

ETUDES MICRODENSITOMETRIQUES DU BOIS DE THUYA DE MAGHREB *Tetraclinis Articulata Vahl Masters* ET EFFETS DES FACTEURS STATIONNELS SUR SA QUALITE

Reçu le 19/10/2002 – Accepté le 11/02/2004

Résumé

Le but de ce travail est d'étudier les composantes microdensitométriques (la densité moyenne, la densité du bois initial, la densité du bois final, la largeur du cerne, la largeur du bois initial, la largeur du bois final et la texture du bois) du bois de Thuya de Maghreb *Tetraclinis articulata mast* en relation avec les facteurs stationnels. Nous avons choisi trois stations, écologiquement distinctes, situées dans un massif forestier purement méditerranéen (à l'Ouest de l'Algérie).

Nous avons effectué une analyse microdensitométrique de 1029 cernes. Les résultats obtenus ont permis de décrire la très forte variabilité intracerne, intra et inter-type de station. L'examen de cette variabilité par une analyse de variance à deux critères de classification hiérarchisée a montré que l'effet "type de station" et l'effet "arbre" sont toujours significatifs; la station à altitude élevée, sol riche en calcaire et climat semi-aride, montre la meilleure qualité intrinsèque du bois observée. Mais, malgré l'adaptation très forte de cette essence aux conditions du milieu, l'absence de l'action sylvicole influe négativement sur la qualité des produits qui pourraient être tirés de cet arbre.

Mots clés: *Thuya de Maghreb, densité, largeur de cerne, microdensitométrie.*

Abstract

The goal of this work is to study the microdensitometric components (average density, density of initial wood, density of final wood, the width of the ring, the width of initial wood, the width of final wood and the texture of wood) of the wood of Thuja of the Maghreb *Tetraclinis articulata mast* in relation to the stationnels factors. We chose three stations, ecologically distinct, located in a purely Mediterranean forest solid mass (in the West of Algeria).

We carried out a microdensitometric analysis of 1029 rings; the results obtained made it possible to describe very strong variability intracerne, intra and inter-type of station. The examination of this variability by an analysis of variance with two criteria of hierarchical classification showed that the station type and the tree effect are always significant, the stations with height altitude, ground rich in limestone and semi-arid climate shows the best intrinsic quality of wood observed. But in spite of the very strong adaptation of this species to the conditions of the environment, the absence of the forestry action influences negatively the quality of the products which could be drawn from this tree

Keywords: *Thuja of the Maghreb, density, width of ring, microdensitometry.*

**M. MAATOUG¹
R. KELLER²
K. BENABDEL³
A. DILEM¹**

¹ Laboratoire d'Agro-Biotechnologie et Nutrition dans les Zones Semi arides
Université de Tiaret
BP78, Tiaret 14000 (Algérie)

² Ecole Nationale du Génie Rural, des Eaux et des Forêts (France)

³ Université de Sidi Belabbes (Algérie)

ملخص

هدف هذا العمل لدراسة الخواص الميكروكثافية (الكثافة المتوسطة، كثافة الخشب الابتدائي، كثافة الخشب النهائي، عرض الحلقات، عرض حلقات الخشب الابتدائي، عرض حلقات الخشب النهائي وتركيبه الخشب) لخشب التويا المغربية *Tetraclinis articulata mast* وعلاقتها بعوامل المحطة. وقد تم اختيار ثلاث محطات مختلفة البيئة، تقع ضمن سلسلة غابية لحوض المتوسط (بالغرب الجزائري).

قمنا بإجراء تحليل ميكروكثافي لـ 1029 حلقة نمو، سمحت النتائج بطريقة تحليل التباين، بإظهار شدة اختلاف هذه الخواص بين حلقات النمو وكذا بين المحطات. فقد بدأ واضحا تأثير المحطة وتأثير الشجرة (داخل المحطة) في هذه الخواص. إن المحطة ذات الارتفاعات العالية والتربة الجيرية تحت مناخ شبه قاري تعطي دوما صفات ممتازة لكثافات هذا الخشب. رغم شدة تأقلم هذه الشجرة مع محيطها لكن غياب أساليب تربيتها تتعكس سلبا على مميزات خشبها. **الكلمات المفتاحية:** التويا المغربية، الكثافة، عرض الحلقات، الميكروكثافية.

Le Thuya de Maghreb *Tetraclinis articulata Vahl masters*, comme l'essence endémique de l'Afrique du Nord, couvre environ un million d'hectares dans les trois pays du Maghreb (Maroc 725.000 ha, Algérie 161.000 ha, Tunisie 30.000 ha). Par sa rusticité, sa résistance aux agents de destruction et la qualité extrêmement importante de son bois, il occupe la seconde place après le Pin d'Alep et le chêne vert. Il est caractérisé essentiellement par sa longévité qui dépasse 400 ans, son fût rectiligne et son bois de grande valeur dans le domaine de l'ébénisterie, avec une grande durabilité naturelle. Cette essence est très résistante aux maladies et attaques entomologiques et cryptogamiques. Son écorce est riche en extrait de résine de grande valeur utilisée dans la fabrication des vernis. Plusieurs études ont été consacrées aux problèmes de phytoécologie et de régénération de cette essence, alors que les études sur la qualité de son bois ne sont que fragmentaires.

Le but de ce travail est d'examiner la variabilité intrinsèque du bois de Thuya de Maghreb en relation avec les facteurs stationnels, en utilisant un nouveau dispositif expérimental qui permet d'évaluer les propriétés intra-cerne du bois de cette essence. C'est la microdensitométrie qui a été développée à la station de recherche sur la qualité du bois, centre de Nancy (France) et qui dispose du matériel nécessaire pour cette étude [14].

1- MATERIEL ET METHODES

1.1- Principe de la microdensitométrie

La microdensitométrie est une méthode d'évaluation de la densité du bois fondée sur la mesure de l'absorption des rayons X. La méthode a été mise au point par Polge [19], puis a été développée à la station de recherche sur la qualité du bois (Nancy).

Les données microdensitométriques se présentent usuellement sous la forme d'un profil radial de densité obtenu par l'irradiation dans la direction axiale ou tangentielle d'éprouvette de fine épaisseur. Ce profil est ensuite divisé de façon à isoler chaque accroissement annuel que l'on essaie de caractériser par un certain nombre de critères synthétiques et conventionnels, tels que la moyenne, le minimum et le maximum de densité (Fig.1).

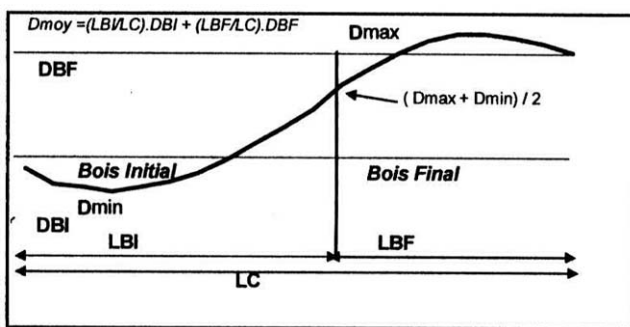


Figure 1: Représentation graphique d'un profil microdensitométrique.

DBF: Densité du bois final; DBI: densité du bois initial, Dmax: Densité maximale, Dmin: Densité minimale, Dmoy: Densité moyenne, LBF: Largeur du bois final, LBI: Largeur du bois initial, LC: Largeur du cerne.

D'après Polge [18], le procédé densitométrique repose sur l'absorption de rayons X de grandes longueurs d'onde, et, plus précisément, sur des courbes représentatives des variations de la densité optique de l'image radiographiques d'échantillons d'épaisseur uniforme (carottes de sondage ou coupes de 1 à 2 mm d'épaisseur), courbes dont les ordonnées sont, dans des conditions bien définies d'exposition et d'exploration, liées linéairement à la densité du bois.

1.2- Choix des stations

L'échantillonnage a été réalisé dans trois stations pilotes dans lesquelles 45 cépées de Thuya (soit 15 cépées par station) ont été choisies. Ces stations sont:

1/ Station de Honaine

- *Situation géographique* : Ouest de l'Algérie (400 km d'Alger) au bord de la mer Méditerranée et au Nord de la Wilaya de Tlemcen,

- *Altitude* : 100 m,

- *Climat* : de type méditerranéen dans l'étage bioclimatique sub-humide à hiver frais,

- *Températures moyennes annuelles* : varient de 16.2 à 19.9°C,

- *Précipitations annuelles* : 550 mm,

- *Type du sol* : rendzines brunifiées sur une roche mère

grès jurassique.

2/ Station de O/Mimoun

- *Situation géographique* : 34 km à l'Est de la Wilaya de Tlemcen,

- *Altitude* : 705 m,

- *Climat* : semi aride supérieur à hivers frais,

- *Température* : 16.5°C,

- *Précipitations annuelles moyennes* : 513 mm,

- *Type du sol* : de type calcaire sur une roche mère gréseuse.

3/ Station de Tiaret

- *Situation géographique* : hauts plateaux (Wilaya de Tiaret),

- *Altitude* : 1200 m,

- *Climat* : aride, sec et chaud en été, tempéré et froid en hiver,

- *Température* : 20°C,

- *Précipitations annuelles* : 250 à 500 mm,

- *Type du sol* : Rendzines et brun calcaire sur roche mère calcaire.

1.3- Echantillonnage

Dans chaque station, 15 cépées ont été choisies et parmi le nombre de brins qui forment la cépée, nous avons choisi, dans les différentes classes de hauteur et de circonférence, les brins ayant 30 cm et plus de circonférence avec une hauteur supérieure ou égale 3 m.

Dans une seconde étape, nous avons sondé les brins retenus à 1.30 m de hauteur à la tarière de Presler (5 mm de diamètre). Quatre carottes diamétralement opposées par brin ont été prélevées, soit 60 carottes par station (15 brins x 4 carottes).

1.4- Analyse microdensitométrique

Seule la quatrième carotte¹ a été mise en réserve afin d'être utilisée dans l'analyse microdensitométrique. Elle a été débitée (2 mm d'épaisseur), puis soumise aux rayons X de grande longueur d'onde pendant 2 heures suivant la procédure décrite par Polge [20]. Les rayonnements ont été conditionnés par les caractéristiques électriques suivantes : une intensité de 10 mA et une tension accélératrice de 10 kV. La pénétration de ces rayons dans le bois dépend de la nature des atomes (C, H, etc). Comme le bois final est plus dense que le bois initial (plus de molécules pour le même volume), l'absorption des rayons X est plus grande. Par conséquent, sur l'image radiographique de l'échantillon, la zone du bois final est plus claire que celle du bois initial. La densité optique est traduite en densité du bois par la microdensitométrie à l'aide d'un étalon calibré. Les profils de densité ont été enregistrés dans un micro-ordinateur qui permet le stockage des données directement sur son disque.

Mothe *et al.* [16] ont développé un programme pour traiter ce type de données, depuis la délimitation des cerne sur chaque profil, jusqu'au calcul des variables, synthétisant les informations recueillies sur chaque cerne annuel à l'aide

¹ Les trois autres carottes prélevées sont destinées aux analyses physiques du bois de *Tetraclinis articulata* [13].

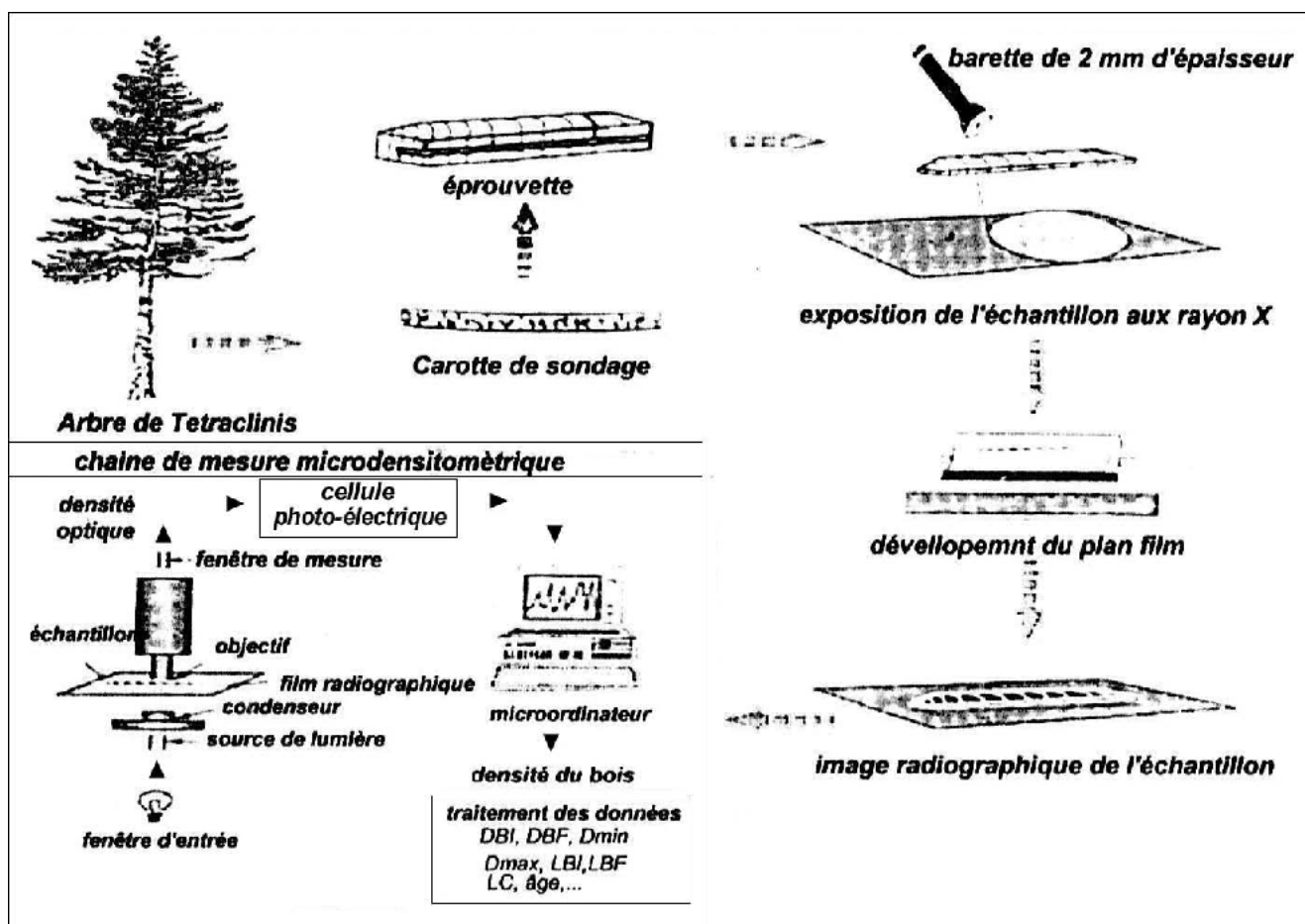


Figure 2: Schéma du plan de travail depuis le prélèvement des carottes jusqu'à la chaîne de mesures microdensitométriques (Ce plan a été réalisé en collaboration avec l'équipe de la station de recherche sur la qualité du bois du centre de Nancy, France, 2000).

de ce programme (appelé *Cerd*). Le programme *Cerd* permet de calculer les variables suivantes pour chaque cerne : largeur de cerne *LC* et 20 valeurs de densité du bois correspondant chacune à 5 % de la largeur de cerne. A partir des vingtièmes sont calculés : la densité moyenne *Dmoy*, la largeur et la densité du bois initial et final (*LBI*, *LBF*, *DBI*, *DBF*), les valeurs extrêmes de densité (*Dmax* et *Dmin*) et la texture du bois. Chaque cerne a été finalement décrit par des variables synthétiques : la largeur du cerne et ses composantes, la densité et ses composantes. Ces variables constituent un tableau complet de 1029 cernes (pour l'ensemble des stations). La figure 2 présente schématiquement le plan de travail, du prélèvement des carottes jusqu'à la chaîne de mesures microdensitométriques.

1.5- Méthodes d'analyse statistique

Nous représentons la variabilité intra et inter-type de station des propriétés microdensitométriques sous forme de *Box plots* (tracés à l'aide du logiciel *Statistica*). Lorsque nous étudions la variabilité intra station, on prend en compte les paramètres de dispersions par rapport aux paramètres de localisation à l'intérieur de chaque station. En revanche, lorsque nous étudions la variabilité inter station, on se limite aux moyennes des 15 arbres pour chaque station.

Un autre but de cette étude consiste à mettre en évidence les variables explicatives des composantes microdensitométriques les plus fortement corrélées avec les variables dépendantes. Cette méthode de régression a pour principe de rechercher les meilleurs ajustements statistiques permettant d'étudier les liaisons inter caractères des propriétés microdensitométriques.

Les résultats ont aussi fait l'objet d'une analyse de variance dont l'objet est d'étudier l'effet des facteurs stationnels sur les propriétés étudiées.

2- RESULTATS ET DISCUSSION

2.1- Variabilité des composantes microdensitométriques

La première phase de cette partie a consisté à analyser la variabilité microdensitométrique des cernes annuels. Les variables microdensitométriques issues des mesures effectuées sur 1029 cernes (soit 10 mesures/cerne) sont : la densité moyenne (*Dmoy*), la densité du bois initial (*DBI*), la densité du bois final (*DBF*), la largeur totale de cerne (*LC*), la largeur du bois initial (*LBI*), la largeur du bois final (*LBF*), l'année calendaire et l'âge cambial, la texture du bois (*TXT*).

Chacune de ces variables est représentée sous forme de *Box plots*. Elles présentent une très grande variabilité avec

des valeurs extrêmes très dispersées (à l'exception de la largeur du bois final (*LBF*)). Cette variabilité est liée pratiquement à l'hétérogénéité du bois de *Tetraclinis* qui est une conséquence directe des conditions de croissance. La figure 3 montre que la *DBF* est toujours nettement plus forte, alors que la *LBF* est toujours faible.

La distribution de *Dmoy*, *DBF*, *DBI*, *LC* et *LBI*, montre une nette dissymétrie (les coefficients d'asymétrie sont respectivement de 0.45, 0.77, 0.77, 0.86 et 0.75). Au contraire, le coefficient d'asymétrie pour *LBF* est faible (0.25).

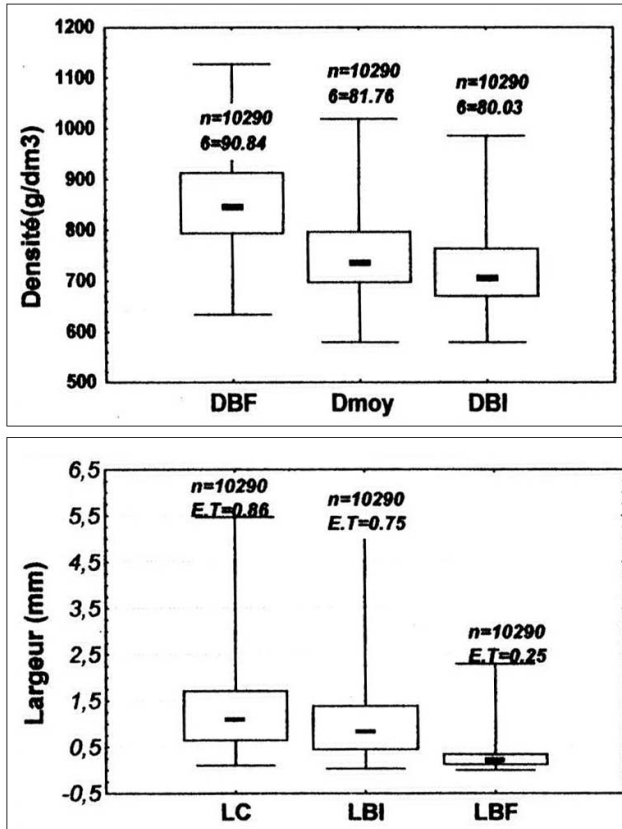


Figure 3: Variabilité des composantes microdensitométriques sur l'ensemble des cerne.

2.2- Corrélations

La figure 4 illustre les régressions existant entre *Dmoy* et les deux composantes *DBF* et *DBI*. La *Dmoy* est fortement corrélée ($r = 0,94^{***}$) avec *LBF*: plus la *Dmoy* augmente, plus la *LBF* est importante; la *DBF* est également fortement liée à la *Dmoy* ($r = 0,65^{***}$). En revanche, la $Dmoy^2$ est corrélée négativement avec *LC* ($R^2 = 0.28^{***}$) qui suit un modèle logarithmique. Ce modèle a en effet été confirmé par Elazzouzi [5] pour le cèdre de l'Atlas marocain. Par contre, Olesen [17] a mis en évidence, une relation entre la densité du bois et la largeur de cerne chez l'épicéa commun, de la forme:

$$R = a + \frac{b}{X + c}$$

² Les mêmes tendances ont été constatées pour la densité maximale *Dmax* et la densité minimale *Dmin* avec *LC*.

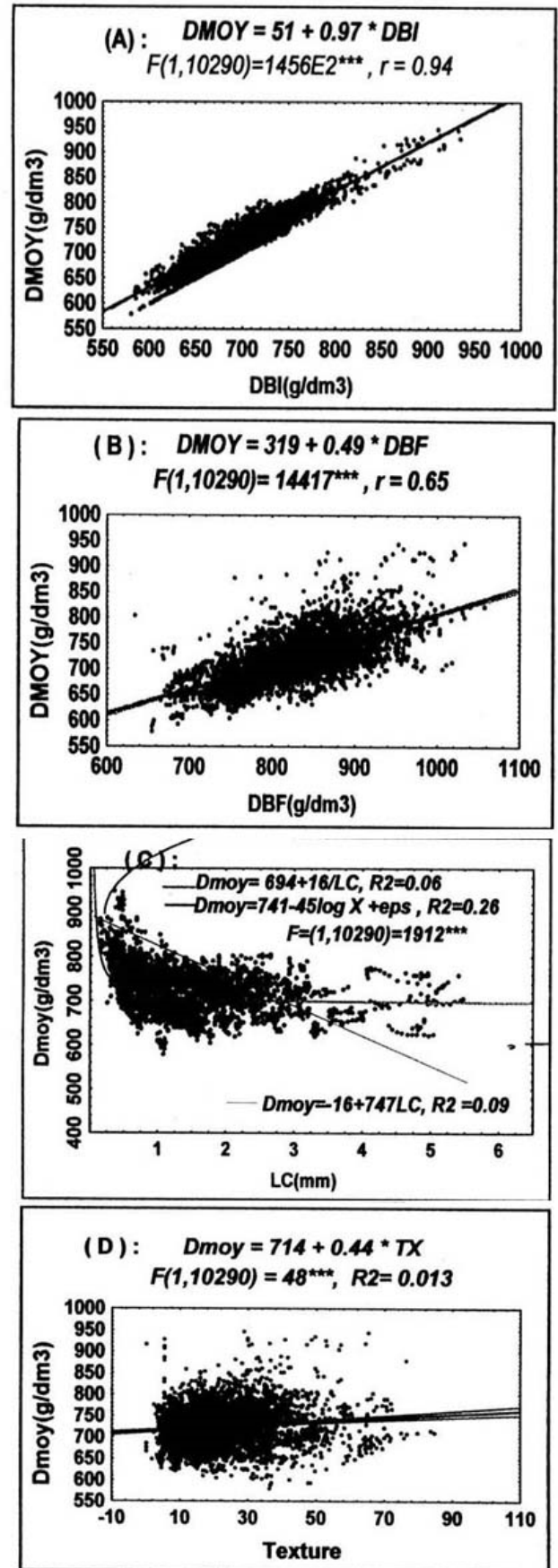


Figure 4: Evolution de la densité moyenne en fonction de la densité du bois initial (A), la densité du bois final (B), la largeur de cerne (C) et la texture du bois (D).

où R est la densité, X la largeur de cerne, b et c des constantes. Le modèle sera donc après calcul:

$$R = 243.5 + \frac{574.5}{X + 1.5}$$

Mazet *et al.* [15] ont étudié la relation entre l'infradensité et la largeur moyenne des cernes chez les petits et gros Sapins et Epicéas. La relation entre l'infradensité (comme une variable à expliquer) et la largeur moyenne des cernes (comme variable explicative) est de la forme:

$$INFRA = a + \frac{b}{X}$$

pour les petits Sapins et épicéas, et de la forme :

$$INFRA = a + bxX$$

pour les gros Sapins et épicéas, où a et b sont des constantes ($a < 0$).

En parallèle, nous avons testé le modèle de *OLESEN* et le modèle linéaire sur la relation $Dmoy-LC$ dans le cas de *Tetraclinis* et avons trouvé respectivement :

$$Dmoy = 694 + \frac{16}{LC}, \text{ avec } R^2 = 0.06 \text{ (modèle de OLESEN),}$$

$$Dmoy = 16 + 747LC, \text{ avec } R^2 = 0.09 \text{ (modèle linéaire).}$$

En conséquence, le modèle logarithmique donne un meilleur ajustement pour cette relation³.

La texture du bois est corrélée positivement avec la densité moyenne. Cette constatation est comparable à celle résultant des travaux de Dedeckel [3] sur le *Douglas* (Fig. 4) qui a noté que les variations de la texture sont relativement faibles dans la zone du bois adulte; elles deviennent très importantes dans la zone du bois juvénile avec la variation de la largeur de cerne qui va dans le même sens.

La corrélation négative entre les composantes de densité (DBI , DBF) et les composantes de largeur de cerne (LBI , LBF), qui sont mieux décrites par des fonctions logarithmiques (Fig. 5), indiquent qu'une diminution des composantes de la largeur des cernes entraînent une augmentation des composantes de densité.

La densité moyenne et ses composantes DBF et DBI des cernes proches de la moelle sont plus élevées. En effet, le bois de printemps est dense dans le bois juvénile [9]. Comme la DBF dans le bois juvénile est moins élevée, l'hétérogénéité de la densité y est moins grande que dans le bois adulte, la $Dmoy$ étant forte pour les cernes larges, ceci étant dû notamment à la proportion du bois final.

La figure 6 montre la forte liaison significative (positive) entre la largeur totale des cernes et ses composantes LBI et LBF . Cette relation linéaire est presque parfaite pour le cas de LBI ($r = 0.97^{***}$).

L'évolution de la densité moyenne des cernes en fonction de leur année calendaire⁴ de formation suit une tendance similaire à celle qui est observée en fonction de

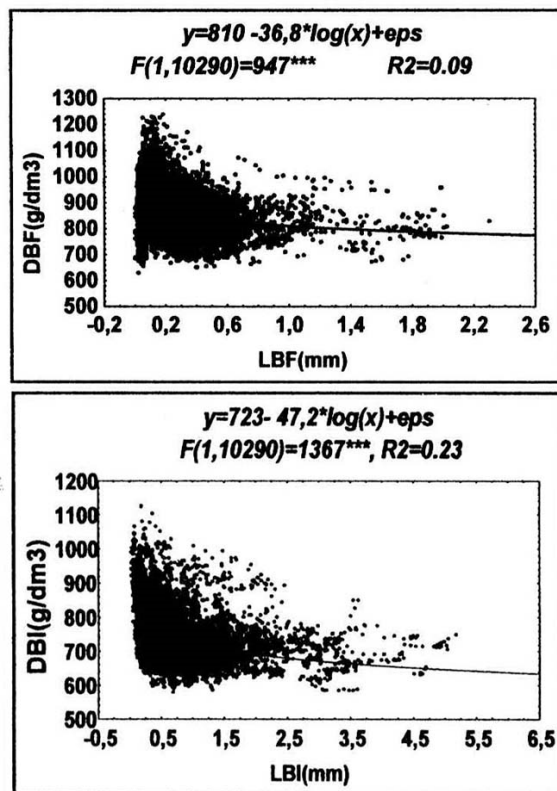


Figure 5: Evolution des composantes de densité en fonction des composantes de la largeur de cernes.

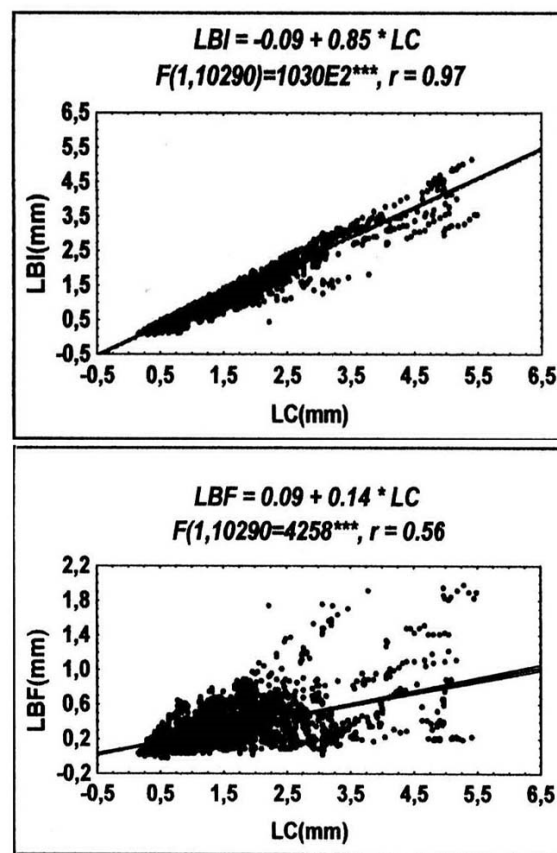


Figure 6: Evolution de la largeur du bois initial (LBI) et de la largeur du bois final (LBF) en fonction de la largeur de cerne (LC).

³ Le modèle logarithmique a été retenu à l'aide d'un teste de χ^2 (khi deux). Le χ^2 du modèle logarithmique est supérieur au χ^2 du modèle linéaire.

⁴ L'année à laquelle le cerne a été formé. L'année du cerne le plus proche de l'écorce est l'année d'abattage ou de carottage.

l'âge cambial⁵. En effet, l'année calendaire est très liée à l'âge des cernes. Les cernes les plus jeunes correspondent aux années de formation des plus anciennes comme le montrent les figures 7 et 8.

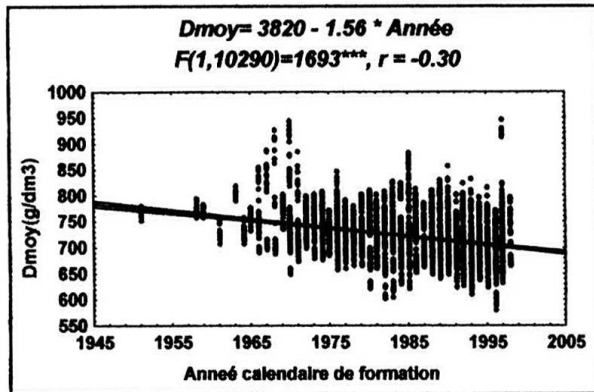


Figure 7: Evolution de la densité moyenne en fonction de l'année calendaire de formation des cernes.

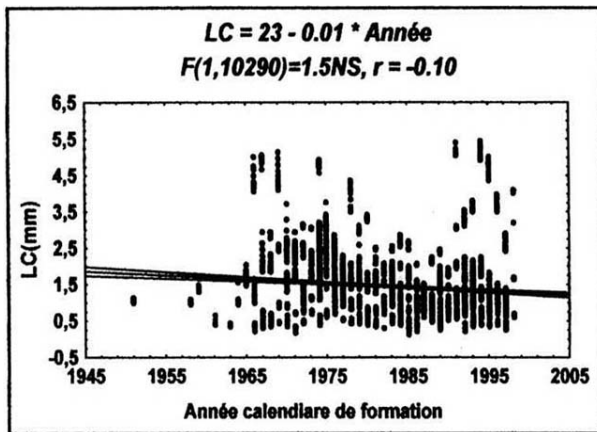


Figure 8: Evolution de la largeur de cerne en fonction de l'année calendaire de formation des cernes.

Les liaisons, densité moyenne *Dmoy*-âge du cerne ($r = 0.30^{***}$) et largeur totale des cernes *LC*-âge du cerne (qui n'était pas significative) indiquent que ces deux composantes microdensitométriques diminuent lorsque l'âge cambial augmente.

Différentes interprétations ont été avancées pour expliquer l'influence de l'âge du cerne sur la densité et la largeur des cernes. Ackermann [1] note une tendance à la diminution de la largeur du cerne quand l'âge cambial augmente. Par ailleurs, la composition anatomique du cerne se modifie avec l'âge, la proportion de fibres dans le cerne diminue, alors que la proportion des vaisseaux dans le bois final augmente ([21] cité par [12]). Chez les résineux, essentiellement chez le *Tetraclinis*, nous constatons que la largeur de cerne diminue lorsque l'âge cambial augmente.

L'observation des largeurs des cernes, en fonction de leurs années calendaires de formation, permet de constater la chute sensible des largeurs des cernes entre 1986 et 1996.

Cette période, probablement, correspond aux élagages des branches vivantes de *Tetraclinis* dans quelques arbres. En effet, l'élagage a des répercussions sur les caractéristiques anatomique et mécanique du bois. Les modifications physiologiques induites par l'élimination d'une proportion de la cime vivante pourraient se traduire, selon certains auteurs, par l'accélération de la formation de bois adulte dans la zone élaguée, le bois juvénile restant cloisonné dans la zone centrale du tronc.

Keller [11] souligne que pour que l'élagage se justifie technologiquement, il doit permettre la production de bois de très haute valeur (bois de déroulage, d'ébénisterie et de menuiserie) grâce à une intervention réalisée à temps, donc sur de petites branches, ainsi que sur un nombre de tiges par hectare correspondant au peuplement en fin de révolution dans le contexte d'une sylviculture dynamique.

Sur la figure 9, on note une chute de densité et de largeur des cernes en fonction de l'âge cambial à partir de l'âge de 15 ans. Cette relation semble donc similaire à celle qui est observée en fonction de l'année calendaire chez les feuillus.

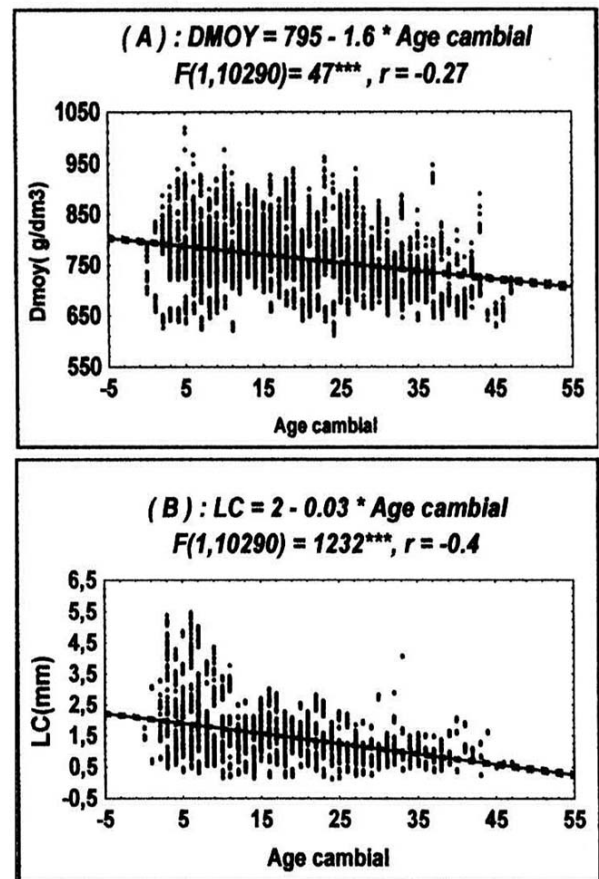


Figure 9: Evolution de la densité moyenne et largeur des cernes en fonction de l'âge cambial (A: relation *Dmoy* – Age cambial; B: relation Largeur des cernes – Age cambial).

Plusieurs modèles ont été proposés à propos de cette relation densité-âge cambial. Degron *et al.* [4] ont proposé :

$$DBI = g + \sqrt{age + d} + Cte,$$

$$DBF = \gamma + \sqrt{age + \delta} + Cte$$

⁵ C'est l'âge du cambium qui a donné naissance au cerne. L'âge cambial du cerne le plus proche de l'écorce est toujours 1.

où: g et $\gamma < 0$ et d et $\delta > 0$

Ces modèles rendent bien compte de l'évolution rapide des propriétés du bois vers la moelle. Eyono Owoundi [6] a mis en évidence, chez le chêne rouvre et le chêne pédonculé, une évolution linéaire de la densité tout au long de sa croissance radiale.

On note ainsi, une tendance à la diminution des largeurs du cerne quant l'âge cambial augmente, essentiellement à partir de l'âge de 10 ans; cette tendance a été confirmée par Ackermann [1] chez le chêne sessile.

2.3- Effet des facteurs stationnels sur les caractéristiques microdensitométriques du bois de *Tetraclinis articulata*

2.3.1- Variabilité intra et inter-type de station

L'examen de la distribution des composantes microdensitométriques de densité (D_{moy} , DBI , DBF), en fonction de trois types de station (sous forme des *Box plots*) montre d'une manière générale une variabilité intra-type de station très forte dans la station de *O/Mimoun* et *Honaine*. En revanche, on note l'absence des valeurs extrêmes et des valeurs aberrantes dans la station de *Tiaret*, ce qui confirme la relative homogénéité de distribution des composantes de densité dans cette station. Néanmoins, le thuya de *Tiaret* présente des densités plus élevées comparativement au thuya des autres stations (Fig. 10).

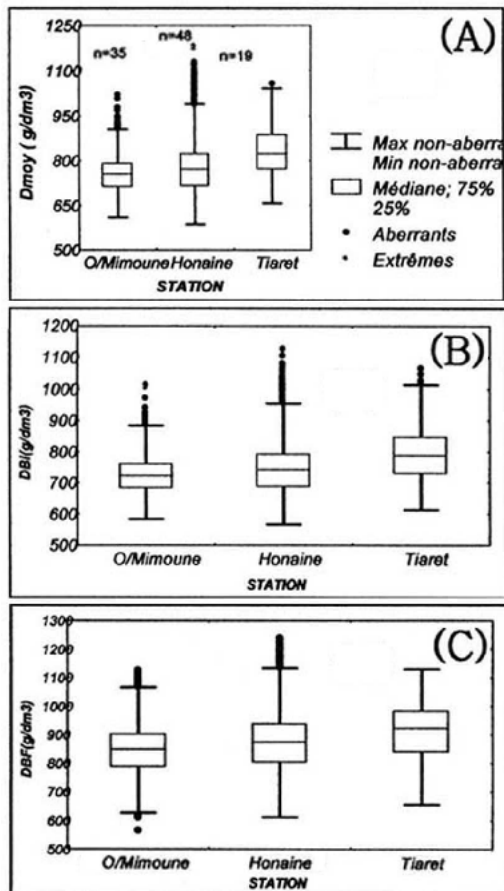


Figure 10: Variabilité intra et inter-type de station pour le cas des composantes de densité (D_{moy} , DBI , DBF) dans les 3 stations (A: Densité moyenne; B: Densité du bois initial; C: Densité du bois final).

Dans le cas des composantes de largeur des cernes, l'analyse de la distribution des caractéristiques microdensitométriques des composantes de largeur de cernes (LC LBI , LBF) illustrée par la figure 10, amène aux mêmes remarques que celles qui sont données dans l'analyse précédente.

Sur les *Box plots*, nous remarquons une variabilité intra-type de station importante dans les deux stations *O/Mimoun* et *Honaine*, contrairement à la station de *Tiaret* qui semble être plus homogène.

On note également que les trois composantes microdensitométriques de la largeur des cernes (LC) augmentent en moyenne du type de station *O/Mimoun* et *Honaine*; la vitesse de croissance dans ces deux stations semble essentiellement sous la dépendance des facteurs stationnels, en particulier les précipitations, en absence des facteurs sylvicoles qui pourraient augmenter la qualité du bois de cette essence. Elazzouzi [5] avait constaté, chez le *Cèdre de l'Atlas*, de provenance marocaine, que la largeur de cerne augmente nettement avec l'intensité des éclaircies (fort et très fort). Les éclaircies agissent directement sur la largeur du bois final LBF (sa valeur peut être doublée dans les éclaircies répétées).

Dans le cas de la texture du bois (rappelons que la texture exprime le pourcentage du bois final par rapport à la largeur totale de cerne), nous remarquons nettement sur la figure 11, que la station de *Tiaret* a une texture élevée comparativement aux individus de station de *O/Mimoun* et *Honaine* (qui sont distinguées par une très forte variabilité), dû notamment à la présence de beaucoup de bois final dans les arbres de cette station.

2.3.2- Analyse de l'effet des facteurs stationnels sur les caractéristiques microdensitométriques (effet station, effet arbre dans station)

Pour analyser les liaisons existantes entre le type de station, l'arbre dans la station et la variabilité quantitative mesurée sur 1029 observations, nous avons effectué une analyse de variance hiérarchisée à deux critères de classification: "station" et "arbre dans station".

1/ Cas des composantes de densité (D_{moy} , DBI , DBF)

Les résultats de cette analyse figurent dans le tableau 1. Pour toutes les variables considérées, l'effet "station" et l'effet "arbre dans station" sont toujours hautement significatifs, ce qui confirme la très forte variabilité collective et individuelle des propriétés microdensitométriques du bois de *Tetraclinis*.

La station de *Tiaret* (sols Rendzines, climat semi aride, altitude 1200 m) présente donc l'avantage de produire un bois de densité élevée (si on compare les moyennes, figure 10). Plus on s'éloigne de cette station, plus la densité moyenne, la densité du bois final et la densité du bois initial diminuent.

2/ Cas des composantes de largeur de cerne (LC , LBI , LBF) et la texture

Les résultats de l'analyse de variance sont récapitulés dans le tableau 2. Les deux stations *O/Mimoun* et *Honaine* présentent, en moyenne, des largeurs de cernes (largeur du

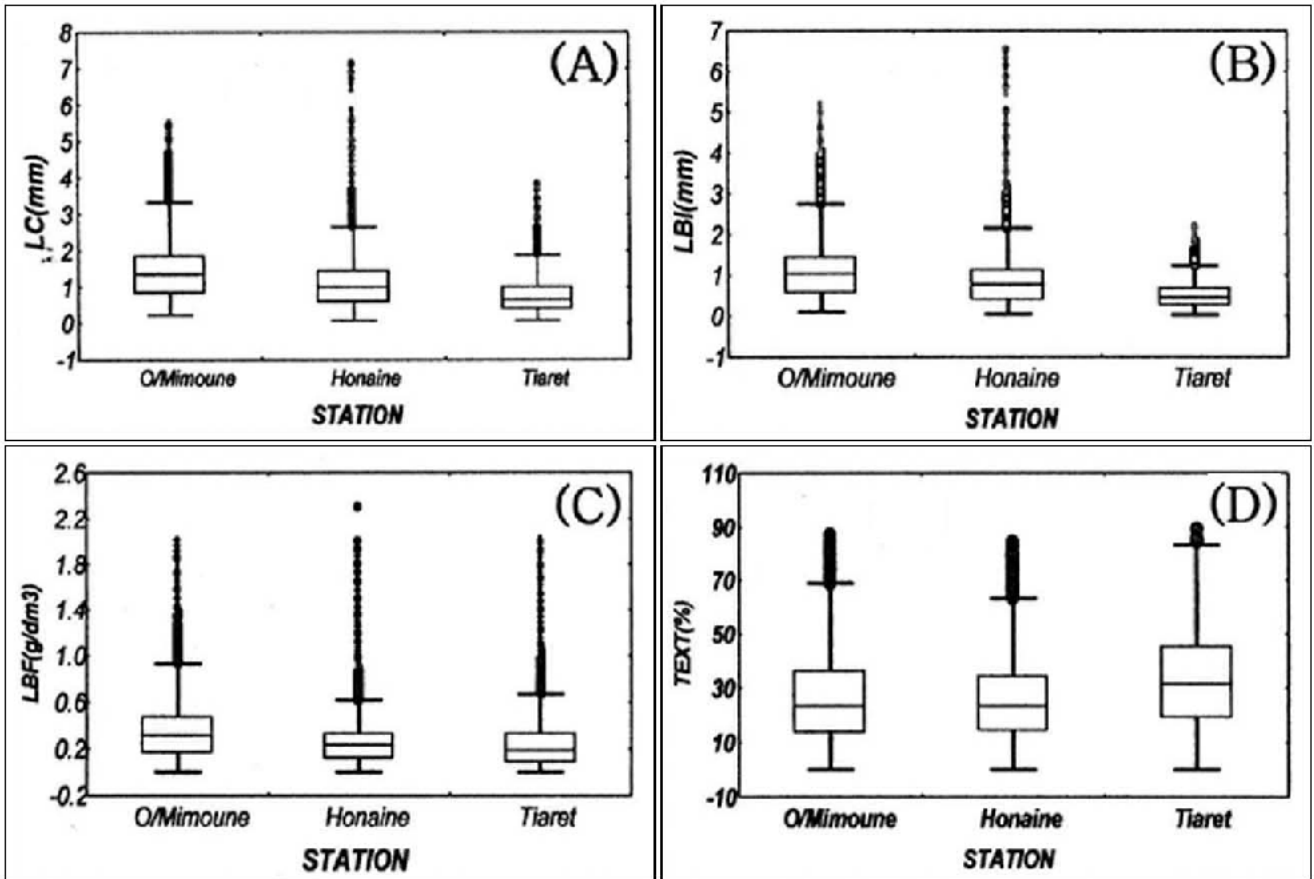


Figure 11: Variabilité intra et inter-type de station pour le cas des composantes de largeur des cernes (LC, LBI,LBF) et la texture du bois (TEX) dans les 3 stations. (A: Largeur totale, B: Largeur du bois initial ; C: Largeur du bois final ; D: Texture du bois).

Source de variation	Degré de liberté dll	F observés		
		Dmoy	DBF	DBI
Station	2	1140***	788***	582***
Arbre dans Station	13	343***	317***	340***
Résiduelle	10275			
Total	10290			

Tableau 1: Résultats de l’analyse de variance hiérarchisée ; effet Station et effet Arbre dans Station sur les composantes de densité (Dmoy : densité moyenne, DBF : densité du bois final, DBI : densité du bois initial).

** test significatif à 1%, *** test significatif à 1 %.

Source de variation	Degré de liberté dll	F observés			
		LC	LBI	LBF	TEX
Station	2	937***	980***	187***	270***
Arbre dans Station	13	183***	167***	117***	98***
Résiduelle	10275				
Total	10290				

Tableau 2: Résultats de l’analyse de variance hiérarchisée ; effet Station et effet Arbre dans Station sur les composantes de largeur de cerne (LC : largeur de cerne, LBI : largeur du bois initial, LBF : largeur du bois final) et la texture du bois (TXT).

bois initial, largeur du bois final) élevées par rapport à la station de *Tiaret*. Ces deux stations présentent donc des

cernes plus larges à densités faibles.

Ackermann [2] montre, chez le chêne sessile, que la largeur du bois initial *LBI* (qui par sa nature présente un bois à faible densité) est influencé par la réserve en eau, une alimentation en eau très inférieure correspondant à une *LBI* faible. Dans le cas présent, la station de *Tiaret* reçoit certainement une précipitation annuelle inférieure à celle observée dans les autres stations.

2.3.3- Comparaison des profils microdensitométriques moyens des cernes, de largeur et d’âge cambial fixés, dans les 3 stations

La connaissance de ces profils densitométriques peut constituer une bonne base de description de la variabilité intracerne de la densité du bois, au niveau des 3 stations. Nous avons utilisé les données relatives aux 20 mesures de densité depuis le début de la formation du cerne jusqu’à la limite du cerne suivant, l’âge cambial et la largeur du cerne étant fixés. Le but est donc de comparer les profils moyens de 3 stations (Fig.12).

Cette comparaison montre que c’est essentiellement la station de *Tiaret* qui se distingue des stations de *O/Mimoune* et *Honaine* par des densité élevées.

Dans un profil densitométrique, on distingue [8,10,6,2,7]:

- Une zone initiale poreuse qui présente la densité minimale, constituée de cellules de gros vaisseaux,

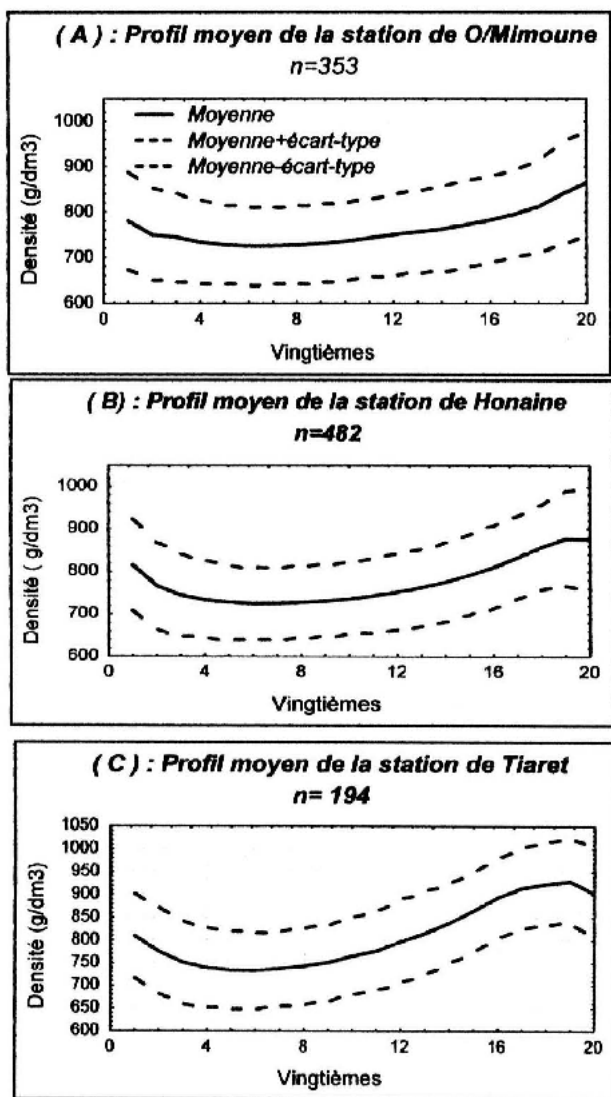


Figure 12: Profils densitométriques moyens des 3 stations (A: station de O/Mimoun; B: station de Honaine; C: station de Tiaret).

- une phase de transition entre la zone du bois initial et le début de la formation du bois final. Elle correspond à un enrichissement plus au moins brutal en fibres (des trachéides chez les résineux) qui induit une augmentation de la densité jusqu'à une valeur maximale,

- une zone de bois final, plus développée, se caractérisant par une décroissance plus au moins prononcée de la densité depuis la valeur maximale jusqu'à la limite du cerne. Cette zone du bois final est composée de parenchyme prévasculaire (tissus peu dense), de plages de fibres (des trachéides chez les résineux) responsables de l'augmentation de la densité (ces plages ou trachéides perdant de l'importance vers la fin du cerne) et des vaisseaux dont l'importance augmente en s'approchant de la limite de cerne.

Le profil densitométrique moyen de la station de *Tiaret* se distingue donc par une zone de bois final développée, comparativement aux autres stations. Il montre un nombre important de trachéides de bois final et, en conséquence, une densité élevée. En revanche, les profils moyens des cerne du type de stations *O/Mimoun* et *Honaine* se

distinguent par la phase de transition entre la zone du bois initial et la formation de bois final qui est plus longue avec une densité sensiblement faible dans la phase du formation du bois final, et en conséquence, par une proportion des trachéides du bois final faible, comparativement à la station de *Tiaret*.

La variabilité du bois dans le cerne est certainement influencée par les facteurs stationnels.

CONCLUSION

Comme chez la plupart des résineux, chez le *Tetraclinis* également, les cerne les plus jeunes correspondent aux années de formation les plus anciennes. La largeur du bois initial suit la tendance de largeur de cerne presque linéairement. Par contre, la texture diminue légèrement avec la largeur des cerne.

L'examen des profils densitométriques moyens des trois stations permet de définir une zone du bois final bien développée dans la station de *Tiaret* comparativement aux autres stations. Cette zone contient donc un nombre important des trachéides du bois final et en conséquence, une densité plus élevée.

Des différences significatives entre les trois stations ont été décelées pour chacune des caractéristiques densitométriques étudiées. Cette variabilité est attribuable aux différences entre les stations "effet station" et entre les arbres d'une même station "effet arbre". Dans ce contexte, une amélioration correspondrait à des plantations possédant à la fois une croissance et une densité élevées.

Cette étude a confirmé la très grande variabilité intra et inter type de station. Elle montre que les stations à altitude élevée, à climat aride, sur des sols riches en calcaire présentent des caractéristiques densitométriques de densités les plus élevées. Plus on s'éloigne de ces conditions écologiques, plus ces caractéristiques sont faibles et les caractéristiques densitométriques de largeur de cerne augmentent. La sylviculture de *Tetraclinis* serait à développer dans ces stations.

Profitant de l'adaptation écologique de *Tetraclinis* dans son aire de répartition, il apparaît utile de poursuivre les efforts de régénération, d'amélioration et de sélection dans ce domaine.

Remerciements:

Je tiens à remercier F. Mothe, P. Gelhaye et G. Nepveu (équipe de la station de recherche sur la qualité du bois, NANCY) pour les mesures microdensitométriques de ce travail.

REFERENCES

- [1]- Ackermann F., "Etude de l'influence du type de station forestière sur la qualité du bois de chêne pédonculé dans le Sud Ouest de la France", Thèse de doctorat en Science du bois, ENGREF, Nancy, (1994), 156 p.
- [2]- Ackermann F., "Influence du type de station forestière sur les composantes intracernes de la densité du bois du chêne pédonculé dans les chênaies de l'Adour et des coteaux basco-béarnais", *Ann. Sci. For.*, (1995), pp.635-652.
- [3]- Dedeckel, "La densité du bois de Douglas. La variabilité des composantes densitométriques et l'effet génétique", Thèse DEA en Science du Bois. ENGREF. NAN., (1994), p.13.

- [4]- Degron et Nepveu, "Prévision de la variabilité intra et interarbre de la densité du bois de chêne rouvre par modélisation des largeurs et densités des bois initial et final en fonction de l'âge cambial, de la largeur de cerne et du niveau dans l'arbre", *Ann. Sci. For.*, (1996), pp.1019-1030.
- [5]- Elazzouzi, "Propriétés technologiques du bois de Cèdre de l'atlas : influence de la sylviculture pratiquée sur divers types de substrat", Thèse de docteur de l'ENGREF, Nancy, (1995), pp.101-120.
- [6]- Eyono Owoundi R., "Modélisation de la rétractabilité du bois en relation avec des paramètres de la structure de l'accroissement annuel et de la position dans l'arbre chez *Quercus robur* L et *Q Petraea Liebl*. Application à l'intégration de la rétractabilité du bois dans les modèles de croissances du bois", Thèse de doctorat de l'ENGREF, Nancy, (1992), 233p.
- [7]- Guilley E., "La densité du bois de chêne sessile : établissement d'un modèle pour l'analyse des variabilité intra et inter-arbre; origine et évaluation non destructive de l'effet "arbre"; interprétation anatomique du modèle proposé", Thèse de docteur de l'ENGREF, Nancy, (2000), 206 p.
- [8]- Ifzu G., "Within-growth-ring variation in some physical properties of southern pine wood", *Wood Science*, (1969), pp.140-148.
- [9]- Jain K., Seth M.K., "Intra-increment variation in specific gravity of wood in Blue pine", *Wood Science an Technology*, (1979), pp.239-249.
- [10]- Jozsa L.A., "The effects of fertilization and thinning on wood quality of a 24 year old stand", *Canadian Journal of Forest Research*, (1989), pp.1134-1145.
- [11]- Keller R., "Sylviculture et qualité du bois de l'épicéa en région Wallonne", E.N.G.R.F, (2002), pp.70-72.
- [12]- Le Moguedoc J., "Modélisation de propriétés de base du bois et leur variabilité chez le Chêne sessile. Simulation en vue de l'évaluation d'une ressource forestière", Thèse de doctorat. Institut National Agronomique Paris – Grignon, (2000), 270p.
- [13]- Maatoug M. et Cheriet A., "Effet de quelques paramètres biologiques et écologiques sur les propriétés de base du bois de Thuya de Maghreb", *Sciences et Technologie*, Université Mentouri Constantine Algérie, N° Spécial Juin (2002).
- [14]- Maatoug M., "Effet des facteurs stationnels sur les propriétés physiques, mécaniques et papetières du bois de Thuya de Maghreb (Algérie occidentale)", Thèse de doctorat, faculté des Sciences, Université de Djilali Liabbes, Sidi Belabbes, (2003), 160p.
- [15]- Mazet F.J., Nepveu G., Varcin E., "Etude des effets de quelques paramètres sylvicoles et environnementaux sur la densité du bois de l'Epicéa commun, du Sapin pectiné et du Pin sylvestre dans le Nord-Est de la France", Actes du 3ème Colloque « Sciences et industrie du bois » ABBORA, Tome II, (1990), pp.537-546.
- [16]- Mothe F., Sciama D., Leban J., Nepveu G., "Analyse microdensitométrique appliquée au bois : une méthode de traitement des données aboutissant à description synthétique et homogène des profils de cernes (programme Cerd)", *Ann. Sci. For.*, 55, (1998), pp.301-315.
- [17]- Olesen P.O., "The interrelation between basic density and ring width of Norway spruce", *Det Forstlige Forsogsvaesen I Denmark* (1976), p.349.
- [18]- Polge H., "Contribution de la densitométrie à la science du bois", Extrait de XYLORAMA, edited par KUCERA (1985), pp.147.
- [19]- Polge H., "Etablissement des courbes de variation de la densité du bois par exploitation densitométrique de radiographies d'échantillons prélevés à la tarière sur des arbres vivants. Application dans les domaines technologiques et physiologiques", *Ann. Sci. For.*, 30, (1966), pp.307-328.
- [20]- Polge H. et Nicholls J., "Quantitative radiography and the densitometric analysis of wood", *Wood. Sci.*, 5(1), (1972), pp.51-59.
- [21]- Rao R.V., Aebischer D.P., Denne M.P., "Latewood density in relation to wood fiber diameter, wall thickness, and fiber and vessel percentage in *Quercus robur* L.", *Iawa*, 18(2), (1997), pp.127-138. □