

Propriétés physiques du bois d'éclaircie des cèdres (*Cedrus atlantica*), contenant du bois de compression, provenant de l'Atlas du Djurdjura (Algérie)

Mahand MESSAOUDÈNE^a, Ali LOUKKAS^b, Gérard JANIN^{c,d,*}, Mourad Tafer^e, Abdelkader DILEM^f,
Joaquim GONÇALEZ^c

^a INRF, Station Régionale, BP 30 Yakouren 15365 Tizi-ouzou, Algérie

^b Parc National Thaniet El Had, 38000 Tissemsilt, Algérie

^c Université de Brasília, Departamento de Engenharia Florestal, 70 919 – 970 Brasília, Brésil

^d Adresse actuelle : 47 rue Roger Berin, 54270 Essey-les-Nancy, France

^e Institut d'Agronomie, Université Mouloud Mammeri, 15000 Tizi-Ouzou, Algérie

^f Laboratoire de Biotechnologie de Tiaret, 14000 Tiaret, Algérie

(Reçu le 28 novembre 2003 ; accepté le 5 avril 2004)

Résumé – Le bois du cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* Manetti) provenant de la cédraie du Djurdjura central, en Algérie, a fait l'objet d'une étude par une méthode destructive dans trois stations. Ces dernières se singularisent du point de vue de la densité du peuplement, l'exposition et la nature du sol. Au total 54 jeunes arbres (32 à 48 ans ; 4,5 à 7,9 cm de diamètre), soit 18 arbres par station ont été prélevés. Les essais physiques entrepris sur 486 éprouvettes normalisées, soit 9/arbre sont : l'humidité d'équilibre, le retrait axial, le retrait tangentiel, le retrait radial, le retrait volumétrique, l'anisotropie, l'infradensité et d'autres paramètres tels que l'indice d'excentricité et la largeur des cernes. À ce niveau d'investigation, il ressort que le bois de cèdre étudié présente des largeurs de cernes très faibles et une présence de bois de compression élevée. Ceci a conduit à l'apparition d'importants retraits axiaux et une surdensité. Le cèdre de l'atlas, à cet âge de référence se caractérise par des propriétés physiques élevées comparables à celles des arbres adultes. Son bois est qualifié de bois à retrait moyen, peu nerveux et lourd. L'analyse montre un effet relatif de la station et de l'arbre sur les propriétés physiques notamment le retrait axial.

Cedrus atlantica / propriétés physiques / bois / Algérie

Abstract – Physical properties of cedars wood (*Cedrus atlantica*), of thinning (with zones of compression wood) coming from the Atlas in Djurdjura (Algeria). The Cedar's wood of Atlas (*Cedrus atlantica* Manetti) coming from Djurdjura central forest, in Algeria, has been studied through the destructive method in three stations. These latter differ in density of population, exposure and nature of soil. In total, 54 young trees (32/48 years-old ; 4.5/7.9 cm diameter) were analysed, 18 trees in each station have been taken. The physical analyses done on (9 samples/tree) it means 486 normalized test-tube are: equilibrium of humidity, axial shrinkage, tangential shrinkage, volumetric shrinkage, anisotropy, infradensity and others parameters such as eccentricity index and of ring-width measurement. At this level of investigation, we notice that the cedar's wood presents a very low value of ring width, and the presence of very high compression wood ratio. This leads to the occurrence of an important axial shrinkage and overdensity. At this stage, the Atlas cedar is characterized by high physical properties which are similar to those of old trees. Its wood presents medium shrinkage and less nervous and heavy wood. This analysis shows an effect of the station and the tree over the physical properties in particular on the axial shrinkage.

Cedrus atlantica / physical properties / wood / Algeria

1. INTRODUCTION

En Algérie, la recherche forestière s'est axée principalement sur la préservation de la couverture végétale et son extension. Nous y relevons de grands projets qui ont marqué l'histoire du domaine forestier, entre autres le projet du barrage vert et les grands travaux de défense et de restauration des sols. En revanche, depuis les années quatre vingt, des études plus consistantes, avec une approche plus déterministe, ont vu le jour. Elles s'axaient essentiellement sur des recherches dans les domaines

de la phytosociologie, de la phytoécologie, de la bioclimatologie et de la biosystématique.

La recherche dans le domaine de la valorisation et de la connaissance de la qualité du bois produit par les forêts algériennes est rare et se limite à quelques travaux dispersés, et ce, en raison de l'absence de laboratoires spécialisés [4]. En ce qui concerne particulièrement le cèdre en Algérie, il n'existe, à notre connaissance, qu'une seule étude réalisée par [22] en 1976 et [17] en 2001. Au niveau du pourtour méditerranéen, cette espèce connaît depuis quelques années un regain d'intérêt sur plusieurs

* Auteur pour correspondance : gejanin@free.fr

domaines de recherche surtout en France et au Maroc. Le premier travail à rendre compte de la qualité du bois de cèdre [5], est une note datée de 1929. Une autre étude plus élaborée est venue quelques années plus tard [6] qui traite de l'aspect général de la qualité de ce bois. Des études ayant porté sur la qualité du bois et les conditions stationnelles sont ensuite venues [2, 7, 11–14, 16].

En 1996, l'Institut National de Recherches Forestières a initié un programme de recherche sur la qualité du bois. Les objectifs assignés à ce programme sont les qualifications des bois provenant des forêts algériennes d'une part, puis la mise en évidence des relations stations-qualité du bois d'autre part.

Dans le cadre de ce programme, il a été retenu deux essences forestières capables de fournir au marché algérien du bois d'œuvre dont il a grandement besoin : le cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* Manetti) et le chêne zéen (*Quercus canariensis* Willd). Ce travail constitue en fait le premier volet de ce programme qui va sans doute s'étaler sur d'autres essences aussi intéressantes. Si le pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill) constitue l'essence forestière principale en Algérie, s'étalant sur une superficie d'environ 800 000 ha, le cèdre demeure l'essence résineuse par excellence de par la rectitude de son fût, sa grande taille, son port majestueux et la qualité de son bois durable et odoriférant. La superficie recouverte par la cédraie est estimée à 20 000 ha [21], mais son aire climatique s'étend sur une surface plus importante. Comme le souligne [10], sa bonne productivité et ses qualités dans un contexte méditerranéen peu favorable constituent ses atouts majeurs. C'est sans doute l'essence phare de la sylviculture algérienne dans le futur.

Compte tenu de la problématique posée, une étude de la qualité du bois de cèdre en Algérie portant sur une population plus importante nous est alors apparue nécessaire. Pour l'aborder, nous étions contraints d'inscrire nos prélèvements d'arbres dans une logique d'éclaircie, dans la mesure où les coupes d'arbres adultes sont prescrites dans les parcs nationaux.

Ainsi, cette première approche nous permettra d'avoir une idée précise sur les propriétés du bois de jeunes arbres au stade de la première éclaircie. Il s'agit d'un travail d'anticipation à la connaissance des qualités technologiques du bois à un âge précoce. De nombreux travaux ont abordé cette méthode d'approche sur de jeunes individus allant du stade de fourré au bas perchis [18–20]. Ces auteurs mentionnent la possibilité de sélection phénotypique individuelle précoce du bois étant donné la bonne corrélation des propriétés physiques du matériau entre les stades juvénile et adulte.

2. MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1. Présentation du milieu d'étude

Le travail a été réalisé dans la partie centrale de l'Akouker du massif du Djurdjura, située de Tizi-Kouilal à Alma entre 1400 m et 1780 m d'altitude [17]. Le massif est constitué d'une grande unité structurale dite chaîne calcaire kabyle. Il est composé de terrains sédimentaires fortement plissés et fracturés. L'observation de la carte géologique du Djurdjura relève que les forêts de Kef et Tigounatine reposent sur du calcaire dolomitique et celle de Taouialt sur du grès rouge.

Les rares études pédologiques effectuées [3] distinguent deux types de sols principaux : les sols peu évolués de type A/C, généralement

calcimagnésiques (rendzines autochtones), d'une faible à moyenne profondeur qui se localisent sur le versant nord, et les sols bruns forestiers acides, de types A(B)C situés dans la zone de Tikjda sur le versant sud.

Le Djurdjura est l'une des régions les plus arrosées de l'Algérie ; la tranche pluviométrique annuelle enregistrée varie de 1200 mm à 1500 mm [1, 9]. Les précipitations ont lieu sous forme de pluie et de neige. Le Djurdjura central est caractérisé par une période à forte pluviosité s'étalant sur six mois, de novembre à avril – favorable à la croissance du bois de printemps (zone initiale), avec une tranche pluviométrique supérieure à la moyenne annuelle, soit plus de 80 % du total annuel. Le nombre de jours de pluie est de 100 jours par an et les mois les plus froids sont janvier, février et décembre [1]. Le Djurdjura se situe dans le bioclimat perhumide à variante fraîche.

Les principales formations sylvatiques du massif du Djurdjura sont des cédraies pures (40 %), des cédraies-chênaies vertes (30 %) et des chênaies vertes (13 %), le reste de la surface est constitué par des formations assylvatiques. Le pin noir, espèce endémique, existe sous forme de bouquets à Tigounatine-Kef et quelques sujets épars à Taouialt. Les groupements végétaux de Taouialt constituent l'ordre des *Quercu-Cedretalia atlanticae*. Cette formation s'inscrit dans l'alliance *Paoneo-Cedron* et l'association *Senecio perralderiani – Cedretum atlanticae*. On retrouve à Tigounatine et Kef les mêmes unités syntaxonomiques à l'exception de la présence de certaines espèces transgressives des *Lonicero-Juniperion hemisphaerica* témoignant d'une dégradation anthropique.

2.2. Choix des stations, des arbres et préparation du matériel végétal

Le prélèvement du matériel végétal a été réalisé dans trois jeunes cédraies (gaulis et perchis en mélange), denses, de structure jardinée et issues d'une régénération naturelle. Les stations ont été choisies principalement en fonction du critère topographique, du degré de recouvrement du sol par la forêt soit le % de la surface du sol recouverte par la projection verticale de la surface des houppiers ce qui indique le degré d'ouverture ou de fermeture du peuplement, de l'exposition et de la densité des peuplements. Les principales caractéristiques des trois stations sont récapitulées dans le tableau I.

Le choix et le prélèvement des arbres ont porté sur des arbres dans une population d'âges sensiblement égaux pour évaluer leurs propriétés en l'état de leur croissance. Le façonnage, le conditionnement du matériau et le débit des planches en ébauches ont été fait selon les modalités fixées par les normes NF 51-003, ISO 3129 (1975) et 4471 (1982). Au total 54 arbres ont été prélevés sur l'ensemble des stations considérées, soit 18 arbres par station. Le choix de ces arbres a été réalisé sur la base des critères suivants : rectitude, absence de tout défaut ou anomalie de forme des tiges. Nous avons prélevé sur chaque arbre une grume de 60 cm à 30 cm du collet.

2.3. Méthodes d'essais physiques

Les essais physiques ont été réalisés sur des éprouvettes normalisées et ont porté sur la détermination de l'humidité d'équilibre (He), de l'humidité maximale (Hmax), des retraits axial (RA), radial (RR) et tangentiel (RT), du retrait volumétrique total (RVT), du coefficient de retrait volumétrique (CRVT), de l'anisotropie (ANISO), de l'infra-densité (ID), de la densité à 12 % d'humidité (D12) et de la densité à l'état d'équilibre (De). Ils font références aux normes ISO 31330 (1975), ISO 3131 (1975), ISO 4469 (1982) et ISO 4858 (1982). Au total 486 éprouvettes par station sont utilisées (18 arbres × 9 essais × 3 répétitions). Pour le calcul de l'Indice d'excentricité (IE), comme nous avons travaillé sur des rondelles de 3 cm d'épaisseur prises à 30 cm du collet, sur chaque section, nous avons mesuré le plus grand diamètre (D), le plus petit diamètre (d), le plus grand rayon R et le plus

Tableau I. Caractéristiques des trois stations étudiées dans le massif du Djurdjura.

Paramètres	Stations					
	A		B		C	
Désignation	A		B		C	
Dénomination	Kef		Tigounatine		Taouialt	
Altitude (m)	1780		1800		1480	
Exposition	Nord Ouest		Nord est		Nord	
Pente (%)	25		30		40	
Densité (tiges/ha)	300		300		500	
Hauteur moyenne (m)	4,76		4,4		5,25	
Diamètres moyens (cm)	5,6		6,5		7,3	
Âges moyens (ans)	40		45		43	
Indice d'excentricité (IE)	1,39 %		1,31 %		1,27 %	
Largeur des cernes (LC)	0,702 mm		0,80 mm		0,88 mm	
Recouvrement du sol (%)	60		70		80	
Espèce principale	Cèdre de l'Atlas					
Type de sol	Rendzine autochtone		Rendzine autochtone		Rendzine brunifiée	
Horizons	A1	C	A1	C	A1	(B)
pH (KCl)	7,4	7,5	6,8	7,2	7,02	6,9
pH (eau)	7,8	8,1	7,7	8,1	8,0	7,8
Texture	S.L	S.L	L.S	S.L	S.L	A.L
C (%)	7,9	4,7	11,8	4,2	8,4	8,8
M.O. (%)	13,7	8,0	20,4	7,2	14,5	15,2
CaCO ₃	63,1	58,8	8,5	29,7	7,1	5,2
N (%)	0,4	0,3	0,5	0,3	0,5	0,4

petit rayon (r). Les principaux appareils et dispositifs utilisés sont un palpeur digital d'une précision de 1/1000 de mm pour déterminer les dimensions des éprouvettes ; une étuve ventilée pour le séchage à 103 ± 2 °C ; une enceinte de conditionnement des éprouvettes contenant une solution glycérique et une balance électronique d'une précision de 0,01 g.

2.4. Méthodes de traitements statistiques

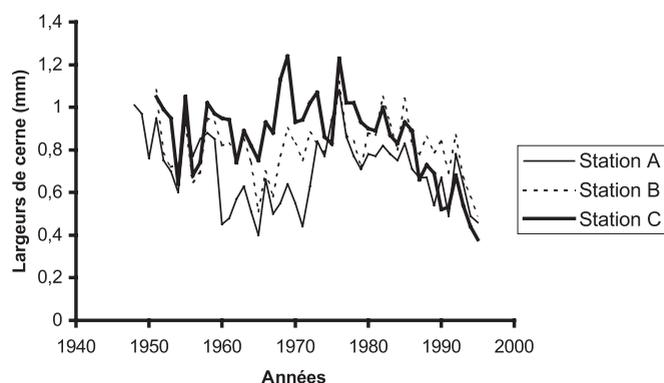
L'analyse statistique descriptive des propriétés physiques est appliquée aux moyennes des 54 arbres des trois populations. Les fluctuations des valeurs des caractères sont évaluées par l'analyse des courbes des valeurs moyennes \pm l'écart-type et le coefficient de variation.

Pour mettre en évidence l'effet « arbre » et l'effet « station » sur l'ensemble des caractères, la comparaison des moyennes a été faite sur la base d'une analyse de la variance hiérarchisée à deux facteurs de classification qui intègre le modèle croisé. Pour chacun des caractères étudiés, 162 données sont introduites dans l'analyse, soit 18 arbres \times 3 répétitions \times 3 stations.

Quant aux liaisons entre les propriétés physiques, l'indice d'excentricité et la largeur du cerne, elles ont été appréciées à l'aide du coefficient de corrélation. Contrairement à l'analyse de la variance dans laquelle nous avons pris en considération les répétitions, les corrélations ont été calculées uniquement sur les valeurs moyennes des 54 arbres.

2.5. Aspect particulier des éprouvettes et largeurs des cernes du bois étudié

Les éprouvettes ont été confectionnées selon les normes spécifiques aux essais envisagés. Au vu de la quantité réduite de matériau

**Figure 1.** Caractéristique du bois étudié. Courbes de synthèse des largeurs de cernes (LC) des trois stations.**Figure 2.** Section transversale de cèdre (arbre : B228) avec le bois de compression.

parvenu à la scierie et des faibles diamètres des sujets étudiés (Tab. I), nous avons tenté d'en extraire le maximum possible d'éprouvettes à partir des ébauches préalablement traitées (opérations de polissage et de dégauchissage) sans les purger du bois de compression, ni tenir compte de l'excentricité du cœur.

Le bois étudié, quelle que soit la station, se caractérise par la finesse et la plus ou moins grande régularité des largeurs de cernes. Les figures 1 et 2 donnent un aperçu sur la croissance radiale des trois stations. Les largeurs des cernes (LC), mesurées à 1/100 de mm sur trois rayons différents équidistants de 120°, sont très faibles ($LC < 0,88$ mm). Nos valeurs sont de loin inférieures aux largeurs des cernes de la phase juvénile du cèdre étudié au Maroc et en France [12, 15]. Dans notre cas, elles s'apparentent plus à celles des derniers cernes des arbres adultes. Nous pensons que ce phénomène de croissance très lente serait lié aux conditions édaphiques défavorables des trois stations (sols de type A/C et A (B) C, peu profonds). Quant aux différences de croissance entre les trois stations, nous pouvons les interpréter en relation avec les facteurs du milieu propres à chacune des stations [8, 23].

Tableau II. Présentation des propriétés physiques et de la largeur des cerne du bois de cèdre des trois stations de référence.

Stations	Paramètres statistiques	He (%)	Hmax (%)	De (g/cm ³)	ID (g/dm ³)	RA (%)	RR (%)	RT (%)	Aniso	Revt (%)	Crvt	D12 (g/cm ³)	IE	LC (mm)
A Kef	Nombre d'arbres	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
	Moyenne	19,65	94,15	0,67	0,53	2,57	4,78	5,30	1,12	12,17	0,133	0,65	1,39	0,72
	Écart-type	0,87	14,24	0,075	0,057	2,17	1,29	1,21	0,10	1,57	0,03	0,072	0,38	0,11
	Valeur minimale	17,79	67,8	0,56	0,45	0,09	2,65	2,98	1,01	9,99	0,08	0,55	1	0,53
	Valeur maximale	21,16	119,51	0,84	0,65	6,90	6,70	7,20	1,34	16,32	0,20	0,81	2,21	0,89
	Coef. de variation %	4,42 %	15,12 %	11,20 %	10,75 %	84,4 %	26,98 %	22,83 %	8,9 %	12,9 %	22,56 %	11,07 %	27,9 %	15,27 %
B Tigounatine	Nombre d'arbres	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
	Moyenne	18,73	100,27	0,68	0,54	2,07	5,17	5,68	1,10	12,43	0,126	0,66	1,31	0,74
	Écart-type	0,58	13,05	0,065	0,05	1,88	0,99	0,97	0,10	1,08	0,023	0,06	0,25	0,15
	Valeur minimale	17,23	71,30	0,57	0,466	0,11	2,78	3,17	1,01	10,40	0,09	0,56	1	0,48
	Valeur maximale	19,60	125,98	0,84	0,68	7,34	6,70	7,34	1,36	15,09	0,18	0,82	1,86	1,07
	Coef. de variation %	3,03 %	13,01 %	8,82 %	9,25 %	90,8 %	19,15 %	17,07 %	9,09 %	8,68 %	18,25 %	9,1 %	19,08 %	20,27 %
C Taouialt	Nombre d'arbres	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
	Moyenne	18,53	108,30	0,63	0,49	2,00	5,04	6,36	1,29	12,75	0,119	0,61	1,27	0,88
	Écart-type	1,14	18,22	0,06	0,05	1,37	1,29	1,42	0,23	2,51	0,02	0,06	0,17	0,12
	Valeur minimale	16,59	73,42	0,52	0,42	0,08	2,61	4,63	1,03	9,84	0,07	0,50	1,03	0,64
	Valeur maximale	20,41	136,23	0,75	0,60	5,30	7,77	9,33	1,98	19,27	0,15	0,73	1,72	1,07
	Coef. de variation %	6,15 %	16,82 %	9,5 %	10,20 %	68,5 %	25,6 %	22,32 %	17,82 %	19,68 %	16,80 %	9,8 %	13,38 %	13,64 %

He : humidité d'équilibre ; Hmax : humidité maximale ; De : densité à l'état d'équilibre ; ID : infradensité ; RA : retrait axial ; RR : retrait radial ; RT : retrait tangentiel ; Aniso : anisotropie ; Revt : retrait volumétrique total ; Crvt : coefficient du retrait volumétrique total ; D12 : densité à 12 % d'humidité ; IE : indice d'excentricité ; LC : largeur du cerne.

3. RÉSULTATS ET DISCUSSION

Les résultats obtenus et les statistiques descriptives des caractères pour les trois stations sont présentés au tableau II. Nous y constatons que les coefficients de variation, calculés sur les 54 arbres et pour chacune des propriétés physiques, varient de 3,03 % pour l'humidité d'équilibre (He, station B) à 90,8 % pour le retrait axial (RA, station B). Cette variation apparaît très importante pour le retrait axial (68,5 % à 90,8 %) et très faibles pour l'humidité d'équilibre (3,03 % à 6,15 %). La Figure 3 (a-f) montrent que cette variabilité entre arbres s'observe pour le retrait axial dans les trois stations, le retrait tangentiel (RT) dans la station C et le retrait radial (RR) dans les stations A et C. Le retrait volumétrique (REVT) et l'anisotropie (ANISO) s'affirment dans la seule station C.

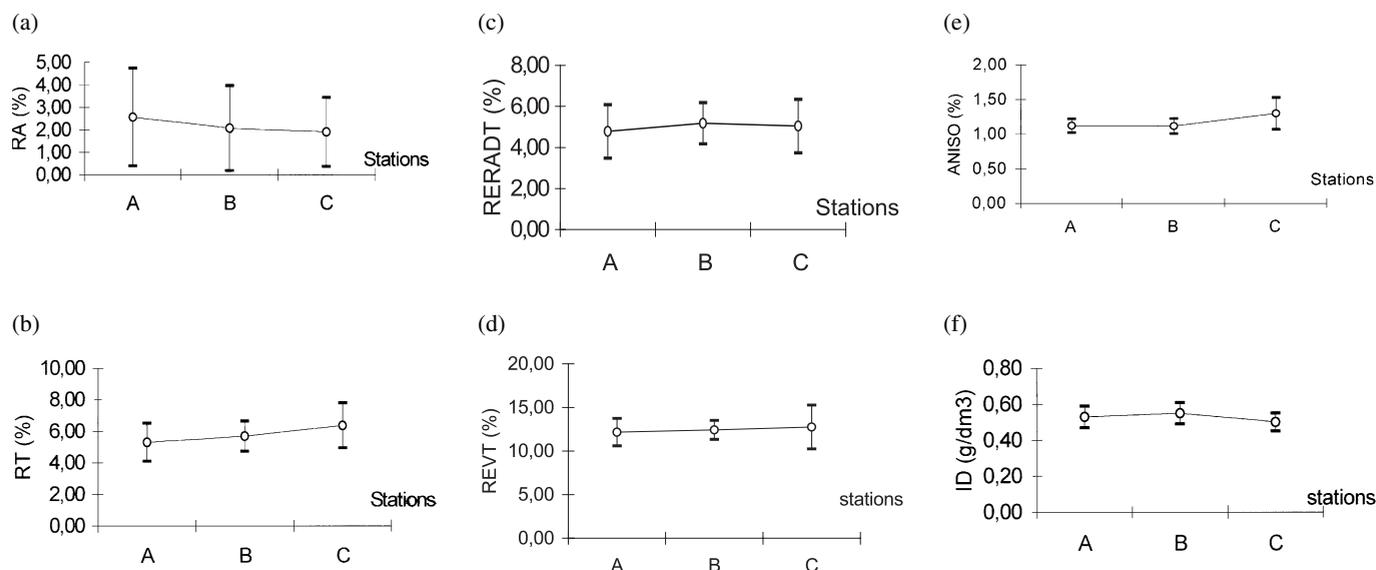
L'analyse de la variance hiérarchique portant sur 3 stations avec 162 échantillons (18 arbres × 3 stations × 3 répétitions) montre l'effet arbre et l'effet station sur la majorité des caractères. L'effet arbre est significatif au seuil de 5 % pour ID, RA, RT, CRVT, IE. Quant à l'effet station, il est significatif au même seuil pour tous les caractères à l'exception de l'infradensité (ID) (Tab. III).

La comparaison des propriétés physiques entre les trois stations montre que les valeurs acquises sont relativement élevées dans la station du Kef (A) pour l'humidité d'équilibre, A et B

(Kef et Tigounatine) pour le retrait axial et l'infradensité, la station C (Taouialt) pour le retrait tangentiel et l'anisotropie. D'une manière générale, les plus fortes valeurs caractérisent davantage les stations A et B situées sur sols de type A/C (rendzines autochtones) à texture limoneux-sableux ou sableux-limoneux, avec des pentes inférieures à 30 %, un recouvrement inférieur à 70 % et une altitude supérieure à 1500 m (Tab. I). Comparativement aux propriétés physiques, [8, 9, 23] constatent chez le Cèdre de l'Atlas et du Liban (*Cedrus Libani* A. Rich) des variations stationnelles significatives de certains caractères morphologiques et de croissance.

Le peu de travaux existant sur le cèdre de l'Atlas ne permet pas une confrontation exhaustive de nos résultats. Cependant, le bois étudié présente des retraits relativement élevés et une faible anisotropie par rapport aux résultats acquis sur la même espèce au Maroc et en France sur des arbres adultes [12]. Les résultats obtenus par ces auteurs sont de 5 % pour le retrait tangentiel, 8 % pour le retrait volumétrique avec une anisotropie de 1,6. Pour l'infradensité, elle est proche des résultats de [12, 13, 22].

Les relations entre l'ensemble des caractères sont données par le tableau IV. Compte tenu des caractéristiques particulières du bois étudié, marqué par la présence de bois de compression et la finesse de la largeur de cerne, nous limitons notre discussion aux seules liaisons significatives qui se manifestent



Figures 3. Représentation de la variabilité des retraits, de l'anisotropie et de l'infradensité dans les trois stations A (Kef), B (Tigounatine), C (Taouiialt). (a) Retrait axial ; (b) retrait tangentiel ; (c) variabilité du retrait radial ; (d) variabilité du retrait volumétrique total ; (e) anisotropie ; (f) infradensité.

entre l'indice d'excentricité (IE), la largeur du cerne (LC) et les densités (De, D12), l'infradensité (ID), la rétractabilité (RA, RR, RT, REVT et CRVT) et l'humidité. Ce choix est lié à l'intérêt que suscitent ces caractères par rapport à la qualité du bois.

Nous remarquons que l'indice d'excentricité influence positivement la densité d'équilibre (De), l'infradensité (ID), le retrait axial (RA), le coefficient de retrait volumétrique total (REVT), la densité à 12 % d'humidité (D12) et négativement le retrait tangentiel (RT).

Pour les liaisons étroites déduites entre l'indice d'excentricité (IE) avec les retraits axial ($r = 0,39^*$) et tangentiel ($r = -0,32^*$), plusieurs auteurs s'accordent à dire que le bois de compression est responsable de l'importance des retraits, notamment le retrait axial. La présence du bois de compression affecte aussi, mais négativement, la valeur du retrait tangentiel. Cette relation, selon Timell [24], est rattachée aux angles des microfibrilles ; de larges angles contribueraient à de faibles retraits tangentiels.

Par rapport aux composantes de la densité, il en résulte que l'indice d'excentricité influence positivement l'infradensité (ID), la densité à l'état d'équilibre (De) et la densité à 12 % d'humidité (D12). Ainsi, de fortes valeurs de l'indice d'excentricité entraînent, pour le bois étudié, une surdensité.

Les résultats montrent que la largeur de cerne (LC) est seulement corrélée positivement au retrait tangentiel (RT) ($r = 0,34^*$) et négativement au coefficient de retrait volumétrique (CRVT) ($r = -0,33^*$). En revanche, la largeur de cerne est négativement corrélée à De, ID et D12 (Tab. IV).

En ce qui concerne les relations entre la rétractabilité et les trois composantes de la densité, nous observons que De et D12 influencent positivement le retrait axial et négativement les deux autres retraits (RT et RR). Ainsi de fortes valeurs de De et D12 entraînent un fort retrait axial (RA) et inversement pour

RT et RR. Quant à l'infradensité, elle est liée positivement avec RA, D12, REVT et négativement avec RR et RT.

Pour les deux caractères (He) et (Hmax), hormis la liaison entre Hmax et RA ($r = -0,51^*$), les liaisons positives obtenues montrent que, dans tous les cas, les densités (De, D12), l'infradensité (ID) et la rétractabilité (RA, RR, RT et REVT) dépendent de l'humidité d'équilibre et de l'humidité maximale.

Cette tendance correspond à celle de l'évolution générale des retraits en fonction de l'humidité.

4. CONCLUSION

Dans ce travail, nous avons étudié les propriétés physiques du bois de *Cedrus atlantica* Manetti (cèdre de l'Atlas) au stade juvénile. Le fait d'avoir choisi des arbres relativement jeunes et de faible dimension, n'a pas permis de purger les éprouvettes du bois de compression. Il faudrait ajouter à l'effet contraignant de ce bois sur les propriétés physiques le fait que le bois traité ne concerne que le bois fonctionnel, autrement dit l'aubier, caractérisé par la finesse et la plus ou moins grande régularité des largeurs des cernes.

À partir des résultats acquis, le cèdre est qualifié de bois à retrait moyen, peu nerveux et lourd. Ce bois se caractérise par des propriétés physiques globalement élevées, notamment les retraits tangentiel et axial que nous avons corrélé à la présence de zones de bois de compression important. Le retrait tangentiel, le plus souvent pris en considération de par son importance, montre des valeurs faibles et voisines de celles de nombreux résineux. Il faut noter les faibles valeurs du rapport du retrait tangentiel sur le retrait radial, représentant l'anisotropie. Cette dernière demeure un indicateur d'une stabilité dimensionnelle des pièces de bois, témoin de l'excellente qualité du bois du

Tableau III. Comparaison des propriétés physiques des arbres dans les trois stations étudiées : analyse de la variance à deux critères de classification (* significative ; ** hautement significative ; *** très hautement significatives) ddl = 54, seuil de signification = 5 %.

Propriétés physiques	Effet arbre (F. observée)	Effet station (F. observée)	F. critique au Seuil de 5%	Observation
ID (g/cm ³)	2,85**	–		Nombre d'arbres par station = 18 Nombre de répétition par arbre = 3 Nombre d'échantillons total par station = 54 Nombre d'arbres des 3 stations = 54 (3 × 18) Nombre d'échantillons total : 162 (3 × 54)
RA (%)	5,23***	4,22*		
RT (%)	4,62***	3,52**	Effet arbre : 1,718	
CRVT	1,84*	3,18*	Effet Station : 3,08	
IE	3,16**	3,25*		
LC (mm)	–	3,88*		
ANISO	–	5,25*		
Hmax (%)	–	4,02*		
He (%)	–	4,23*		

Tableau IV. Relations entre les propriétés physiques, la largeur des cernes et l'indice d'excentricité (* significative ; ** hautement significative ; *** très hautement significatives) ddl = 54, seuil de signification = 5 %.

Caractères	De	ID	RA	RR	RT	Aniso	Revt	Crvt	D12	IE	LC	He	Hmax
De	1												
Id	0,98***	1											
RA	0,64**	0,61**	1										
RR	–0,30*	–0,37*	–0,54*	1									
RT	–0,46*	–0,54*	–0,52*	0,83***	1								
ANISO	–0,16	–0,16	0,04	–0,41*	0,14	1							
REVT	0,10	–0,009	0,25	0,61**	0,64**	–0,12	1						
CRVT	0,83***	0,76***	0,65**	0,01	–0,11	–0,19	0,53*	1					
D12	0,78***	0,98***	0,63**	–0,29	–0,44**	–0,16	0,11	0,83***	1				
IE	0,45*	0,43*	0,39*	–0,20	–0,32*	–0,06	0,03	0,25	0,45*	1			
LC	–0,46*	–0,49*	–0,16	0,17	0,34*	0,20	0,16	–0,33*	–0,47*	–0,16	1		
He	0,40*	0,41*	0,35*	0,40*	0,51*	–0,09	0,31*	0,21	0,37*	0,20	–0,14	1	
Hmax	0,65**	0,73**	–0,51*	0,44*	0,62**	0,14	0,83***	0,37*	0,56*	0,21	0,15	–0,51	1

cèdre même au stade juvénile et montre son pouvoir de concurrencer d'autres espèces résineuses. Cette qualité est recherchée chez les bois destinés à la menuiserie fine.

Le travail montre aussi l'effet « station » et l'effet « arbre » sur certaines propriétés physiques. À ce stade d'investigation, les stations de Tigounatine et Kef fournissent un bois aux qualités physiques meilleures que celui provenant de Taouialt. Cette dernière, bien qu'elle se caractérise par un sol évolué et plus profond, son fort couvert, son peuplement à forte densité, sa pente élevée et sa croissance radiale moyenne plus importante lui seraient défavorable ; elle fournit un retrait tangentiel, une anisotropie et un retrait volumétrique élevés. En revanche, son infradensité et son retrait axial y sont les plus faibles.

Des relations déduites, une part importante des relations mises en évidence reste inexplicées. Cette lacune ne permet pas la prédiction de façon probante la qualité de ce bois d'éclaircie bien que les arbres choisis soient indemnes de défauts et d'anomalies de croissance.

Dans ce contexte, afin que nous puissions mettre en évidence l'ensemble des facteurs régissant directement ou indirectement

les propriétés physiques du cèdre, nous pensons utile d'élargir ultérieurement le champ d'investigation aux peuplements jeunes et adultes et d'œuvrer dans toutes les cédraies d'Algérie. Une analyse intégrant la largeur du cerne, les paramètres anatomiques et ultrastructuraux, les paramètres dendrométriques et sylvicoles [8, 9, 23] permettra d'apporter des éléments nouveaux à l'interprétation des relations qui ont été mises en évidence.

RÉFÉRENCES

- [1] Abdessalam M., Contribution à l'étude de l'aquifère Karstique du Djurdjura central occidental (Algérie), Rapport de DEA, Université de Toulouse, France, 1995, 74 p.
- [2] Barrouch L., Keller R., Estimation à partir de prélèvements non destructifs de la production potentielle de bois de qualité de cèdre de l'Atlas sur quatre types de substrats au Maroc, Actes du séminaire international sur le cèdre de l'Atlas, Ann. Rech. For. Maroc 27 (1993) 674–681.
- [3] Ben Mouffok A., Approche écopédologique dans les formations à *Cedrus atlantica* Manetti. Cas du massif du Djurdjura, Algérie,

- Actes du séminaire international sur le cèdre de l'Atlas, Ann. Rech. For. Maroc 27 (1994) 206–217.
- [4] Berrichi M., Contribution à l'étude de la production de la qualité du bois de trois espèces du genre *Quercus* : chêne vert, chêne liège et chêne zéen. Cas des monts de Tlemcen, Thèse de Magister, INA El-Harrach, Alger, 1993, 175 p.
- [5] Buffault G., Utilisation du bois de cèdre, Rev. Eaux For., 1927, pp. 346–348.
- [6] Campredon J., Le bois de cèdre. Étude des propriétés physiques et mécaniques de quelques bois exotiques, Ann. ENEF SREF 5 (1934) 198–210.
- [7] Courbet F., Stratégie de recherche pour l'étude et la prédiction de la croissance et de la qualité du bois du cèdre (*Cedrus atlantica* Manetti) en France, Séminaire International sur le cèdre de l'Atlas au Maroc, Ann. Rech. For. Maroc 27 (1993) 206–217.
- [8] Courbet F., Houllier F., Modelling the profile and internal structure of tree stem. Application to *Cedrus atlantica* (Manetti), Ann. For. Sci. 59 (2002) 63–80.
- [9] Derridj A., Étude des populations de *Cedrus atlantica* en Algérie, Thèse de Doctorat d'Université, Université Paul Sabatier, Toulouse, 1990, 288 p.
- [10] El Abid A., Bilan des recherches au Maroc en matière d'exploitation et valorisation du cèdre, Ann. Rech. For. Maroc 27 (1993) 628–637.
- [11] El-Azzouzi K., Keller R., Influence de la sylviculture sur quelques propriétés physiques du bois de cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* Manetti), Actes du séminaire international sur le cèdre de l'Atlas, Ann. Rech. For. Maroc 27 (1993) 658–671.
- [12] El-Azzouzi K., Keller R., Propriétés technologiques du bois de cèdre de l'Atlas (Maroc), Rev. For. Mediterr. 29 (1998) 11–33.
- [13] Ellatifi M., Le cèdre de l'Atlas hors de son aire naturelle : propriétés technologiques, Actes du séminaire international sur le cèdre de l'Atlas, Ann. Rech. For. Maroc 27 (1993) 684–697.
- [14] El-Rhazi M., Étude des effets des éclaircies sur la qualité du bois de *Cedrus atlantica* Manetti, Thèse de Docteur Ingénieur, Université de Nancy I, 1981, 115 p.
- [15] Guibal F., Contribution dendroclimatologique à la connaissance du cèdre de l'Atlas dans les reboisements du sud-est de la France, Thèse de 3^e cycle, Université d'Aix Marseille III, Faculté de Saint-Jérôme, Marseille, 1984, 123 p.
- [16] Kabbaj A., Contribution à l'étude entre certains facteurs écologiques, la duraminisation et quelques caractéristiques physiques du bois de cèdre dans quelques stations types du Moyen Atlas (Maroc), Mémoire de fin d'étude, Faculté des Sciences Agronomiques de Gembloux, Belgique, 1979, 135 p.
- [17] Loukkas A., Étude de la variabilité stationnelle de la qualité de bois du cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* Manetti) dans le massif du Djurdjura central, Thèse de Magistère, INA d'Alger, 2001, 79 p. + annexes.
- [18] Mazet J.F., Nepveu G., Velling P., Deret-Varcin E., Étude des effets de quelques paramètres sylvicoles et environnementaux sur la densité du bois de l'épicéa commun, du sapin pectiné et du pin sylvestre dans le nord-est de la France, Actes du 3^e colloque « Science et Industrie du bois », ARBORA, II, 1990, pp. 537–546.
- [19] Nepveu G., Birot Y., Les corrélations phénotypiques juvéniles-adultes pour la densité du bois et la vigueur chez l'épicéa, Ann. Sci. For. 36 (1979) 125–149.
- [20] Nepveu G., Prédiction juvénile de la qualité du bois de hêtre, Ann. Sci. For. 38 (1981) 425–447.
- [21] Quezel P., Cèdre et cédraies du pourtour méditerranéen : signification bioclimatique et phytogéographique, Rev. For. Mediterr. 29 (1998) 243–260.
- [22] Quinquandon B., Le bois de cèdre (*Cedrus atlantica* Manetti) provenant des reboisements français, CTB, Paris, 1976, 31 p.
- [23] Sabatier S., Baradat P., Barthélémy D., Intra and interspecific variations of polycyclism in young trees of *Cedrus atlantica* (Endl) Manetti ex. Carrière and *Cedrus libani* A. Rich (Pinaceae), Ann. For. Sci. 60 (2003) 19–29.
- [24] Timell T.E., Compression wood in gymnosperms, Springer-Verlag, New York, Vols. 1–3, 1986, 2150 p.