

CARACTERISATION ANATOMIQUE ET CHIMIQUE DU RONIER (BORASSUS AETHIOPUM MART., ARECACEAE) DU TCHAD / AFRIQUE CENTRALE

[ANATOMICAL AND CHEMICAL CHARACTERISTICS OF TALL-PALM (BORASSUS AETHIOPUM MART., ARECACEAE) OF CHAD / CENTRAL AFRICA]

Kimtangar NGARGUEUEDJIM¹, Elisée MBAYNGONE², Ngarmaïm NADJITONON¹, Bruno BASSA¹, Nétodjiro ALLARABEYE¹, Jean-François DESTREBECQ³, Rostand MOUTOU PITT³, and Roudier AGNES⁴

¹Laboratoire d'Etude et de Recherche en Techniques Industrielles (LERTI),
Faculté des Sciences Exactes et Appliquées, Université de N'Djaména, N'Djaména, Tchad

²Laboratoire de Botanique Systématique et Ecologie Végétale,
Faculté des Sciences Exactes et Appliquées, Université de N'Djaména, N'Djaména, Tchad

³Laboratoire de Mécanique et Ingénieries (Génie Civil),
Université Blaise Pascal de Clermont-Ferrand, Campus des Cezaux, Aubière Cedex, France

⁴Institut Français de Mécanique Avancée (IFMA),
Université Blaise Pascal de Clermont-Ferrand, Campus des Cezaux, Aubière Cedex, France

Copyright © 2016 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the *Creative Commons Attribution License*, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: The tall-palm is a woody tree which one found in islets of stand in the natural vegetation in the localities of Ngam, Goundi, Kimri, Houndouma in Chad. Its trunk, being able to exceed 15m height, is used in the frames of the traditional and semi-modern housings. However, little of scientific and technical works have been performed on this wood to allow its rational use. This paper focuses on the determination of its anatomic and chemical features for the understanding of the physical and mechanic behavior of this wood.

Anatomical analyses allowed us to quantify by mean 124 fibers per cm² in the duramen and 77 fibers per cm² in the sapwood. Chemical analyses performed equally allowed to determine a mean rate of:

- 63.21 % of cellulose in the duramen and 61.89 % in the sapwood;
- 9.60 % of hemicelluloses in the duramen and 11.32% % in the sapwood;
- 19.36% of lignin in the duramen and 19.68% in the sapwood.

KEYWORDS: Tall-palm, woody tree, chemical characteristic, fiber, Cellulose, Hemicellulose, Lignin.

RÉSUMÉ: Le palmier rônier est un arbre ligneux qu'on trouve en ilots de peuplement dans les formations naturelles dans les localités de Ngam, Goundi, Kimré, Houndouma au Tchad. Son stipe, pouvant dépasser 15m de hauteur, est utilisé dans les charpentes des habitats traditionnels et semi-modernes. Cependant, peu de travaux scientifiques et techniques ont été réalisés sur ce bois pour permettre son utilisation rationnelle. Le présent travail porte sur la détermination de ses caractéristiques anatomiques et chimiques en vue de la compréhension du comportement physique et mécanique de ce bois. Les analyses structurales réalisées nous ont permis de quantifier en moyenne 124 fibres au cm² pour le duramen et 77 fibres au cm² pour l'aubier.

Les analyses chimiques réalisées nous ont également permis de déterminer un taux moyen :

- de cellulose de 63,21% dans le duramen et de 61,89% dans l'aubier ;

- d'hémicellulose de 09,60% dans le duramen et de 11,32% dans l'aubier ;
- de lignine de 19,36% dans le duramen, de 19,68% dans l'aubier.

MOTS-CLEFS: Rônier, Arbre ligneux, Caractéristique chimique, Fibre, Cellulose, Hémicellulose, Lignine.

1 INTRODUCTION

Le bois de rônier (*Borassus aethiopum* Mart.) est utilisé diversement comme des lattes et comme des éléments de poutraison, des charpentes et des poutres dans la construction des habitats traditionnels et semi-modernes.

Son utilisation au Tchad se fait de manière artisanale sans connaissance de ses caractéristiques techniques. Il est un matériau à structure ligneuse serrée caractéristique aux palmiers. Son stipe (tronc) se compose, de l'extérieur vers l'intérieur, d'une mince écorce protectrice, d'une couche très dure de couleur brune appelée duramen, d'une couche brunâtre appelée aubier et du cœur spongieux (tendre).

Une estimation à l'œil nu fait apparaître que dans la zone du duramen le nombre des fibres avoisine 80 par cm² et 40 par cm² dans la zone de l'aubier.

Le rônier est un bois qui résiste bien aux termites. Il peut conserver son intégrité en usage pendant plusieurs siècles [1]. En Afrique subsaharienne, particulièrement au Tchad, le rônier représente un potentiel économique important et est disponible en îlots de peuplements dans les formations naturelles dans les localités de Ngam, Goundi, Kimré, Houndouma au Tchad.

La forme d'usage du rônier au Tchad ne participe pas à son utilisation rationnelle car le gain facile conduit à des abattages des jeunes individus. La connaissance de ses propriétés physiques et mécaniques permettrait de régler l'âge d'abattage, d'optimiser les sections des éléments de charpentes, de lattes et des poutres, et voire les recommander pour les applications comme armature dans les bétons. Or ces caractéristiques dépendent fortement des caractéristiques structurales et chimiques. Le présent travail vise donc la détermination des taux des fibres, de la cellulose, d'hémicellulose et de la lignine dans les trois parties du rônier (duramen, aubier et le cœur).

2 MATÉRIAU DE L'ÉTUDE

Le matériel végétal de l'étude est une grume (tronc découpé) d'un rônier mâle âgé d'environ 40 ans abattu à Houndouma, un village au sud de N'Djaména, situé à 11°51,33' de latitude Nord et 11°04,45' de longitude Est. D'une hauteur moyenne de 12m et de diamètre moyen de 130cm, l'échantillon à une hauteur utile de 4m à 1m du sol.

3 MÉTHODOLOGIE

3.1 THÉORIES

3.1.1 DE L'ÉTUDE STRUCTURALE (ANATOMIQUE)

Pour étudier les caractéristiques morphologiques des tissus et la façon dont ils sont disposés les uns par rapport aux autres, il est nécessaire de définir le plan ligneux de l'espèce. Ce plan est généralement analysé à partir de trois directions de coupe (figure 1):

- Axiale: plan perpendiculaire à l'axe de la tige (formé par les directions tangentielle et radiale) ;
- Radiale : plan passant par la moelle (formé par les directions tangentielle et axiale) ;
- Tangentiel : plan excentré et parallèle à l'axe de la tige (direction radiale et direction axiale).

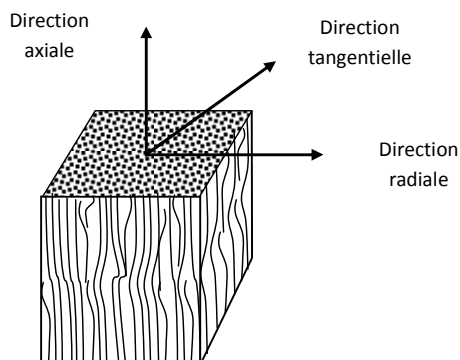


Figure 1 : Les 3 directions perpendiculaires définissant le plan ligneux

Le rônier est un matériau bio polymère assimilable à un matériau composite naturel. Sa structure tissulaire est organisée [1]. Son stipe est constitué de nombreux faisceaux cribro-vasculaires (tissus conducteurs) entourés d'une gaine de sclérenchyme (tissu de soutien), noyés dans le parenchyme fondamental. C'est cet ensemble qui confère la consistance dure au bois de rônier. De l'extérieur vers l'intérieur, le stipe (photo1) est composé :

- d'une écorce constituée des cellules mortes,
- du duramen : la partie correspondant aux zones d'accroissement les plus anciennement formées, qui ne comportent plus de cellules vivantes appelé généralement "bois parfait". Il s'agit d'un bois dur, compact, dense, sec et imputrescible. Il est le plus souvent sombre et occupe les couches externes sous l'écorce.
- de l'aubier : la partie généralement moins dur que le duramen et de couleur blanchâtre qui correspond aux zones d'accroissement les plus récemment formées. Il contient des cellules vivantes.
- du cœur ou moelle : la partie centrale spongieuse qui est très riche en eau et en hydrate de carbone.

Le duramen et l'aubier constituent le bois proprement dit ayant une forme de couronne.

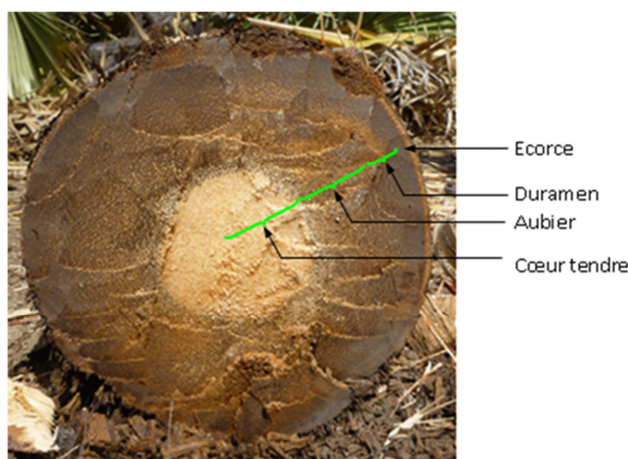
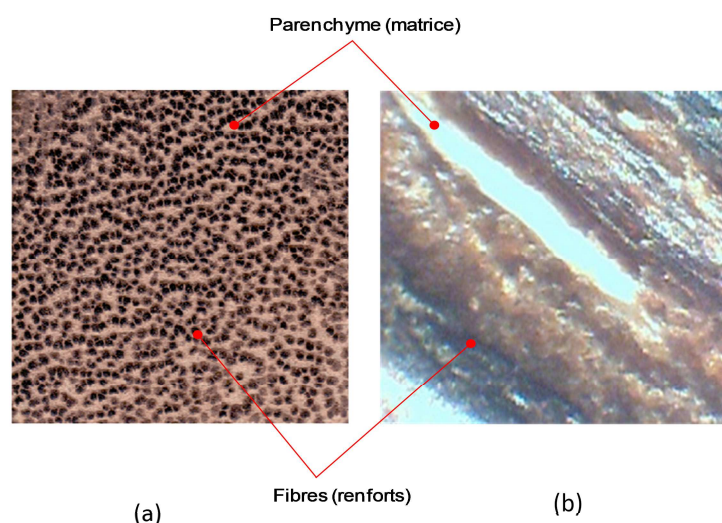


Photo 1 : Structure du bois de rônier [2]

De la hauteur de 1m du sol à 4m de longueur utile du bois de rônier, l'épaisseur du bois (duramen + aubier) vaut 8 à 10cm selon l'âge de l'arbre. L'observation microscopique révèle que le bois de rônier présente une structure de cellules régulièrement arrangées. Matériau composite naturel, le rônier est formé :

- Des fibres ou cellules allongées (trachéides) disposées dans le sens longitudinal du tronc, visibles à l'œil nu ; leurs longueurs sont variables et peuvent atteindre une cinquantaine de centimètre. En général, les fibres assurent le rôle de soutien mais dans une moindre mesure de conduction de sève brute. Elles constituent les renforts reliés entre eux par l'hémicellulose. Elles sont imprégnées de lignine [3]

- Des parenchymes formés des cellules généralement appelées rayons médullaires dans laquelle sont noyées les fibres du bois rônier ; plus mous que les tissus fibreux, ils permettent leur adhésion et assure la forme du bois. Une vue microscopique dans la direction transversale et longitudinale des fibres est donnée par la photo 2.



**Photo 2 : Photographie montrant les fibres et les parenchymes :
(a) : vue transversale, (b) : vue longitudinale des fibres [2]**

3.1.2 DE L'ÉTUDE CHIMIQUE

Au cours de la formation du bois par les méristèmes primaires et secondaires, le bois devient de plus en plus important au point de repousser les autres tissus périphériques de l'écorce pour occuper tout l'espace du tronc. Toutefois chez le rônier le tissu ligneux et la moelle demeurent distincts durant toute la vie de l'arbre.

Un bois est en général composé de trois (3) grands types de macromolécules qui s'entrecroisent dans une fibre, la cellulose (C), les hémicelluloses (HC) et la lignine (L). On trouve également dans ce matériau des composés chimiques tels que les minéraux, l'amidon et les protéines que l'on appelle matières extractibles.

La cellulose est le composé principal du bois (environ 50%) et constitue sa base structurale. La cellulose est un glucide constitué d'un enchaînement de cycles glucopyranose, dont la formule moléculaire est $(C_6H_{10}O_5)_n$. Principal constituant des fibres, la cellulose est très résistante aux dégradations physiques et chimiques. L'hémicellulose est le deuxième composant d'une paroi pectocellulosique chez les végétaux, après la cellulose. Elle est faite de monomères glucidiques anhydres. Elle constitue le principal liant dans la structure pariétale des végétaux. Elle se distingue de la cellulose par sa chaîne ramifiée rendant sa structure fragile. La lignine représente, en moyenne 15 à 35% des tissus végétaux. Elle forme un complexe avec les autres composés de type polysaccharides dans un bois. Elle est en fait, ce qu'on pourrait appeler la "colle" du bois, car elle relie ensemble les structures de cellulose et d'hémicellulose. La présence de la lignine dans la paroi cellulaire rend le bois mécaniquement très résistant et permet à certains arbres d'atteindre une hauteur de plus de 100m [1]. Elle est différente suivant la nature du bois, la croissance et la morphologie de l'arbre.

Les extractifs ne font pas partie intégrante de la paroi cellulaire. Ils sont facilement éliminés par des solvants naturels. Ils comprennent plusieurs substances chimiques telles que les graisses, les composés aromatiques, les huiles volatiles, les alcools à haut poids moléculaires et acides gras. Ce sont la cellulose et l'hémicellulose qui confèrent à la cellule végétale sa rigidité.

3.2 APPAREILLAGE ET MÉTHODOLOGIE

3.2.1 DE L'ÉTUDE STRUCTURALE

Les travaux sur la structure du bois rônier ont été réalisés au Laboratoire de Génie Civil de l'Université Blaise Pascal de Clermont-Ferrand.

L'étude de la proportionnalité des fibres dans le bois de rônier est réalisée sur deux éprouvettes, l'une extraite de la partie duramen et l'autre de l'aubier. Leurs sections droites sont préalablement poncées avec des papiers abrasifs à grains fins (P240 et P400) et nettoyées à l'acétone. Une photographie de ces sections droite est réalisée sur une surface de 1cm x 1cm à 4800 dpi, puis scannée pour l'agrandissement.

Pour chaque image obtenue, nous avons :

- Numéroté les fibres entières dans la surface ainsi que les fibres coupées se trouvant sur le contour de la surface concernée (Image 1).

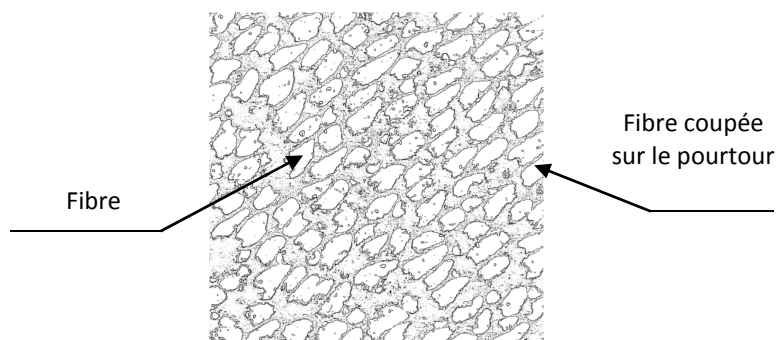


Image 1 : Coupe du duramen (1cmx1cm 4800dpi)

- Mesuré les fibres entières uniquement en inscrivant son contour dans un rectangle de grande dimension b et de petite dimension a (figure 2). Ces mesures des dimensions permettent de calculer le facteur de forme (b/a) de la fibre.
- Saisi des données dans un fichier Excel (une feuille par coupe), les numéros des fibres, leurs petites et grandes dimension puis le facteur de forme.

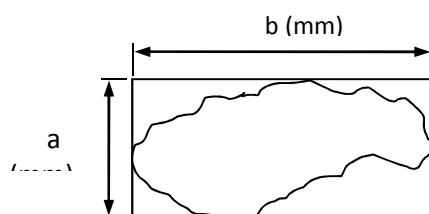


Figure 2 : Détermination de l'encombrement d'une fibre par la méthode du rectangle circonscrit.

3.2.2 DE L'ÉTUDE CHIMIQUE

Les teneurs en cellulose, hémicellulose et en lignine sont estimées par la méthode de Van Soest et Wine au Laboratoire de Mécanique et Ingénieries (LaMI) de l'Institut Français de la Mécanique Avancée (IFMA) de l'Université Blaise Pascal de Clermont-Ferrand. Cette méthode gravimétrique est basée sur la différence de solubilité des constituants dans deux types de détergents: NDF (Neutral Detergent Fiber) et ADF (Acid detergent Fiber). Elle se pratique à partir d'échantillons préalablement séchés ($MS \geq 85\%$), réduits sous forme de poudre afin de rendre le milieu homogène possible [3]. Le broyage de la matière (rônier) en poudre a été effectué grâce au broyeur à couteaux cyclotec.

Cette méthode permet d'obtenir une estimation des teneurs en composés pariétaux: lignine (L), cellulose (C), hémicellulose (HC). Ces estimations sont faites selon les deux schémas de principe de la figure 3.

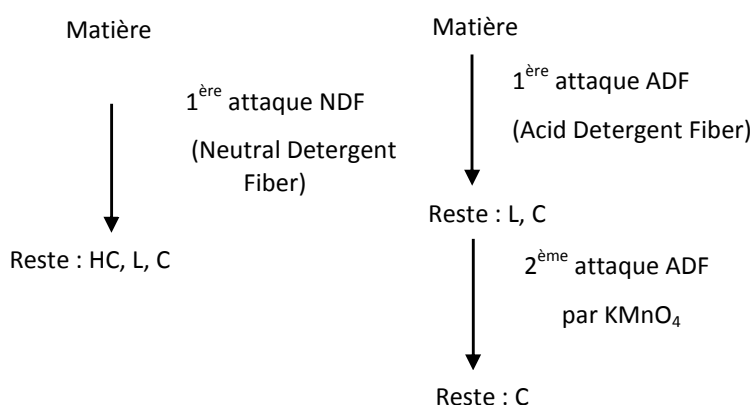


Figure 3 : Schéma du principe de la méthode de Van Soest et Wine d'estimation des composés pariétaux

Les réactions ADF et NDF sont effectuées sur l'appareil Fibertec System M-Hot extractor. Seule l'attaque de la lignine s'effectue sur l'appareil Fibertec System M-Cold extractor.

La préparation des réactifs (solutions NDF, ADF...) et le principe de dosage relatif aux résultats expérimentaux sont décrits dans les textes d'origine.

Par différence de masse, on remonte aux teneurs en hémicelluloses, lignines et cellulose par rapport à la matière minérale des échantillons.

Les relations ci-dessous ont servi aux calculs des grandeurs recherchées.

$$\text{- La teneur de la matière minérale d'un échantillon : } MM_i(\%) = 100 \times (C_2 - C_0) / (C_1 - C_0) \quad (1)$$

Avec c_0 la masse du creuset vide (g), c_1 la masse du creuset plein (g), c_2 la masse du creuset calciné (g).

Cette matière minérale se calcule aussi pour le résidu des réactifs ADF ($i = a$), que pour le résidu de la réactif NDF ($i = n$).

$$\text{- La teneur d'humidité : } H(\%) = 100 \times (m_1 - m_2) / (m_1 - m_0) \quad (2)$$

$$\text{- La teneur en matière sèche d'un échantillon : } MS(\%) = 100 - H = 100 \times (m_2 - m_0) / (m_1 - m_0) \quad (3)$$

- La teneur en cellulose par rapport à la matière sèche de l'échantillon :

$$C(\%) = 100 \times (f_3 - f_0) (1 - MM_a / 100) / (MS \times (f_1 - f_0) / 100) \quad (4)$$

Avec f_0 la masse du fritté vide (g), f_1 la masse du fritté plein (g), f_3 la masse du fritté sec après l'attaque de la lignine au permanganate de potassium (g), MM_a la matière minérale (avec la réaction ADF).

- La teneur en lignine par rapport à la matière sèche de l'échantillon :

$$L(\%) = 100 \times (f_2 - f_3) / (MS \times (f_1 - f_0) / 100) \quad (5)$$

- La teneur en hémicellulose par rapport à la matière sèche de l'échantillon :

$$HC(\%) = 100 \times [f_2 - f_0 - (M_s \times (f_1 - f_0) / 100) \times ((MM_n + C + L) / 100)] / (MS \times (f_1 - f_0) / 100) \quad (6)$$

Avec f_0 , f_1 et f_2 les masses du fritté sec de la réaction NDF en gramme, et MM_n la matière minérale (avec la réaction NDF).

Nous avons réalisé l'analyse chimique sur la partie « aubier » et sur le bois parfait « duramen ».

4 RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

4.1 DE L'ÉTUDE STRUCTURALE DU BOIS RONIER

Le duramen comporte 124 fibres entières au centimètre carré de section, contre 77 pour l'aubier. Les fibres du duramen apparaissent ainsi plus denses que celles de l'aubier. Les courbes de la figure 4 traduisent l'évolution des tailles des fibres.

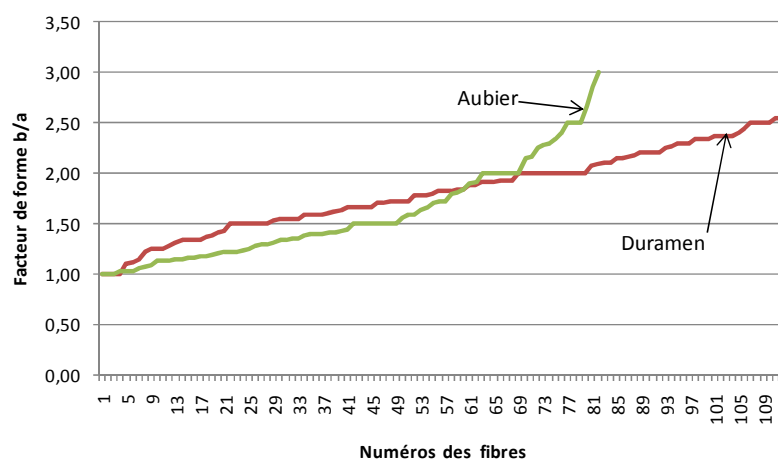


Figure 4 : Evolution du facteur de forme des fibres

Les valeurs du facteur de forme sont comprises entre 1 à 3 pour l’aubier et entre 1 à 2,50 pour le duramen. La valeur moyenne du facteur de forme est de $1,59 \pm 0,47$ pour l’aubier et $1,90 \pm 0,48$ pour le duramen.

En effet, la dureté du duramen est non seulement due aux fibres ligneuses mais aussi à la structure du sclérenchyme (tissu de soutien) qui est aussi lignifié [3]. Par contre, l’aubier renferme aussi des fibres, mais à parois pecto-cellulosique moins rigide. Ce qui est d’ailleurs confirmé par les caractéristiques dimensionnelles qui sont différentes.

4.2 DE L’ETUDE CHIMIQUE DU BOIS RONIER

Les tableaux 2 et 3 présentent les valeurs des différentes masses des échantillons obtenues au cours de l’expérimentation.

Tableau 2 : Valeurs expérimentales des essais chimiques

	1 ^{ère} attaque NDF						
	f ₀ (g)	f ₁ (g)	f ₂ (g)	c ₀ (g)	c ₁ (g)	c ₂ (g)	
Aubier	38,1328	39,1354	38,9882	14,9331	15,7408	14,9352	
Duramen	37,6518	38,6892	38,5206	12,8453	13,6610	12,8537	
	1 ^{ère} attaque ADF			2 ^{ème} attaque ADF			
	f ₀ (g)	f ₁ (g)	f ₂ (g)	f ₃ (g)	c ₀ (g)	c ₁ (g)	c ₂ (g)
Aubier	38,0771	39,0844	38,8349	38,6530	12,6688	13,2152	12,6725
Duramen	38,6652	39,7064	39,4460	39,2637	11,8492	12,4185	11,8526

Tableau 3 : Données pour les calculs des matières sèches

	m ₀ (g)	m ₁ (g)	m ₂ (g)
Aubier	35,2470	36,7501	36,6062
Duramen	35,7954	37,3106	37,1855

Ces valeurs ont servi à calculer le taux de cellulose, de la lignine et de l’hémicellulose (tableau 4) en appliquant les relations (1), (2), (3), (4), (5), (6).

Tableau 4 : Taux de teneurs en cellulose, lignine et hémicellulose

	MS (%)	MMn (%)	MMa (%)	C (%)	L (%)	HC (%)	Extractifs
Aubier	91,74	0,26	0,67	61,89	19,68	11,32	7,11
Duramen	90,42	0,46	0,6	63,21	19,36	9,60	7,83

Ces résultats montrent que le taux de cellulose est supérieur par rapport aux taux de lignine et d'hémicellulose quelle que soit la partie du bois considéré. Le duramen contient un taux de cellulose plus élevé que l'aubier. Par contre le taux d'hémicellulose dans l'aubier est légèrement supérieur à celui du duramen. La proportion des matières extractives est quasiment la même dans les deux parties utiles du bois rônier.

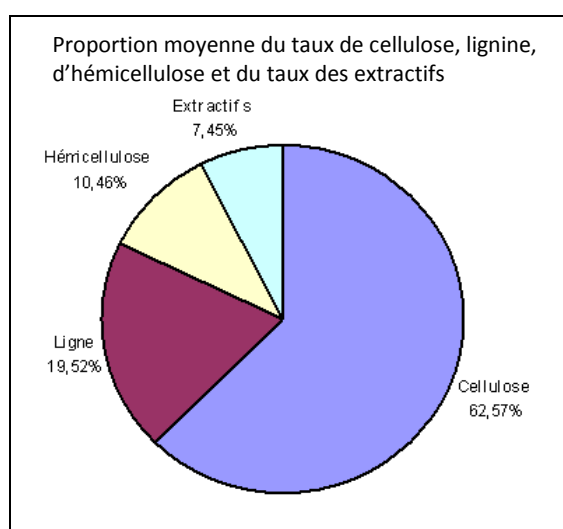


Figure 5 : Proportions des composés pariétaux dans le bois de rônier

En faisant la moyenne des différents taux de l'aubier et du duramen, on déduit que le bois de rônier est constitué d'environ 62,57% de cellulose, 19,52% de lignine, 10,46% d'hémicellulose et 7,45% d'extractifs (figure 5).

Le taux élevé de la cellulose est tout à fait compréhensible, car toutes les parois cellulaires renferment d'abord la cellulose avant la lignification. Or chez le rônier, même les structures lignifiées sont noyées dans le parenchyme fondamental qui est aussi cellulosique [3].

Il ressort que les parois du bois de rônier sont constituées chimiquement de deux composés de base : le réseau microfibrillaire de cellulose qui représente les renforts et la matrice regroupant principalement les lignines et l'hémicellulose qui constitue un ciment occupant l'espace entre les fibres. Les taux importants de ces deux macromolécules (cellulose et lignine) dans le bois de rônier contribuent à sa résistance.

La cellulose, du fait de sa structure de base en forme de chaîne de grande rigidité peut s'associer parallèlement en une structure microfibrillaire plus ou moins cristalline. Cette géométrie leur permet de s'entasser et de se lier les unes aux autres pour former la microfibrille (fibre primaire). Cette structure compacte et très ordonnée est due aux nombreuses liaisons hydrogènes intramolécules et intermolécules à l'intérieur de la structure. Principal constituant de la fibre, la cellulose confère au bois rônier sa structure très dense en fibres et très compacte ainsi que sa grande résistance aux dégradations chimiques et physiques. Cette résistance aux dégradations est renforcée par la lignine qui est un biopolymère stable vis-à-vis de la chaleur et des agents de modification physique et biologique de la structure cellulaire [6].

5 CONCLUSION

Cette étude qui est une première pour le Tchad a permis de montrer que la dureté du bois rônier est due à la densité des fibres des fibres dans le duramen (124/cm²) et dans l'aubier (77/cm²).

Ces fibres sont parfois à parois cellulosiques ou lignifiées. Globalement, le bois rônier est constitué d'environ 62,57% de cellulose, 19,52% de la lignine et 10,46% de l'hémicellulose. Le taux de la cellulose supérieur à la norme (50%) traduit l'état jeune du pied étudié.

Des études ultérieures sur un grand nombre d'échantillonnages permettront d'avoir les taux moyens de référence de ces différents constituants chimiques du bois rônier du Tchad afin d'orienter les exploitants sur l'âge d'abattage.

Cette connaissance des caractéristiques structurales et chimiques du bois rônier en tant qu'un matériau permettra de comprendre ses propriétés physiques et mécaniques ainsi que la plupart des variations de qualité en se basant sur leurs légères variations.

REMERCIEMENT

Nous tenons à remercier La Direction des Forêts et de la Lutte contre la Désertification pour avoir bien voulu nous délivrer, par deux reprises, les autorisations de prospection et prélèvement d'un pied mâle de rônier à Houndouma et un autre à Malfana.

Nos remerciements vont à l'endroit des habitants de ces deux localités et le Service des Eaux et Forêt de Mandéla qui nous ont prêté main forte pour la réussite de nos deux missions.

Ces remerciements s'adressent à notre Université pour avoir financé le projet de recherche ayant abouti à la rédaction de cet article.

Nous n'oublions pas l'AUF qui a accepté de financer le séjour de stage de Allarabeye Nétodjiro au Laboratoire de Génie Civil de l'Université Blaise Pascal de Clermont - Ferrand.

Nous remercions également le Pr Jean-François Destrebecq et Le Mc Rostand Moutou Pitti pour avoir bien voulu accepté Allarabeye Nétodjiro dans leur Laboratoire.

REFERENCES

- [1] **Diallo A. K. et al, 1998.** Problématique de la gestion durable du rônier dans la sous-région Ouest-africaine. Atelier technique sur le rônier en République de Guinée Conakry. www.ananzie.net.
- [2] **Allarabeye N., 2010.** Caractérisation structurale, physico-chimique et mécanique du rônier, Mémoire de Master en Electrotechnique. Institut Universitaire des Sciences et Techniques d'Abéché, 62p.
- [3] **Detienne P., 1988.** Cours illustré d'anatomie des bois. Centre Technique Forestier Tropical. CIRAD, 47p.
- [4] **Nancy, L'Ecuyer, septembre 2005.** Etude sur la réaction de carbonisation des polysaccharides des fibres, 117p.
- [5] **Parviz.N, Frédéric.H, 2005.** Comportement thermo-hydomécanique du bois, 298p.
- [6] **Felby et al, 2002.** Pilot-scale production of fiber boards made by laccase wood fibers. Board properties and evidence for cross-linking of lignin. *Engyme and Microbial Technology* 31, pp 736-741.