ce qui explique probablement leurs fortes valeurs de densité par rapport au cas du Sehbe. Faut-il attribuer ce résultat un peu exceptionnel si l'on compare le cèdre à d'autre résineux comme le sapin ou l'épicéa, à des effets stationnels, ou de provenance? Des études ultérieures seraient nécessaire pour faire la part des choses.

Nous rappelons que les mesures de retrait ont été effectuées, entre le point de saturation des parois cellulaires, et l'état sec à l'air à 12% d'humidité environ, dans des zones bien déterminées sur les carottes. Pour le premier échantillonnage nous avons sélectionné sur chaque carotte deux zones, une dans le duramen et l'autre dans l'aubier, tandis que pour le deuxième échantillonnage c'est seulement la zone de l'aubier qui a été concernée.

Dans un premier temps nous avons calculé le retrait selon les trois axes pour l'ensemble de notre échantillonnage c'est-à-dire sans tenir compte du type d'échantillonnage, ni du type de traitement, ni de la station, ni de la zone dans la carotte. Les résultats, qui sont donnés à titre indicatif, sont représentés dans le tableau 10.

Afin d'apprécier la variabilité du retrait, nous avons représenté ces résultats sous forme d'histogrammes de fréquences (figures 7 et 8).

Pour les retraits volumétrique (figure 7), nous constatons une certaine dissymétrie vers les valeurs élevées, mais ceci n'est vrai que pour une partie très faible voire négligeable de notre échantillonnage. Ces histogrammes montrent que les valeurs des retraits sont à peu près normalement distribuées. La figure 8 montre que les valeurs de l'indice de l'anisotropie de retrait s'éloignent plus ou moins d'une courbe gaussienne, mais nous constatons aussi qu'environ 93 % de notre échantillonnage présentent une valeur d'anisotropie inférieure à 2.

Pour faire une comparaison de nos résultats avec ceux d'autres espèces résineuses, habituellement donnés entre l'état de saturation des parois cellulaires et l'état anhydre, nous avons supposé que le retrait du bois se produit d'une façon linéaire depuis l'état

La rétractibilité

La rétractibilité est une notion relative au phénomène du retrait (quand le bois perd de l'eau et se rétrécit). C'est un paramètre physique très important pour la qualification du matériau bois puisqu'il nous renseigne sur le comportement du bois dû à ses variations dimensionnelles au cours du séchage. C'est une caractéristique qu'il faut prendre en considération, surtout pour les bois qui sont destinés à la menuiserie fine et à l'ébénisterie, ce qui est le cas pour le bois du cèdre de l'Atlas.

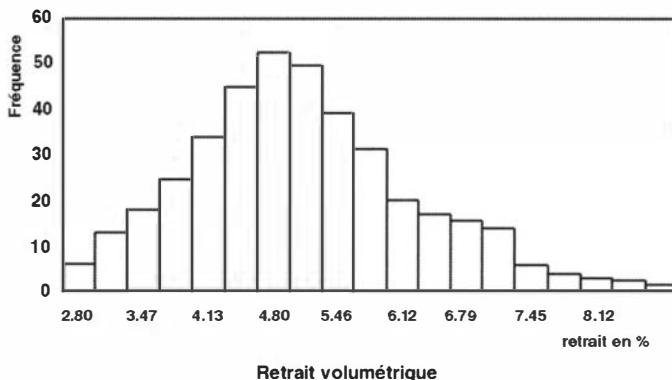


Figure 7 : variabilité du retrait volumétrique pour l'ensemble de l'échantillonnage

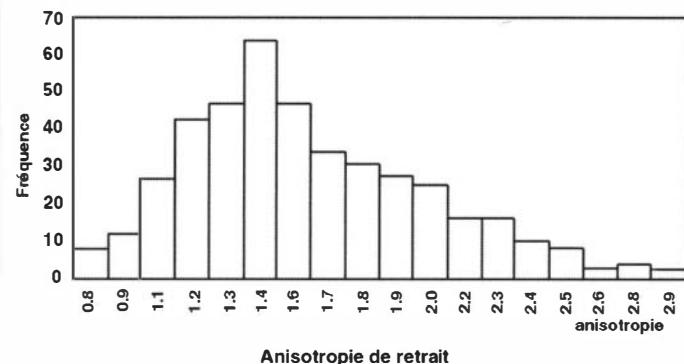


Figure 8 : variabilité de l'indice d'anisotropie du retrait pour l'ensemble de l'échantillonnage

de saturation des parois cellulaires jusqu'à l'état anhydre. Nous avons ainsi calculé le retrait du bois de cèdre de l'état sec à l'air (humidité d'environ 12%) à l'état anhydre et nous l'avons ajouté aux chiffres précédents. Le tableau 11, montre alors que le cèdre de l'Atlas présente la plus faible valeur de retrait par rapport à toutes les autres espèces, seul *Pinus radiata* s'en rapproche pour le retrait total, qui est de l'ordre de 8%.

D'après le tableau 11, nous constatons que le cèdre présente une anisotropie de retrait plus faible que les autres résineux et similaire au douglas, ce qui veut tout simplement dire que ce bois présente une meilleure stabilité dimensionnelle que beaucoup d'autres

espèces et se comporte donc bien vis-à-vis du séchage.

Premier échantillonnage

D'après le tableau 12, nous pouvons constater que le retrait dans le sens axial est toujours plus faible que les retraits dans les sens radial et tangentiel, mais c'est une mesure qu'il ne faut pas négliger en tout cas pour le cèdre de l'Atlas. Ce retrait est plus fort aussi sur substrat calcaire.

Nous avons constaté que les retraits radial et tangentiel, sont toujours plus importants dans la zone de l'aubier.

Nous avons aussi constaté que :

- Le substrat ne joue aucun rôle sur le retrait du bois de cèdre de l'Atlas ;

- En ce qui concerne les modes de traitement, une différence significative au seuil de 5% a été constatée pour les retraits axial et tangentiel ; en revanche pour les retraits radial, volumétrique et l'indice d'anisotropie, nous n'avons pas constaté de différences significatives. Pour le retrait tangentiel, deux groupes apparaissent dans cette analyse de variance, le premier se compose du groupe d'amélioration qui a la plus forte valeur de retrait et l'autre se compose du groupe de régénération et du jardinage intensif qui ont presque les mêmes valeurs.

- Pour ce qui est de la zone de mesure, des différences entre l'aubier et le duramen apparaissent pour le retrait dans les trois directions. Cette différence est significative au seuil de 1 % pour le retrait axial et de 5 % pour les retraits tangentiel et radial ; le retrait apparaît plus fort dans la zone aubier.

Deuxième échantillonnage

Dans le tableau 13, nous avons effectué une comparaison entre les trois places d'expérience comme nous l'avons fait pour la largeur moyenne de cernes.

D'après le tableau 13, nous observons que les valeurs de retrait du bois pour les échantillons provenant de la région de Sehbe et celles du Lubéron sont plus faibles que celles des échantillons de Rialsesse qui présentent les plus fortes valeurs, à l'exception du retrait axial. Nous avons vu pour le premier échantillonnage que le retrait ne varie pas trop entre les substrats

Essences	Retrait tangential (%)	Retrait radial (%)	Retrait total (%)	Anisotropie Rt/Rr
Pinus pinaster	7,7	5,1	11,6	2,0
Pinus halepensis	7,2	4,4	11,7	-----
Pinus sylvestris	7,5	4,8	13,7	1,7
Pinus radiata	-----	-----	8,4	-----
Picea excelsa	-----	-----	12,4	2,0
Picea sitchensis	-----	-----	11,7	-----
Abies alba	-----	-----	12,5	2,1
Pseudotsuga menziesii	-----	-----	11,4	1,6
Cedrus deodara	6,0	3,0	-----	-----
Cedrus atlantica	5,0	3,2	8,0	1,6

Tableau 11: Comparaison de retraits du bois de cèdre de l'Atlas (entre l'état de saturation des parois cellulaires et l'état anhydre) avec d'autres résineux (d'après une compilation de plusieurs auteurs dont Nepveu, 1987 ; Nepveu et al., 1989 ; Rahme, 1974 , Dilem, 1993...)

Substrat	Traitement	Zone	Ra M	en % ET	Rt M	en % ET	Rr M	en % ET	Rv M	en % ET	Anis M	Rt/Rr ET
Amélioration	Aubier	-0,41	0,74	3,09	0,53	1,93	0,70	4,65	1,13	1,65	0,49	
		-0,28	0,48	2,66	0,73	1,85	0,67	4,26	1,16	1,45	0,49	
Basalte	Régénération	Aubier	-0,19	0,74	2,68	0,70	1,71	0,47	4,25	1,03	1,60	0,54
		Duramen	-0,16	0,43	2,61	0,81	1,47	0,45	3,95	0,98	1,78	0,59
Calcaire	Jardinage	Aubier	-0,46	0,55	2,63	0,39	1,91	0,68	4,12	0,53	1,40	0,53
		Duramen	-0,26	0,56	2,53	0,39	1,56	0,32	3,88	0,90	1,62	0,36
Calcaire	Amélioration	Aubier	-0,77	0,55	3,06	0,71	1,79	0,53	4,10	1,12	1,71	0,45
		Duramen	-0,38	0,50	2,67	0,70	1,68	0,55	4,04	0,83	1,60	0,48
Calcaire	Régénération	Aubier	-0,60	0,81	2,81	0,53	1,67	0,51	3,89	0,70	1,69	0,45
		Duramen	-0,32	0,99	2,41	0,46	1,53	0,51	4,32	1,17	1,60	0,48

Tableau 12: Comparaison des moyennes de retraits du bois de cèdre de l'Atlas (125 arbres)
(M = moyenne ; ET = écart-type)

Provenance	Ra (%)		Rt (%)		Rr (%)		Rv (%)		Rt/Rr	
	M	ET	M	ET	M	ET	M	ET	M	ET
Sehbe	-0,22	0,28	3,11	0,59	2,12	0,45	5,10	0,80	1,50	0,35
Rialsesse	-0,13	0,24	3,45	0,69	2,48	0,68	5,87	1,00	1,49	0,50
Lubéron	-0,29	0,27	3,14	0,37	2,48	0,62	5,39	0,82	1,30	0,37

Tableau 13: Effet de la provenance sur le retrait du bois

basaltique et calcaire, ceci est maintenant confirmé si nous comparons le cas du Sehbe (sur substrat basaltique) et celui du Lubéron (sur substrat calcaire), tandis que le Rialsesse qui est situé sur du grès rose présente un retrait plus fort. La meilleure anisotropie est observée dans le cas du Lubéron.

Cas du Sehbe (Maroc)

Les éclaircies ne semblent pas avoir d'effet ni sur le retrait dans les directions, tangentielle ($F(2,87)=0,42$ NS) et radiale ($F(2,87)=0,67$ NS) ni sur le

retrait total ($F(2,87)=1,48$ NS), ni sur l'anisotropie de retrait ($F(2,87)=0,44$ NS). Sur le tableau 14, nous présentons ces valeurs moyennes de retrait. Nous constatons que les échantillons provenant de l'éclaircie moyenne présentent des valeurs de retrait légèrement plus élevées, sauf pour le retrait radial.

Cas du Rialsesse

Pour le Rialsesse, seul le retrait tangentiel échappe à l'influence des éclaircies ($F(2,87)=0,04$ NS). Le retrait axial présente une différence significative au seuil de 5 %

($F(2,87)=3,68^*$) entre l'éclaircie forte (-0,22%) et les autres modalités, ceci confirme le résultat précédent, c'est-à-dire que plus l'intensité d'éclaircie est forte plus le retrait axial est élevé. Les retraits radial et volumétrique ainsi que l'anisotropie de retrait présentent des différences significatives au seuil de 1 % (tableau 15).

A première vue, nous constatons que le retrait est d'autant plus faible que l'éclaircie est forte. Par contre l'anisotropie de retrait augmente considérablement quand on applique des éclaircies. Dans cette analyse de variance nous distinguons pour les trois valeurs de retrait, deux groupes: le premier est formé par le témoin avec les plus fortes valeurs de retrait et d'anisotropie, le deuxième regroupe dans les trois cas les deux modalités d'éclaircie. Cela veut dire que quelle que soit l'intensité d'éclaircie nous aurons les mêmes valeurs de retraits radial, volumétrique ou d'anisotropie de retrait, malgré une légère supériorité de l'éclaircie forte qui présente les meilleures valeurs de retrait. Pour le Lubéron, seuls le retrait tangentiel et l'anisotropie de retrait présentent des différences significatives au seuil de

	Rt en %	Rr en %	Rv en %	Anis	Rt/Rr
Traitement	M	ET	M	ET	M
Témoin	3,04	0,52	2,10	0,43	5,07
Eclaircie moyenne	3,20	0,74	2,02	0,49	5,18
Eclaircie très forte	3,12	0,53	2,18	0,44	5,09
				1,02	1,02
				1,50	1,50
				0,84	0,84
				1,45	1,45
				0,34	0,38

Tableau 14 : Valeurs moyennes du retrait pour le cas du Sehbe

<i>Retrait radial</i>			
Traitement	Moyenne	Ecart-type	Test F
Témoin	3,29	0,90	
Eclaircie faible	2,15	0,64	F(2,87)=31,33***
Eclaircie forte	2,01	0,43	

<i>Retrait volumétrique</i>			
Traitement	Moyenne	Ecart-type	Test F
Témoin	6,72	1,11	
Eclaircie faible	5,64	0,89	F(2,87)=16,96***
Eclaircie forte	5,27	1,21	

<i>Anisotropie de retrait</i>			
Traitement	Moyenne	Ecart-type	Test F
Témoin	1,13	0,39	
Eclaircie faible	1,69	0,58	F(2,87)=14,85***
Eclaircie forte	1,68	0,39	

Tableau 15 : Analyse de variance : effet des modalités d'éclaircie sur le retrait du bois

5 % entre le témoin et l'éclaircie dite moyenne. Nous avons constaté que ces deux valeurs sont plus fortes dans le cas de l'éclaircie.

D'après tous ces résultats plusieurs conclusions peuvent être tirées :

- le retrait axial chez le cèdre de l'Atlas ne peut pas être négligé surtout pour le calcul du retrait volumétrique ;

- le retrait du bois de cèdre de l'Atlas est faible par rapport à celui d'autres résineux comme l'épicéa, le sapin, les pins ou le douglas.

Le substrat n'a pas d'influence sur le retrait, mais cette conclusion ne peut être généralisée à tous les types de substrat (nous nous sommes limités à la comparaison entre calcaire et basalte). Les modalités d'éclaircie ont une influence sur le retrait dans les directions axiale et tangentielle. L'effet zone (aubier/duramen) est remarquable dans les trois directions, c'est-à-dire un retrait plus faible dans le duramen, cet effet étant très marqué pour le retrait axial.

Pour le deuxième échantillonnage, les valeurs de retrait pour le cas du Rialsesse sont beaucoup plus fortes que dans les deux autres localisations, donc nous pouvons imaginer un effet provenance ou substrat sur le retrait du bois de cèdre. Nous constatons pour le cas de Sehbe que le retrait ne varie pas en fonction de la modalité d'éclaircie, sinon très légèrement. La même conclusion peut être faite pour le cas du Luberon sauf que, dans ce cas, c'est le retrait tangentiel qui varie avec l'éclaircie. Le cas du Rialsesse est remarquable parce que nous avons constaté que le retrait diminue largement quand on applique des éclaircies.

De façon générale, nous pouvons dire que ces résultats sont plus que satisfaisants, parce que les modalités d'éclaircie ne diminuent pas la qualité du bois vis à vis du retrait, mais par contre elles interviennent parfois pour améliorer cette qualité comme pour le cas de Rialsesse.

Nous pouvons donc conseiller aux sylviculteurs d'appliquer des éclaircies sans crainte. Pour le cas du Sehbe et du Luberon, ils n'auront pas de grands changements, mais au Rialsesse, non seulement ils auront une bonne production, mais aussi un bois à retrait plus faible. Seule l'anisotropie de retrait peut augmenter mais elle reste faible par rapport à celle des autres résineux.

Duraminisation et couleur du bois de cèdre de l'Atlas

La proportion du duramen est un facteur de grande importance économique surtout pour les bois destinés à des utilisations nobles comme l'ébénisterie ou l'ameublement. Tel est le cas du cèdre de l'Atlas.

La colorimétrie est la mesure quantitative de la couleur. L'étude de la variabilité de ce paramètre est très récente pour le matériau bois. Traditionnellement la qualité du bois est caractérisée surtout par son anatomie, ses propriétés physiques et méca-

niques, sa durabilité naturelle...mais l'aspect esthétique ne peut être ignoré surtout pour les utilisations du bois dans l'ameublement, la parquerterie, le tranchage ou d'autres formes de l'aménagement intérieur. L'aspect esthétique du bois massif ou sous forme de placage est considéré par les professionnels comme un caractère déterminant de sa qualité. C'est donc un critère de choix et par conséquent un facteur capital dans la qualité du bois.

L'intérêt technico-économique de la couleur du bois a été décrit par Janin (1986 a, op.cit. et b) Cet auteur signale que du point de vue technologique, la couleur est un bon critère pour les classements du bois pour les sciages et les placages ; sa détermination pourrait se faire à l'aide des coordonnées chromatiques. Du point de vue économique, selon ce critère, l'auteur signale que les prix d'achat au mètre cube du bois varient de 1 à 5 dans le cas de chêne par exemple. Sachant que le cèdre de l'Atlas présente un bois de cœur bien développé, nous avons jugé qu'il serait intéressant d'étudier sa couleur.

L'étude de la couleur et du duramen du bois de cèdre de l'Atlas a été réalisée sur le premier échantillonnage. Nous allons voir dans un premier temps comment se développe le duramen sur deux substrats différents et en fonction des modes de traitement sylvicole des peuplements du cèdre de l'Atlas. Ensuite nous allons étudier la couleur du bois de cèdre sur toutes nos carottes, sur trois zones bien délimitées puis en fonction des modes de traitement sur deux types de substrat.

Facteur		Moyenne (%)	Ecart-type	Test F
Substrat	Basalte	65	8,2	$F(1,123)=6,54^*$
	Calcaire	71	7,8	
	Amélioration	70	8,5	
Mode de traitement	Régénération	67	7,5	$F(2,122)=7,09^{**}$
	Jardinage	61	5,3	

Tableau 16: Analyse de variance: effet du mode de traitement et du substrat sur le développement du duramen sur le rayon

Duraminisation

Le bois de cèdre de l'Atlas serait classé d'après la classification par la couleur de Bosshard (1965) dans la catégorie du bois à duramen clair. Dans notre cas la proportion moyenne de duramen est d'environ 69% sur le rayon. L'analyse de variance (tableau 16) réalisée sur 125 arbres montre que le mode de traitement influence le développement du duramen chez le cèdre. Le duramen se développe plus facilement en futaie régulière qu'en futaie jardinée. On gagne 6 à 9% de duramen sur le rayon en futaie régulière.

Cette analyse montre aussi un effet substrat sur la duraminisation du bois de cèdre de l'Atlas. Le duramen se développe beaucoup mieux sur calcaire que sur basalte, ce résultat ne va pas dans le même sens que celui trouvé par Kabbaj (1979, op. cit.) puisqu'il ne trouve pas d'influence du substrat. La figure 9 présente l'évolution du pourcentage de duramen sur le rayon en fonction de l'âge. On constate alors que plus les arbres sont âgés plus le dur-

men est développé. Cet effet se traduit par un vieillissement physiologique des cellules. Mais certains auteurs considèrent que la duraminisation n'est pas due simplement au phénomène de vieillissement physiologique des cellules, mais qu'elle s'accompagnerait d'autres phénomènes, cytologiques et biochimiques au niveau des cellules du parenchyme des rayons ligneux (Frey-Wyssling et Bosshard 1959; Stewart 1965; Ziegler, 1968).

Nous avons déjà signalé que le bois parfait est constitué de cellules mortes et que seules les cellules du parenchyme des rayons ligneux restent vivantes dans l'aubier et au voisinage du bois parfait. Ces cellules qui stockent les substances de réserve perdent progressivement leur vitalité pour mourir à la limite aubier-duramen. Cette évolution progressive des cellules jusqu'à leur mort serait la cause de la duraminisation.

La couleur

La première observation à l'oeil nu montre que ce bois présente deux zones bien distinctes, une zone claire

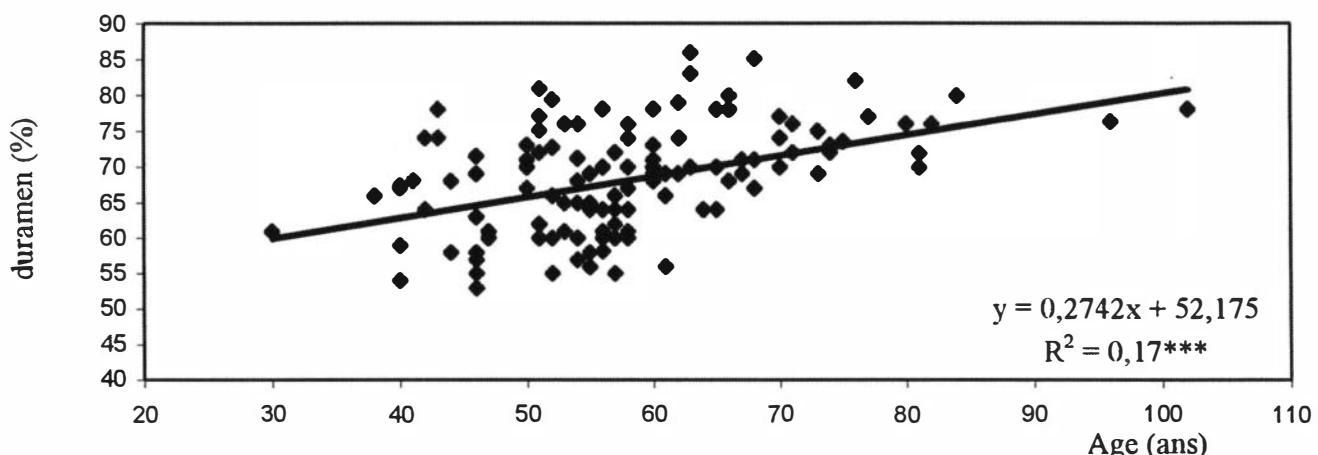


Figure 9 : Evolution du duramen en fonction de l'âge (125 arbres)

Zone	L*	a*	b*	c*	h	Wi
1 côté écorce	79,7	8,5	18,7	20,6	65,5	-115,0
2	78,8	9,2	19,2	21,6	64,5	-113,5
3	75,0	10,2	19,3	21,9	62,1	-102,3
4	73,1	10,6	19,0	21,7	60,9	-95,5
5	73,2	10,1	18,5	21,1	61,3	-95,0
6	73,6	9,9	18,5	21,0	61,8	-96,1
7	73,4	9,7	18,4	20,8	62,4	-95,6
8 moelle	73,1	9,4	18,0	20,3	62,6	-94,4
Test F(8,434)	72,3***	30,88***	3,24*	6,91***	63,7***	62,7***

Tableau 17: Analyse de variance: étude des paramètres de la couleur (443 individus)

Paramètre	Aubier		Zone intermédiaire		Duramen		Test F (2,22)
	M	ET	M	ET	M	ET	
L*	79,93	0,92	73,52	1,72	73,49	1,45	254,24***
a*	8,7	0,5	10,73	1,14	10,04	0,67	72,48***
b*	18,85	0,94	19,25	1,86	18,58	1,12	3,82*
c*	20,77	1,03	22,11	2,11	21,13	1,23	11,18***
h*	65,22	0,75	61,05	1,56	61,64	1,18	142,15***

Tableau 18 : Analyse de variance : Etude de la couleur en fonction des zones dans l'arbre

du côté écorce, l'aubier, et une zone sombre centrale, le duramen. La zone intermédiaire correspond à la partie externe du duramen, sa limite avec le duramen est difficilement distincte.

Etude de la couleur sur toute la carotte

Le tableau 17, présente les résultats de l'analyse de variance réalisée sur les paramètres de la couleur sur un ensemble de 443 individus correspondant chacun à 10 cernes délimités sur nos carottes depuis l'écorce jusqu'à la moelle. L'analyse de variance montre des différences significatives pour tous les paramètres de la couleur, à 1 % pour L*, a*, c*, h* et Wi et 5 % pour b*. Généralement on distingue trois zones de couleurs différentes sur nos carottes de sondage.

Pour la clarté L* deux groupes se distinguent, le premier est formé par les 20 derniers cernes du côté écorce

ce qui correspond à la zone aubier qui est très claire; le deuxième groupe est formé par la zone intermédiaire et le duramen qui ne montrent pas de différences significative entre eux. Nous avons trouvé les mêmes tendances pour l'indice de blancheur Wi, le coordonnée a* (rouge-vert) et la teinte h*.

La coloration jaune du bois de cèdre (b*) ne diffère pas entre l'aubier et le duramen; la même tendance est remarquée pour la saturation c*.

Etude de la couleur en fonction des trois zones

L'analyse de variance (tableau 18) montre des différences significatives au seuil de 1% pour la clarté L* et la couleur rouge a*. La coordonnée b* ne diffère entre les trois zones qu'au seuil de 5 %.

La zone la plus claire est celle de l'aubier. Entre la zone intermédiaire et le duramen proprement dit on ne dis-

tingue pas de différence significative. Ce qui n'est pas surprenant puisque la limite entre l'aubier et le duramen est très nette. La zone intermédiaire représente la partie la plus rouge dans les arbres, c'est aussi la partie la plus jaune ; ces colorations fortes peuvent être expliquées par des taux de résine et d'extraits à l'eau plus élevés dans la zone intermédiaire, la densité y est aussi légèrement plus élevée.

L'analyse factorielle discriminante à deux dimensions (figure 10) montre que seules la clarté L* et la couleur rouge a* peuvent contribuer à la différenciation de la couleur entre les zones ; b* ne donne pas d'informations supplémentaires. Dans le bois de cèdre on distingue surtout deux zones différentes: l'aubier et le duramen; la zone intermédiaire faisant partie du duramen ne présente pas trop de différence avec le duramen lui-même, ce qui veut dire que

la limite entre l'aubier et le duramen est brusque chez le cèdre de l'Atlas.

Influence du mode de traitement et du substrat sur la couleur du bois de cèdre

Cette analyse a été réalisée sur la partie duramen y compris la zone intermédiaire afin de vérifier quel sera le facteur qui explique le mieux la variation de la couleur du bois de cèdre entre les arbres. Nous avons constaté une différence significative au seuil de 5 % entre les deux types de substrat concernant la clarté L^* , la saturation c^* et le paramètre a^* . Les arbres les plus clairs sont ceux qui se développent sur un substrat basaltique ; par contre la coloration rouge la plus forte est observée chez les arbres issus du substrat calcaire. Aucune différence n'a été observée entre ces deux types de substrat concernant la coloration jaune b^* , ou bien la teinte h^* .

L'AFD (figure 11) nous montre que le groupe 3 caractérisant la futaie jardinée s'individualise nettement du côté positif caractérisant ainsi les coordonnées a^* et b^* et la saturation c^* c'est à dire que les arbres issus de ce mode de traitement seraient plus rouges et plus jaunes, par conséquent leur saturation est forte. Nous n'avons pas relevé de distinction entre le groupe de régénération et celui

d'amélioration, ce qui signifie que la couleur du cèdre évolue de la même façon au sein de la futaie régulière.

On peut donc conclure que la sylviculture peut intervenir dans la variation de la couleur du bois de cèdre surtout pour les paramètres a^* , b^* et c^* . Il serait donc souhaitable d'étudier l'influence des éclaircies, avec des modalités différentes, sur la variation de la couleur. Le type de substrat joue aussi un rôle sur la variation de la clarté L^* , a^* et la saturation. Il serait intéressant d'élargir le champ de travail en vérifiant la variabilité de la couleur du cèdre de l'Atlas sur plusieurs types de substrats.

L'ensemble de ces résultats nous montre que le bois de cèdre de l'Atlas est classé parmi les espèces à duramen bien distinct. Sachant que cette partie de l'arbre est mieux appréciée par les utilisateurs du bois de cèdre, il conviendrait d'appliquer un traitement sylvicole adéquat favorisant son développement à un âge plus précoce. Notre étude nous a montré qu'il serait préférable de traiter les cédraies en futaie régulière pour aboutir à ce résultat.

L'étude de la couleur nous confirme la distinction de deux zones dans le

bois de cèdre, l'aubier et le duramen, la limite entre ces deux zones est brusque. Deux paramètres interviennent dans la différenciation de la couleur entre les zones: la clarté et la coloration rouge.

Le traitement sylvicole joue un rôle dans la variation de la couleur surtout pour les paramètres a^* , b^* et c^* . Par contre les paramètres L^* et h^* restent les mêmes quel que soit le mode de traitement appliqué.

Par comparaison avec d'autres espèces, surtout des feuillus (tableau 19), on peut dire que le bois de cèdre présente une clarté comparable à celle de l'ali-sier, et qu'il est plus clair que les chênes et le frêne à fleurs, sa saturation et sa teinte sont plus faibles que celles des feuillus. La comparaison de la couleur avec celle du genévrier (résineux) nous montre que le cèdre est très clair, sa coloration rouge est plus faible, présentant une saturation moins prononcée et une teinte plus faible.

Nous pouvons donc conclure que le bois de cèdre de l'Atlas, clair, d'une coloration rouge plus faible que celle du genévrier (employé dans les mêmes usages), sera un bois beaucoup plus apprécié dans l'ameublement.

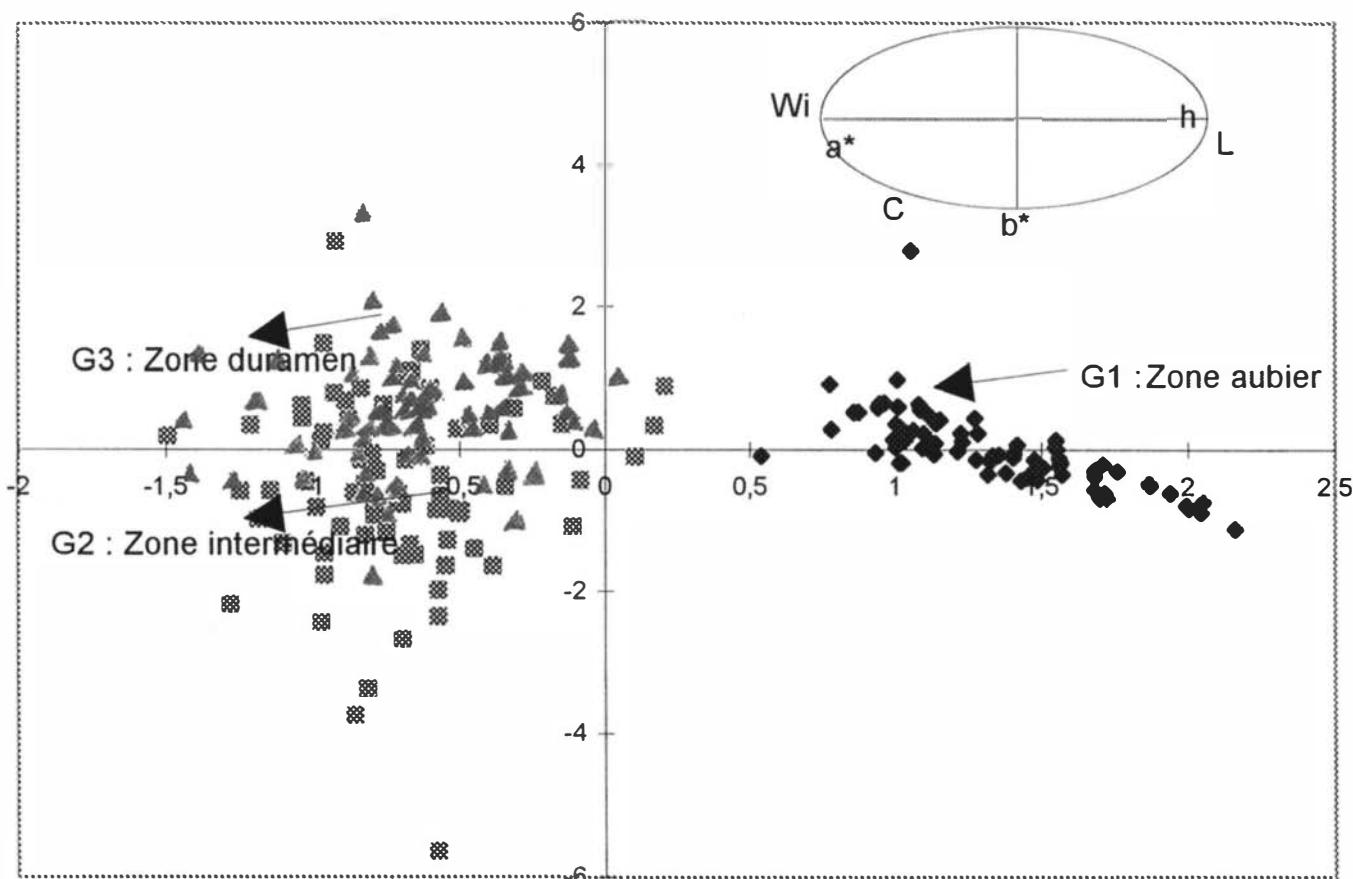


Figure 10 : AFD - Variation de la couleur sur les carottes de sondage (75 arbres)

Espèce	L*	a*	b*	c*	h*	Auteur
<i>Quercus petraea</i>	72,16	9,98	22,77	24,86	66,33	Klumpers(1990)
<i>Quercus robur</i>	71,01	9,79	22,99	24,99	66,94	Klumpers (1990)
<i>Sorbus torminalis</i>	73,82	12,72	21,41	24,8	62,80	Sevrin (1992)
<i>Fraxinus ornus</i>	70,19	10,37	24,13	26,35	66,09	Lavisciet al (1989)
<i>Juniperus phoenicea</i>	62,34	14,33	34,76	37,64	67,80	Lavisci et al (1989)
<i>Cedrus atlantica</i>	73,40	10,25	18,65	21,45	61,45	El Azzouzi (1995)

Tableau 19: Comparaison de la couleur du bois de cèdre avec d'autres espèces

Les propriétés mécaniques du bois de cèdre de l'Atlas

Ellatif (1975) a réalisé des essais mécaniques sur des éprouvettes normalisées du bois de cèdre de l'Atlas provenant de France et il a réalisé des mesures sur trois zones du bois : le cœur, la zone intermédiaire et l'aubier. Nous présentons ses résultats

sur le tableau 20.

Nous pouvons tirer de ces résultats les conclusions suivantes :

- En compression axiale nous remarquons une légère supériorité pour les échantillons de Rialsesse ; entre les zones nous remarquons que plus on s'approche du cœur de l'arbre, meilleure est la résistance à la compression.

- En flexion statique, c'est toujours la provenance de Rialsesse qui domine ;

- Les échantillons issus du Petit Luberon présentent une faible résistance par rapport aux deux autres sauf pour la résilience.

Propriétés chimiques du bois de cèdre de l'Atlas

Par comparaison avec d'autres résineux on constate d'après le tableau 21 que le bois de cèdre contient les taux de lignine et de cellulose les plus forts, et le taux d'hémicelluloses le plus faible.

Après une étude chimique du bois de cèdre de l'Atlas, Quiquandon

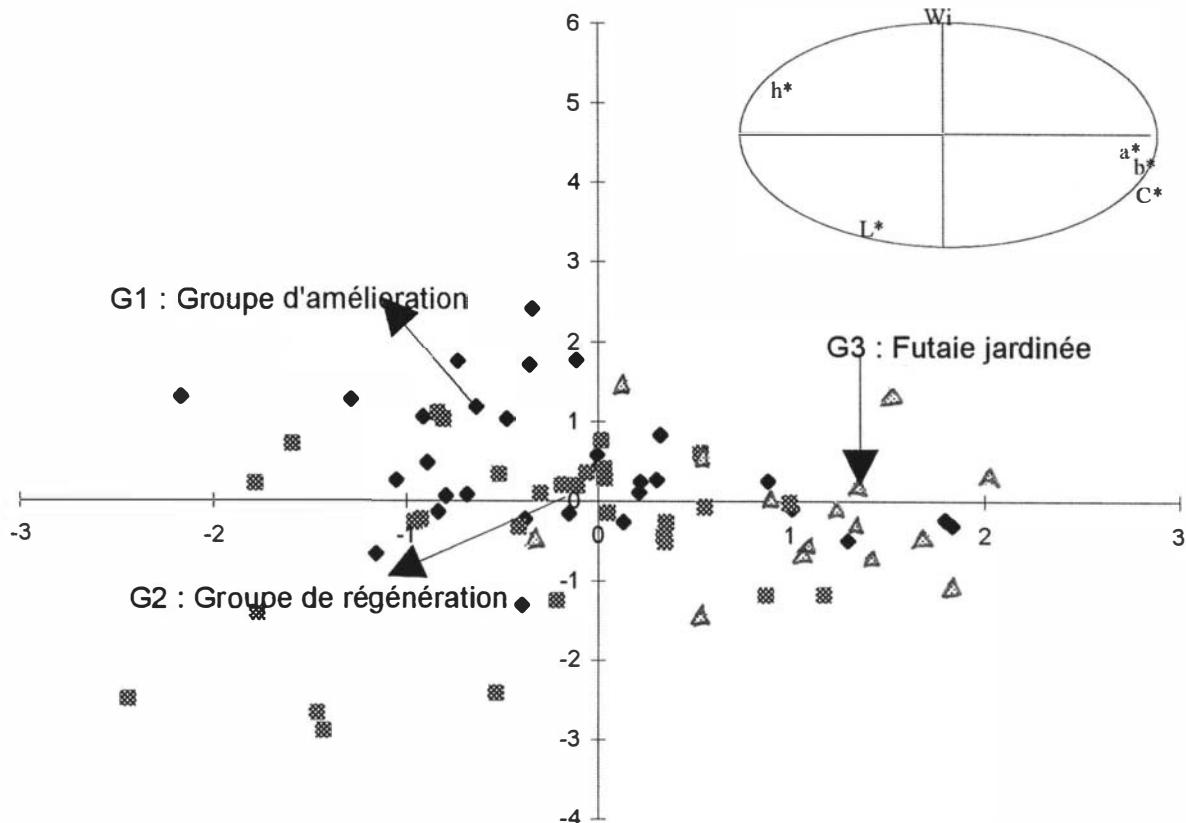


Figure 11 : AFD - influence du mode de traitement sur la couleur (75 arbres)

Provenances	Rialsesse			Ventoux			Lubéron		
Caractéristiques mesurées	aubier	inter	coeur	aubier	inter	coeur	aubier	inter	coeur
compression axiale en (daN/cm ²)	580	620	650	509	540	520	*****	*****	*****
module d'élasticité en flexion statique (daN/cm ²)	110000	100000	123000	99000	84000	73400	75000	73000	78000
chiffre de fatigue à la flexion (daN/cm ²)	1000	1050	1050	920	970	880	710	670	750

Tableau 20: Caractéristiques mécaniques du bois de cèdre de l'Atlas (d'après Ellatif, 1975)

Essence	Cèdre de l'Atlas	Sapin	Pin sylvestre	Pin maritime
Cellulose (en %)	50	48,2	46,8	47,1
Hémicelluloses (%)	12,10	20,5	25,3	25,2
Lignine (en %)	32	26,9	24,2	25,6
Résine (en %)	1,45	====	2,5 à 4,8	2 à 4
Extraits à l'eau(%)	4,24	3,7	1,7	1,3
Cendre (en %)	0,31	0,66	0,33	0,30
Auteur	Quiquandon 1976	Janin 1983	Janin 1983	Janin 1983

Tableau 21: Représentation des moyennes des résultats des mesures chimiques pour le bois de cèdre de l'Atlas trouvées par Quiquandon (1976, op.cit.), comparés aux autres espèces citées par Janin (1983)

N.B.: Tous ces résultats sont exprimés en pourcentage par rapport au bois anhydre.

(1976, op.cit.) montre que le pourcentage des résines et d'huiles essentielles très aromatiques est de l'ordre de 1,08 à 1,62 % par rapport au poids sec. Ce même auteur constate que le taux d'extraits pour le cèdre de provenances françaises est sensiblement inférieur à celui contenu dans le bois de cèdre provenant de l'Afrique du nord, mais il resterait à vérifier cette comparaison qui comportait certains aspects qualitatifs (visuels).

La valeur moyenne du taux de résine que nous avons trouvé est de 1,61 %, celle du taux d'extraits à l'eau chaude est de 8,22% ; le taux d'extrait total (résine comprise) est de 9,78%. A première vue, nous constatons que le bois de cèdre de l'Atlas n'est pas très rési-

neux par rapport à d'autres espèces telles que l'épicéa commun avec 2,3%, le pin d'Alep avec 4,6%, le pin maritime avec 6,9%, le pin radiata avec 5,7% ou encore le douglas avec 6%. Nous savons que le bois de cèdre ne contient que du parenchyme longitudinal et éventuellement des canaux traumatiques mais pas de canaux résinifères "normaux", et c'est sans doute la raison pour laquelle son taux de résine est faible. Par contre, le taux d'extraits est très élevé par rapport à d'autres résineux sauf quelques pins et le douglas qui s'en approchent. Sachant que le bois de cèdre de l'Atlas présente un duramen bien développé, ce résultat ne nous paraît pas surprenant parce que c'est ce phénomène de duraminisation

qui est la principale source de présence et de la variabilité du taux d'extraits.

L'analyse de variance nous fait apparaître que les arbres issus du substrat basaltique (1,64 %) sont plus résineux que ceux du calcaire (1,43%). Le mode de traitement joue un grand rôle dans la variabilité des taux de résine, une différence significative au seuil de 1% est observée entre les trois traitements avec un taux plus élevé chez le groupe de régénération (1,73%). Entre les trois zones, nous constatons que le taux de résine le plus faible est localisé dans le duramen (1,33 %); la zone intermédiaire présente le taux le plus élevé (1,83 %). Cette zone contient peut-être beaucoup plus de cellules de parenchyme

ou de canaux traumatiques qui emmagasinent la résine.

En ce qui concerne le taux d'extraits à l'eau chaude nous constatons qu'il varie d'une façon très significative entre les deux types de substrats et c'est toujours le basalte (8,9 %) qui présente les valeurs les plus élevées par rapport au calcaire (7,03 %) ; la richesse chimique du premier substrat est-elle à l'origine de cette différence ?

Entre les modes de traitement, nous avons observé une différence significative au seuil de 1% et comme pour le taux de résine ce sont les arbres issus du groupe de régénération qui contiennent le plus d'extraits (9,7 %). L'effet zone est très marqué pour le taux d'extraits car nous distinguons deux groupes différents au seuil de 1%, d'abord celui de l'aubier avec la plus faible valeur de taux d'extraits (6,75 %) puis celui qui regroupe le duramen et la zone intermédiaire (8,94 %). Ce résultat semble logique parce que la duraminisation, comme nous l'avons déjà signalé, est responsable de la présence d'extraits dans le bois. Ce résultat confirme celui de Kabbaj (1979, op. cit.) qui trouve exactement les mêmes proportions des taux de résine et d'extraits à l'eau chaude.

Le taux de résine est généralement faible par rapport aux autres résineux, les arbres les moins résineux sont ceux du Massif du Lubéron. Par contre le taux d'extrait à l'eau chaude est très élevé chez le bois de cèdre de l'Atlas, ce qui est dû certainement à la duraminisation qui est assez forte chez cette essence.

Propriétés technologiques du bois de cèdre de l'Atlas

Quiquandon (1976 op cit.) a étudié les principales caractéristiques technologiques du bois de cèdre de l'Atlas en effectuant des essais sur des planches de provenances des reboisements fran-

çais. Il a constaté que le sciage est très facile parce que le bois est relativement tendre. Au cours de cette opération il a constaté que :

- les débits se comportent bien c'est à dire que le bois n'est pas nerveux ;
- l'éjection des sciures est bonne ;
- aucune fente n'apparaît au cours du sciage.

Le séchage du bois de cèdre de l'Atlas est rapide et ne présente pas de difficultés particulières (déformations, fentes ou gerces). Au moment du séchage artificiel, le dégagement et la condensation d'huiles essentielles volatiles peuvent éventuellement entraîner quelques inconvénients mineurs. Collardet et al. (1988 op.cit.) ont déterminé des conditions de séchage pour le bois de cèdre de l'Atlas :

* à l'air libre, il faut compter environ 75 jours d'empilage pour des planches de 30 mm d'épaisseur durant le printemps sous un climat français. Pour le cas du Maroc, il faut compter une durée moins longue.

* en séchage artificiel, il faut une durée de 36 heures pour obtenir des bois à 12 % d'humidité pour des planches de 30 mm d'épaisseur. La température de séchage du début jusqu'à la fin de l'opération est comprise entre 70 et 80°C.

La qualité de l'usinage a été satisfaisante pour Quiquandon (1976 op cit.). Néanmoins, il a observé quelques difficultés provenant des noeuds et des zones de contre-fil au voisinage de ces noeuds, qui se manifestent par l'enracinement des outils.

Le déroulage est réalisé après étuvage à une température de 80°C pendant une durée de 32 heures (Quiquandon, 1976 op.cit.). Cet auteur a obtenu des résultats satisfaisants pour des placages d'une épaisseur de 1 mm et de 3,5 mm. Ces placages de qualité serviront surtout à la fabrication de contre-plaqués.

D'après Quiquandon (1976 op.cit.) et Collardet et al. (1988 op.cit.), le tranchage après étuvage serait possible et pourrait donner des feuilles d'un aspect très décoratif.

Le collage du bois de cèdre de l'Atlas peut être réalisé facilement avec tous les types de colle. Quiquandon (1976 op. cit.) a constaté que la résistance mécanique est supé-

rieure à celle du bois massif adjacent au plan de collage, ce qui peut être expliqué par une forte pénétration de colle dans le bois.

Le clouage et le vissage ne présentent pas de difficulté, sachant que le bois de cèdre est tendre, mais il existe pourtant quelques risques de fentes.

Le bois de cèdre de l'Atlas se prête facilement à la finition par la peinture et par le vernissage. Un léger défaut peut se manifester lors de l'exposition à l'ensoleillement, c'est le jaunissement du bois, mais ce problème peut être évité si l'on utilise des finitions appropriées notamment du point de vue du solvant.

Autres propriétés du bois de cèdre de l'Atlas

Propriétés papetières

Le bois de cèdre de l'Atlas donne un rendement assez faible (environ 45%) en pâte à papier (Toth, 1990 op.cit.). Les longueurs des fibres sont voisines de celles de l'épicéa commun (ce qui lui donne l'avantage de pouvoir être mélangé avec des pins pour améliorer la qualité de la pâte). Nous présentons quelques résultats de dimensions des fibres trouvés par Quiquandon (1976, op.cit), nous nous limitons aux moyennes trouvées sur des échantillons provenant de deux provenances françaises (le Mont-Ventoux et le Rialsesse) :

* longueur des fibres : $L = 2920 \mu\text{m}$

* diamètre des fibres : $d = 40 \mu\text{m}$

* Epaisseur des parois : $e = 5 \mu\text{m}$.

Cet auteur avait constaté que la différence entre les deux provenances n'est pas significative concernant les dimensions des fibres, mais ces dimensions sont beaucoup plus faibles à la base de l'arbre et du côté de la moelle. D'autres mesures effectuées par le même auteur montrent que le bois de cèdre de l'Atlas présente de bonnes aptitudes papetières, telles que :

* l'indice de feutrage (longueur/diamètre) qui est de : 75 ;

* le coefficient de souplesse ($100 \times (d - 2e)/d$) qui est de : 75.

Durabilité naturelle

La durabilité naturelle est un facteur d'une extrême importance pour les utilisations du bois surtout quand il est employé au contact du sol ou à l'extérieur où il serait exposé aux intempéries. Le bois de cèdre est caractérisé par une durabilité naturelle plus élevée que celle des autres résineux à l'exception de l'if et du thuya. Jacquiot et al., (1972) ont montré que le bois de cèdre de l'Atlas fait partie des résineux qui résistent le mieux aux intempéries, ainsi qu'à la mérule.

Classement, prix et utilisation du bois de cèdre de l'Atlas

Lors de nos prospections de terrain au Maroc, nous avons effectué des enquêtes auprès de certains scieurs de bois de cèdre de l'Atlas. Notre questionnaire portait sur le rendement et la qualité du bois qu'ils préfèrent ainsi que les prix d'achat et de vente.

Le secteur du sciage au Maroc connaît beaucoup de problèmes (Krari 1987). L'exploitation forestière emploie une main-d'œuvre non qualifiée et un matériel vétuste, ce qui rend le rendement des scieries faible, environ 42,6 % (Benchekroun, 1994 op.cit.), et de l'approvisionnement en bois très faible. Le classement des bois est fondé sur le système français en donnant plus d'importance aux singularités de structure (les noeuds) et aux altérations. Cet auteur donne les six produits principaux qu'on peut dégager après une exploitation sachant que 57,4% seulement donnent un choix pour les cinq produits qu'on appelle produits principaux, le reste est défectueux et serait destinée à l'industrie des panneaux (tableau 22) :

Produit	Critères de choix de produits
-Ebénisterie	0 noeud/mètre
- Menuiserie	1 noeud /mètre
- Courant	2 à 3 noeuds /mètre
- Coffrage et caisserie	4 à 5 noeuds/mètre
- Défectueux	bois attaqué par le <i>Tramete pini</i>
- Produits secondaires (lattes...), les déchets (arêtes des planches, sciure,...) et le bois de feu.	***** ***** *****

Tableau 22: Les principaux produits fournis par l'exploitation de la cédraie marocaine

En ce qui concerne les prix du bois au Maroc, un lot d'arbres de cèdre situé dans la meilleure forêt est acheté à près de 700 F/ m³ et ce lot peut fournir:

- * 10 % du 1er choix qui serait vendu près de 5000 F/ m³ ;
- * 20 % de 2ème choix qui serait vendu près de 3500 F/ m³ ;
- * 20 % de 3ème choix qui serait vendu près de 1800 F/ m³ ;
- * 30 % de 4ème choix qui serait vendu près de 800 F/ m³ ;
- * 20 % de 5ème choix qui serait vendu près de 400 F/ m³.

En France, le prix varie selon les régions, par exemple dans la forêt domaniale de Rialsesse 700 m³ de bois ont été vendus à 580 F/m³ (Toth, 1990 op.cit). Dans le Vaucluse où les productivités, les volumes unitaires rencontrés sont inférieurs et où les utilisateurs sont rares, les prix atteignent 200 à 250 F/m³ (Courbet, 1994 op.cit.).

N.B.: Le change moyen du mois d'octobre 1995 : 1 Franc = 1,68 Dirhams.

Comme nous l'avons déjà signalé, le bois de cèdre a été utilisé depuis la plus haute antiquité. Les Marocains le considèrent comme le bois le plus précieux et comme une richesse nationale qu'il faut valoriser dans le bon sens.

Nous l'avons utilisé depuis des siècles pour la charpente et la menuiserie extérieure et intérieure. La plupart des monuments historiques en témoignent tels que l'école Bouanania

et la grande université d'El Karaouïne à Fès, la Koutoubia à Marrakech et beaucoup d'autres écoles, mosquées, palais et chalets que nous trouvons généralement dans les grandes villes (Rabat, Fès, Salé, Meknès...), ainsi que les ksours au sud du Maroc. C'est avec le cèdre de l'Atlas que sont faits leurs plafonds sculptés, les grandes portes et portails, les escaliers, les parquets...

Le cèdre est utilisé aussi en ébénisterie. Les Marocains l'apprécient beaucoup surtout dans la fabrication des meubles rustiques et des accessoires décoratifs, sa renommée est due, en dehors de la qualité de son bois, à son odeur caractéristique et sa résistance aux attaques des insectes et champignons.

Quiquandon (1976 op.cit.) le recommande surtout pour la menuiserie extérieure exposée aux intempéries, telles que les portes, les fenêtres, le bardage, etc...

Collardet et al (1988, op.cit.) le recommandent, en plus de tout ce qui a été signalé auparavant, pour la fabrication traditionnelle des coffres à laine.

Le bois de cèdre a été utilisé aussi pour la fabrication des crayons et des poteaux de lignes téléphoniques ou électriques.

En ce qui concerne les produits secondaires, Toth (1990) a signalé que la résine et l'huile de cèdre, dans l'antiquité, étaient très recherchées. Les Egyptiens les utilisaient pour embaumer les morts. De plus, les objets enduits avec l'huile de cèdre

Tableau 23 : récapitulatif des résultats des effets des traitements sylvicoles et de type de substrats sur les différentes propriétés du bois de cèdre de l'Atlas.

H : Hauteur ; **LMC** : largeur moyenne de cernes ; **Rvol** : retrait volumétrique ; **Rt/Rr** : anisotropie de retrait ;
L* : clarté ; **a*** : coordonnée rouge-vert ; **b*** : coordonnée bleu-jaune ; **EL** : modèle d'élasticité dynamique

étaient garantis contre les mites. Il a cité ensuite de nombreux produits que l'on peut extraire du bois de cèdre de l'Atlas à l'occasion de la transformation en charbon de bois :

* charbon de bois	23,0 %
* brais	3,5 %
* huiles moyennes et lourdes	5,0 %
* huiles légères	1,4 %
* acétone	0,8 %
* alcool méthylique	0,5 %

A cause de son odeur, le bois de cèdre de l'Atlas est déconseillé pour la fabrication des rayonnages et des emballages de produits alimentaires.

Conclusion

L'étude de la qualité du bois que nous avons réalisée pour cette monographie a permis de faire progresser les connaissances sur les propriétés technologiques du bois de cèdre de l'Atlas, en apportant un certain nombre de renseignements intéressants pour les gestionnaires de la forêt comme pour les utilisateurs de ce bois. Elle nous a permis aussi de mettre en évidence l'action de la sylviculture et du type de substrat sur la variation de sa qualité. Les recherches que nous avons entreprises nous permettent de tirer les conclusions suivantes (tableau 23) :

1- Pour le premier échantillonnage, nous avons analysé l'effet du mode de traitement et du substrat sur la qualité du bois. Nous avons constaté que les

arbres qui poussent sur un substrat basaltique donnent un bois à croissance plus rapide, de densité légèrement plus élevée et d'une coloration plus claire que ceux issus du substrat calcaire, le retrait étant le même. Le mode de traitement n'a aucun effet sur la croissance en diamètre des arbres, par contre la croissance en hauteur en dépend ; nous avons trouvé que pour les mêmes diamètres les arbres poussent beaucoup plus en hauteur en futaie régulière. Pour les deux modes de traitements (futaies régulière ou jardinée), le bois de cèdre présente pratiquement les mêmes valeurs de densité et de retrait, par contre un effet significatif a été constaté sur les paramètres de la couleur a^* , b^* et c^* , qui ont tendance à être plus élevés pour les arbres qui poussent en futaie jardinée. Donc, les forestiers ont tout intérêt à faire pousser le cèdre sur substrat basaltique en pratiquant le mode de traitement de la futaie régulière, qui a l'avantage d'être plus pratique pour les exploitations forestières ainsi que pour la gestion sylvicole courante. Même sur du calcaire, le cèdre convient très bien, il faut seulement pratiquer des éclaircies tout au long de la vie du peuplement de façon périodique.

2- Pour le deuxième échantillonnage, nous avons analysé l'effet des modalités d'éclaircies sur la variabilité de la qualité du bois ; pour cela nous avons travaillé dans trois placettes expérimentales, le Sehbe au Maroc, le Luberon et le Rialsesse en France.

De cet échantillonnage, nous avons

pu constater (tableau 23) que la croissance en diamètre des arbres est d'autant plus élevée que l'intensité d'éclaircie est forte. Mais la différence n'est généralement pas significative entre les éclaircies, c'est surtout entre les arbres issus du témoin et ceux issus des éclaircies que l'on constate cette différence. Il serait donc souhaitable d'appliquer au moins des éclaircies moyennes pour avoir une production plus élevée à l'échelle du peuplement. Nous avons aussi constaté que les modalités d'éclaircie ne diminuent pas la qualité du bois vis-à-vis du retrait, mais que, par contre, elles interviennent parfois pour améliorer cette qualité comme pour le cas de Rialsesse. La densité reste invariable ou diminue légèrement avec les éclaircies. L'étude microdensitométrique nous a montré, que parfois même la densité augmente quand on applique des éclaircies modérées, comme c'est le cas pour le Rialsesse. Dans le cas de Sehbe, on garde la même densité quelle que soit la vitesse de croissance. Au Luberon, on ne perd que peu en densité. Cette tendance est liée surtout à une texture très élevée, et qui est d'autant plus élevée que la largeur de cerne est forte, ce qui est remarquable car c'est un phénomène très rare chez les résineux.

Que faut-il donc faire , pour accélérer la production , en diminuant l'âge d'exploitabilité des peuplements, sans nuire à la qualité du bois ?

Les sylviculteurs ont donc tout intérêt à faire pousser le cèdre le plus rapidement possible.

vement possible en pratiquant des dépressions précoce et des éclaircies fréquentes et modérées ; ainsi l'âge d'exploitabilité pourrait être réduit. L'application de ces éclaircies dans ces conditions n'aura pas d'effet néfaste pour la qualité du bois comme ce serait le cas pour de nombreuses autres espèces résineuses, c'est donc un résultat original et plus que satisfaisant.

Le cèdre issu des reboisements français présente une qualité du bois comparable à celle du cèdre provenant du Maroc. On pourrait donc encourager son extension sans crainte.

Une comparaison des propriétés physiques, mécaniques et chimiques, du bois de cèdre de l'Atlas avec celles de cinq espèces résineuses dont le bois est bien commercialisable a été réalisée sous forme d'un tableau synoptique (utilisé généralement par le C.T.F.T.). Dans le tableau 24, on constate que le bois de cèdre se comporte très bien par rapport aux autres résineux. Il présente une densité satisfaisante avec une valeur moyenne de l'ordre 600 g/dm³, un retrait faible (8 % sur le volume entre l'état saturé et l'état anhydre) donc une bonne stabilité dimensionnelle du bois. Il présente un duramen bien développé d'une couleur assez claire. On pourrait donc accroître ses utilisations "nobles" comme le déroulage et le tranchage, mais à condition de procéder d'abord à un élagage des branches vivantes précoce et vigoureux permettant :

- de diminuer la proportion du bois juvénile, dont les propriétés technologiques sont médiocres, en accélérant son passage au bois adulte ;

- d'éliminer bien entendu les noeuds;

- de réduire les risques d'attaque de champignons (*Trametes pini*). Pour la même raison nous recommandons aux forestiers marocains d'abattre tous les arbres attaqués.

Il est donc temps de consacrer au cèdre, essence remarquable, un programme raisonné et complet de recherche sur sa qualité du bois à l'échelle nationale voire circum-méditerranéenne.

K. E. A. et R. K.

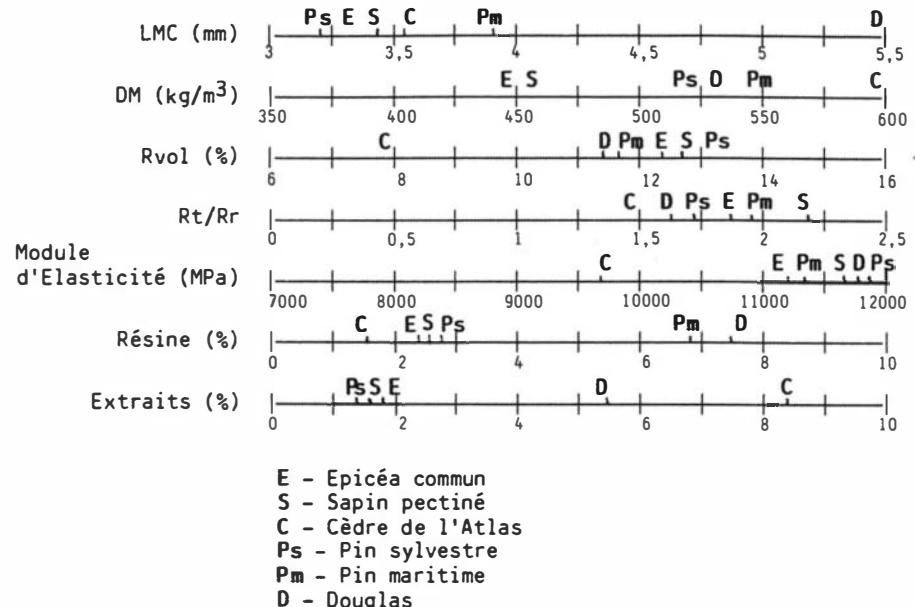


Tableau 24 : Comparaison des propriétés technologiques du bois de cèdre de l'Atlas aux résineux les plus utilisés dans l'industrie du bois en France

Bibliographie

- BENCHEKROUN F., 1994. L'économie de la cédraie marocaine et son impact sur le développement des collectivités locales. Ann. Rech. For. Maroc, vol. 27, p.: 713-724.
- BOSSHARD H.H., 1965. Aspects of aging process in cambium and xylem. Holzforschung, vol. 19, n° 3, p.: 65-69.
- CAMPREDON J., 1934. Le bois de cèdre. -Étude des propriétés physiques et mécaniques de quelques bois exotiques. Annales de l'Ecole Nationale des Eaux et Forêts et de la Station de Recherches et d'Expériences Forestières, vol. 5, n° 2, p.: 195-210.
- COLLARDET J. et BESSET J., 1988. Bois commerciaux : Les résineux (conifères). CTBA. 277 p.
- COURBET F., 1994. Stratégie de recherches pour l'étude et la prédiction de la croissance et de la qualité du bois du cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica Manetti*) en France. -Ann. Rech. For. Maroc, vol. 27, p.: 639-656.
- DILEM A., 1992. Contribution à l'étude du déterminisme de quelques propriétés de base du bois de pin d'Alep (*Pinus halepensis Mil.*). Conséquences pour la sélection, la sylviculture et l'évaluation de la qualité de la ressource en Algérie. Nancy: Thèse de docteur de l'I.N.P.L., 133p.
- EL AZZOUZI K., 1992. La qualité du bois,
- référence pour le choix d'une bonne sylviculture. Cas du cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica Manetti*). Communication pour le congrès de technologie du bois; Avignon, Mai 1992.
- EL AZZOUZI K., BARROUCH L., KELLER R., 1992. Influence de la sylviculture et de la station sur les propriétés technologiques et physiques du bois de cèdre de l'Atlas au Maroc "*Cedrus atlantica Manetti*". Acte de la conférence plénière. Div. 5 "produits forestiers" I.U.F.R.O. Nancy-France. p: 166.
- EL AZZOUZI K., KELLER R., 1994. L'influence de la sylviculture sur quelques propriétés physiques du bois de cèdre d'Atlas (*Cedrus atlantica Manetti*). Ann. Rech. For. Maroc, vol. 27, p.: 657-671.
- EL AZZOUZI K., 1995. Propriétés technologiques du bois de cèdre de l'Atlas ; influence de la sylviculture pratiquée sur plusieurs types de substrats. Thèse de docteur de l'ENGREF. 190p.
- ELLATIFI M., 1975. Contribution à l'étude de la qualité du bois de *Cedrus atlantica Manetti* au moyen d'essais classiques sur éprouvettes normalisées. DEA en biologie végétale, Université de Nancy. 149 p.
- EL KRARI, 1987. Le sciage du cèdre au Maroc. Étude techmico-économique. Mémoire de 3ème cycle Agronomie: option technologie du bois, IAV Hassan II-Rabat.
- EL RHAZI M. 1981. Étude des effets des éclaircies sur la qualité du bois de *Cedrus*

- atlantica* Manetti (densité, retrait et modules d'Young dynamiques mesurés sur carottes de sondage). Université de Nancy I. (Thèse de Docteur-Ingénieur).
- FREY-WYSSLING A., BOSSHARD H.H., 1959. Cytology of the ray cells in sapwood and heartwood. Holzforschung, vol. 13, n° 5, p.: 129-137.
- JACQUIOT C., FOUGEROUSSÉ M., 1972. Guide pour l'utilisation pratique de la durabilité naturelle des bois, Paris: C.T.B, 15 p.
- JANIN G., 1986. La couleur du bois, un facteur clé de qualité. Mesures, 17 Mars 1986, p.: 61-65.
- JANIN G., 1986. Mesure de la couleur du bois; intérêt agronomique, technologique et économique. In: Colloque Scientifique International, ARBORA, p.: 171-183.
- KABBAJ A., 1979. Contribution à l'étude des relations entre certains facteurs écologiques, la duraminisation et quelques caractéristiques physiques du bois de cèdre dans quelques stations types du Moyen Atlas marocain. Mémoire de fin d'étude. Faculté des Sciences Agronomiques de l'Etat, Gembloux, Belgique, 135 p.
- KLUMPERS J., 1990. La couleur du bois de chêne: relation avec des facteurs sylvicoles, environnementaux et individuels. Son incidence économique. INRA, Université de Nancy, DEA Sciences du bois. 70 p.
- LAVISCI P., JANIN G., UZIELLI L. 1989. Qualité du bois de six essences du maquis méditerranéen. Forêt Méditerranéenne, vol.11, n° 1, p.: 69-78.
- NEPVEU G., 1987. Propositions pour l'étude des relations entre stations et qualité du bois. Champenoux: INRA-Station de recherche sur la qualité du bois, (document à distribution limité) 17 p.
- NEPVEU G., GASTER A., 1989. Acquis de la station de recherches sur la qualité du bois (SRQB) de l'INRA en matière de connaissance et le bois de réaction. Besoins en recherche sur le sujet perçus par ce laboratoire. Actes du premier séminaire interne «architecture, structure mécanique de l'arbre». Montpellier: Université de sciences et techniques du Languedoc, p.: 120-133.
- NEPVEU G., 1991. La variabilité du bois. -In Matériau bois, propriétés, technologie et mise en oeuvre. Association pour la Recherche sur le BOis en LORraine (ARBOLOR), p.: 128-182.
- QUIQUANDON B. 1976. Le bois de cèdre (*Cedrus atlantica*) provenant des reboisements français. CTB. 31p.
- RAHME E., 1972. Contribution à l'étude des propriétés physiques, mécaniques, microdensitométriques et papetières du bois de *Pinus brutia Ten.* de quatre stations du Nord-Ouest de la Syrie. Liaison entre caractéristiques et influence de divers facteur de milieu. Université de Nancy I. (Thèse de docteur ingénieur). 190 p.
- SEVRIN E., 1992. L'alisier torminal (*Sorbus torminalis Crantz*): Qualité du bois et conditions de croissance. Thèse de docteur de l'ENGREF. 242 p.
- STEWART C., 1966. Excretion and heartwood formation in living trees. Science 153, pp 1068-1074.
- TOTH J., 1990. Le cèdre II. Utilisation et qualité technologique du bois. La Forêt Privée, n° 197, p.: 57-60.
- VENET J., 1986. Identification et classement des bois français. 2ème édition revue par KELLER R. ENGREF-Nancy, 308 p.

Résumé

Certaines propriétés importantes du bois du cèdre de l'Atlas et leur variabilité ont été étudiées à partir d'échantillonnages non destructifs prélevés dans des peuplements au Maroc et en France.

Les caractéristiques prises en considération sont les suivantes :

- l'anatomie,
- la vitesse de croissance,
- la densité,
- le retrait,
- la couleur et la duraminisation,
- la teneur en résine et d'extraits à l'eau.

Elles ont été étudiées en fonction du type de substrat (roche-mère basaltique ou calcaire), du traitement sylvicole, (futaie régulière, futaie jardinée), de l'intensité des éclaircies.

Les propriétés du bois du cèdre de l'Atlas, comparées à celles d'autres résineux d'utilisation courante, apparaissent comme très bonnes : en particulier la densité du bois peut rester élevée, même dans le cas d'une forte vitesse de croissance, et son retrait est remarquablement faible. Cette essence mérite donc d'être très largement favorisée !

Summary

Some important wood properties of Atlantic cedar wood and their variability have been investigated from non destructive samples selected in forests of Morocco and France.

The following characteristics have been studied :

- wood anatomy
- rate of growth
- wood basic density
- shrinkage
- wood colour and heartwood formation
- oleoresin content
- extractives content (dissolved out by hot water).

The kind of the substratum (basalt or limestone), the silvicultural systems (shelterwood system or selection system) and the felling intensity have been taken into account.

The wood properties of the Atlantic cedar wood, compared with those of other well known softwoods, appear as very good ; particularly the wood density can remain at a high level even if the ring width is high, and its shrinkage is remarkably small. This species is very worth promoting !

Riassunto

Sulla base di campionamenti non distruttivi tratti da popolamenti in Marocco e in Francia sono state studiate alcune proprietà fondamentali del legno di *Cedrus atlantica* e le loro variazioni.

Le caratteristiche prese in considerazione sono state le seguenti :

- anatomia
- velocità d'accrescimento
- densità
- restringimento dovuto alla perdita d'acqua
- color e duraminizzazione
- tenuta in resina e in sostante estratte con l'acqua

Tali proprietà sono state studiate in funzione del tipo di substrato (roccia madre basaltica o calcarea), del trattamento selvicolturale (fustaia coetanea, fustaia disetanea) e dell'intensità dei diradamenti.

Le proprietà del legno di *Cedrus atlantica*, confrontate a quelle di altre resinose di attuale utilizzazione, appaiono molto buone : in particolare la densità del legno può mantenersi elevata perfino nel caso di un'alta velocità di accrescimento, inoltre la perdita in volume dovuta all'essiccamiento è considerevolmente debole. Pertanto questa specie merita di essere notevolmente favorita !