

Séchage sous vide des contreplaqués collés à l'état vert des essences tropicales.

Valentin Makomra^{1,3} – *Régis Pommier¹ - René Oum Iissouck^{2,3} – Enrico Panettieri⁴ – - Louis Denaud⁵ -Jérémy Barboure^{1,6}

1. Univ. Bordeaux, I2M, UMR 5295, 351 cours de la Libération, 33400 Talence, France

2. The University Institute of Wood Technology, The University of Yaounde I, P.O. Box 306, Mbalmayo, Cameroon

3. Laboratory of Civil Engineering and Mechanics, National Advanced School of Engineering, The University of Yaounde I. P.O. Box 8392 Yaounde, Cameroon

4. Arts et Métiers Institute of Technology, Université de Bordeaux, CNRS, INRA, Bordeaux INP, HESAM Université, I2M UMR 5295, F-33405 Talence, France

5. LaBoMaP, Laboratoy of Material and Process of Bourgogne, ENSAM Cluny, 1 rue Porte de Paris, 71250, Cluny, France.

6. Graduate School of Chemistry, Biology and Physics of Bordeaux, ENSCBP - Bordeaux INP, 16 Avenue Pey Berland, 33607 Pessac

(*) Corresponding author : regis.pommier@u-bordeaux.fr, makomra@yahoo.fr

RESUME.

Les forêts du Bassin du Congo constituent un trésor essentiel pour la survie de l'humanité. Toutefois, elles font l'objet d'une mauvaise gestion du fait de la coupe intensive et très sélective d'un nombre limité d'essences. L'objectif de ce papier est de développer des panneaux de contreplaqué collés à l'état vert de nouvelles essences tropicales en vue d'élargir le potentiel exploitable que promet cette technologie pour contribuer à une gestion forestière plus durable. Les plis de bois, séchés artificiellement avant d'être collés, subissent généralement plusieurs dommages (fissures, déformations), limitant l'utilisation de ces espèces. La solution proposée est de les coller à l'état vert à l'aide d'un adhésif polyuréthane (Collano RP 2554) avant de les sécher.

Nous nous sommes dirigés vers le séchage sous vide avec des cycles de séchage/humidification, pour relaxer les contraintes induites par les retraits anisotropiques. Quatre essences originales ont fait l'objet de mise en œuvre et de caractérisation normalisée. Les contreplaqués obtenus présentent des résultats en tous points satisfaisants. Les résultats les plus significatifs sont pour les essences de Bété et Dabema qui peuvent maintenant être valorisées industriellement grâce à cette technologie.

Mots-clés : Contreplaqués, Bois vert, séchage sous vide.

I. INTRODUCTION

Les usines de contreplaqué utilisent depuis longtemps les plis de bois obtenus par déroulage d'essences. Le séchage artificiel de ces plis de bois, seul procédé industriel, conduit à un certain nombre d'incidents pouvant survenir au cours du processus. Certains défauts sont visibles (fissures et déformations superficielles) tandis que d'autres peuvent être non visibles (fissures internes). Quoi qu'il en soit, ils sont susceptibles de provoquer une défaillance future [1]. Pour

apporter des solutions, plusieurs travaux ont développé des produits collés à l'état vert [2, 3] et notamment des panneaux de contreplaqué utilisant différentes technologies [4, 5, 6, 7]. Au niveau industriel, cette technique peut permettre des économies d'énergie et réduire la dégradation de l'intégrité matérielle des placages lors de la manutention. Lavalette [8] a montré que le produit issu du séchage sous vide de la transformation du contreplaqué collé vert, répond aux exigences standard de contrainte de cisaillement selon EN 314-1 [9]. Mais elle a montré des fissures superficielles dues probablement aux contraintes induites par le gradient d'humidité et le retrait anisotrope. Pour apporter des solutions nous proposons des méthodes expérimentales de séchage sous vide continu avec un cycle séchage/humidification dans le but d'améliorer la qualité du produit. Ce cycle sera piloté en faisant varier la température, de manière à obtenir une intégrité matérielle et une stabilité géométrique intéressante.

II. MATERIEL ET METHODE

II-1 Etat de l'art sur le séchage des CP à l'état vert sous conditions atmosphérique

Le séchage des contreplaqués collés à l'état vert sous conditions atmosphériques pour une teneur finale de 12% présente des fissures sur les deux faces externes le long des directions des fibres (figure 1)[10].



FIGURE 1. État du CP du Bété après séchage dans les conditions atmosphériques [10]

La modélisation numérique de ce séchage dans les mêmes conditions expérimentales a permis de mieux comprendre, et d'évaluer l'évolution des contraintes qui atteint pratiquement son maximum dès les 5 premières heures de séchage (figure 2).

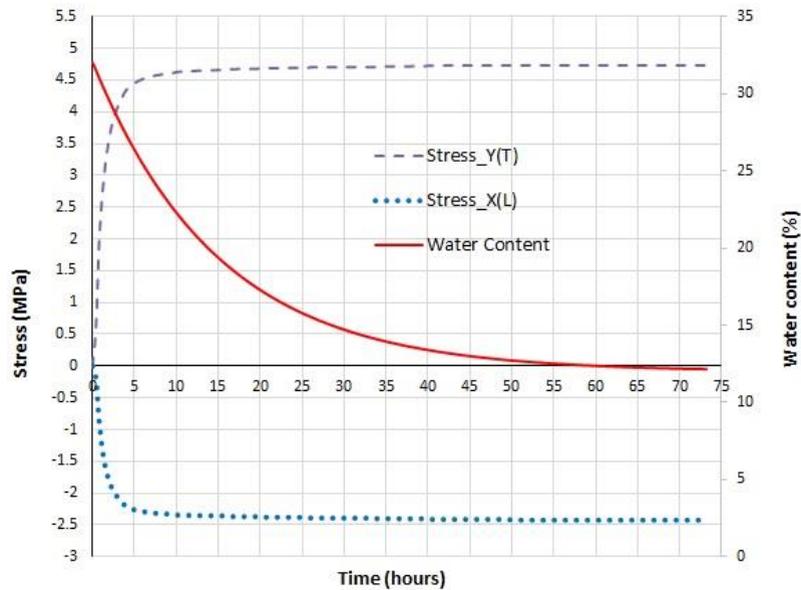


FIGURE 2. Évolution des contraintes dans les directions X et Y d'un point surfacique du CP [10]

II-2 Matériels

1. Présentation du séchoir sous vide

Le séchoir sous vide à presse type PRESS-XS utilisé dans le cadre de nos expérimentations est composé essentiellement (Figure 3) :

- de la cellule de séchage étanche, faite d'une cuve parallélépipédique dotée d'un couvercle composé d'une toile élastique lui permettant de se déformer ;
- d'un système de chauffage formé par un ensemble de trois plaques chauffantes à résistance électrique d'une puissance de 12 kW ;
- d'une pompe à vide de type anneau liquide fonctionnant avec de l'eau ;
- d'une boîte de commande électrique de contrôle du séchage pour la régulation ;

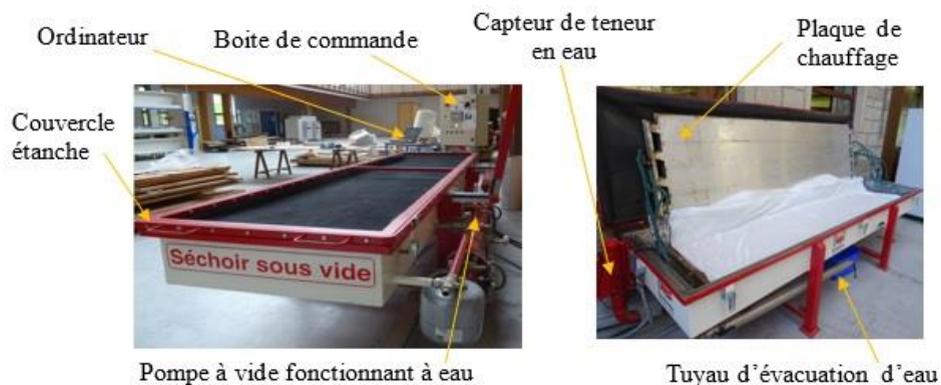


FIGURE 3. Vues extérieure et intérieure du Séchoir sous vide [10]

2. Choix et caractéristiques des échantillons

Choix des essences

Les échantillons utilisés au cours des différentes expérimentations sont obtenus à partir des billons provenant des forêts du Bassin du Congo et précisément des Unités d'Aménagement Forestière Camerounaises 10054 et 10056. Il s'agit du bété, du dabema, de l'aningré et du fromager. Elles ont été choisies parce qu'elles sont disponibles en forêt. Le Dabema en particulier est une essence présentant des contrefils très accusés donc non approprié à priori pour la fabrication des contreplaqués.

Déroulage des billons

Ces billons ont été équarris et étuvés pendant 24h à 60°C (Figure 4.3). Seul le Fromager a été déroulé sans étuvage s'agissant d'une essence très tendre. Ils sont ensuite transformés sur la ligne de déroulage Equipex du LaBoMAP pour produire des plis de dimensions 600 x 600 mm² (surface) et d'épaisseur 2mm. La vitesse de coupe a été fixée à 1m/s soit 60m/min ; ce qui est un peu faible pour les industriels, mais assure des conditions de coupe très favorables tout en minimisant les risques de blocage des placages au niveau du massicot. L'angle de dépouille, paramètre essentiel du déroulage a été réglé de manière suivante : 1,5° au-delà de 200 mm de rayon, variation linéaire jusqu'à 1° jusqu'au rayon final (35mm).

La pression exercée par la barre est de 8% afin de limiter la fissuration sans endommager l'état de surface, sans engendrer des variations d'épaisseur, tout en limitant les efforts de coupe. Les plis de 60 cm² ainsi obtenus ont été numérotés, emballés dans des films polyanes pour éviter qu'ils ne sèchent et stockés dans une enceinte réfrigérée à 4°C afin de maintenir leur taux d'humidité au-dessus du point de saturation des fibres.

Encollage des plis

Sur la base des travaux de Lavalette (2013), le grammage choisi pour l'expérimentation est de 300 g/m². Il respecte les conditions de cisaillement des joints de colle déterminées selon la norme NF EN 314 (1993).

La quantité exacte d'adhésif polyuréthane (Collano RP2554) est pesée avant chaque collage afin de garantir le grammage appliqué (300 g/m²). L'adhésif est appliqué sur les plis de bois par simple encollage, à l'aide d'une raclette crantée afin que la colle soit répartie uniformément (Figure 4). Les plis sont ensuite disposés en alternant à 0/90° le sens du fil du bois pour former un contreplaqué équilibré.



FIGURE 4. Préparation des contreplaqués : encollage des plis [10]

Disposition des CP dans le séchoir

Les échantillons sont placés dans l'étuve en couches alternées avec des plaques chauffantes et sont comprimés entre la paroi inférieure de la cellule (une surface plate et rigide) et la toile élastique par une pression de 150 mbar. Les CP et les plaques chauffantes sont séparés par des tissus d'arrachage afin de protéger le séchoir de l'adhésif. (Figure 5)



FIGURE 5. Disposition des CP dans le séchoir [10]

3. Banc d'essai de flexion 4 points

L'équipement utilisé pour les tests est une machine électromécanique pilotée en déplacement de la traverse (Figure 6). Le capteur de force utilisé à une capacité de 500 daN. La vitesse de déplacement est fixée une vitesse de 0,04 mm/s pour la détermination des MOE. La portée sur laquelle on effectue la mesure de la flèche f vaut $L_2=140\text{mm}$. La norme suivie pour ces essais est la NF EN 789.



FIGURE 6. Banc d'essai de flexion 4 points

II-3 Méthode

Dans cette étude, deux phases de séchage ont été mises en œuvre. Un séchage sous vide continu et l'autre sous vide continu avec cycle séchage/humidification. La variation de l'humidité relative dans le séchoir est obtenue par la variation de température. En effet, le dispositif de ce séchoir sous vide ne permet pas au niveau du processeur de programmer une variation cyclique de la teneur en eau mais plutôt une variation continue. Par contre, il est possible de faire varier la température des plaques qui, sous la dépression de 150 mbar et en dessous de la température de

55°C, peut créer une humidification de l'échantillon bois conformément à la pression de vapeur saturante (PVS). (Aléon et al., 1991).

$$\ln(P_{vs}) = 13,7 - \frac{5120}{T} \quad (eq\ 4.1)$$

Ceci nous permet de définir a priori dans le microprocesseur les paramètres qui pilotent le séchage et d'humidification des CP. Pour ce faire, ces paramètres ont été segmentés en 8 phases, chacune d'elles étant caractérisée par une température donnée (Tableau 1). Cette température se situe globalement entre 40° et 65°C sur l'ensemble des phases considérées. Le gradient de température entre deux phases est uniforme.

Tableau. 1 : Tableau récapitulatif des valeurs entrées dans le microprocesseur lors de séchage

	Phase 1	Phase 2	Phase 3	Phase 4	Phase 5	Phase 6	Phase 7	Phase 8
P(mbar)	150	150	150	150	150	150	150	150
T° (°C)	65	45	65	40	65	60	65	55
	1 ^{er} cycle		2 ^e cycle		3 ^e cycle		4 ^e cycle	

Dans le cycle 1, la température est fixée à 65°C au-dessus de la température d'ébullition de l'eau et redescend à 45°C en dessous de celle-ci. L'objectif est de se rapprocher du PSF du bois estimé à 32% sans générer des contraintes. Dans le cycle 2 la température remonte à 65°. Dans le domaine hygroscopique, le séchage sous vide est très rapide, nous avons choisi la température de 40° pour s'assurer d'une réhumidification rapide. Dans les cycles suivant nous nous rapprochons de la teneur en eau cible avec des réhumidification moins drastiques (55° et 65°).

A chaque phase, le microprocesseur affiche la valeur moyenne de la teneur en eau, la pression et la température dans le bois et dans l'enceinte du séchoir.

II. RESULTATS ET DISCUSSION

II-1 Séchage sous vide continu

Les courbes d'évolution de la teneur en eau et de la température en fonction du temps, issues des données fournies par le microprocesseur dans le cas des CP issus du dabéma pour les 3 niveaux de température considérés sont présentées par la figure 7. Pour la température de 60°C, la teneur en eau initiale dans le CP est de 53%. Elle est de 52% pour la température de 65°C et de 54% pour la température de 70°C. Il apparaît que les plages de températures choisies aboutissent toutes à un même profil d'évolution de la teneur en eau des CP. Au cours des 30 premières minutes, le gradient de teneur en eau est très élevé, ensuite il s'adoucit lorsque les températures se stabilisent.

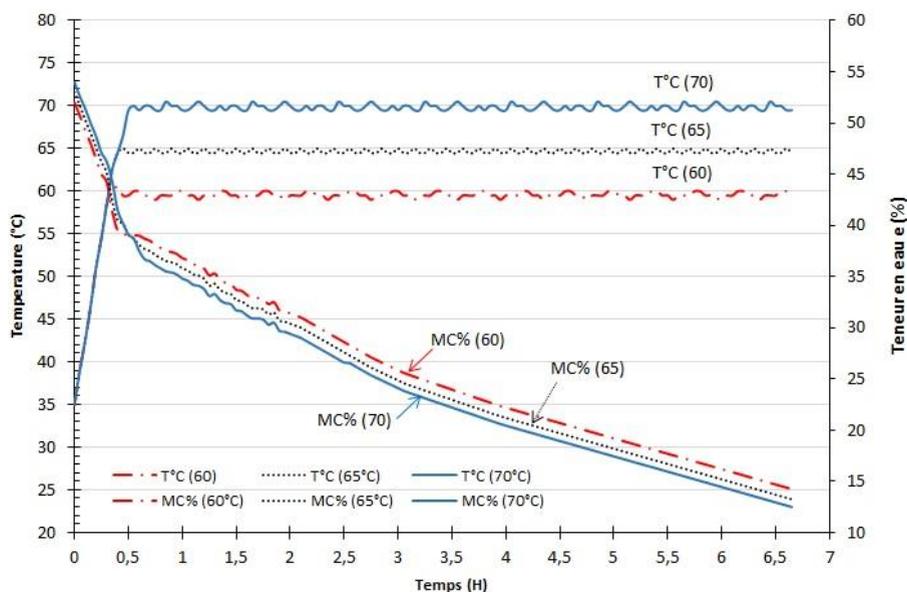


FIGURE 7. Evolution de la teneur en eau du CP pendant le séchage sous vide continu des essences de Dabema. [10]

Les produits obtenus au terme de ces essais présentent toutes des fissures comme l'indique la figure 8.



FIGURE 8. CP du Dabéma issu du séchage sous vide à 65°

Nous notons une grande différence en ce qui concerne le temps de séchage entre les conditions sous vide et le séchage à pression atmosphérique. Pour passer de la teneur en eau d'environ 32% à 15% environ 5 heures sont nécessaires dans le premier cas alors qu'il fallait plus de 30h dans le séchage traditionnel. Le séchage sous vide (15mbar) est pratiquement 5 à 6 fois plus rapide. Nous pouvons également souligner l'influence de la température sur la vitesse de séchage. Les résultats obtenus à partir du séchage sous vide continu montrent l'apparition des fissures sur les surfaces des contreplaqués du Hêtre et du Dabéma pour les trois cas de température (60°C, 65°C, 70°C). (Figure 7), comme nous l'avons observé lors des séchages sous conditions atmosphériques.

II-2 Séchage sous vide continu avec cycle séchage/humidification

Les résultats issus de cette expérimentation présentent les courbes d'évolution de la teneur en eau et de la température en fonction du temps (figure 9)

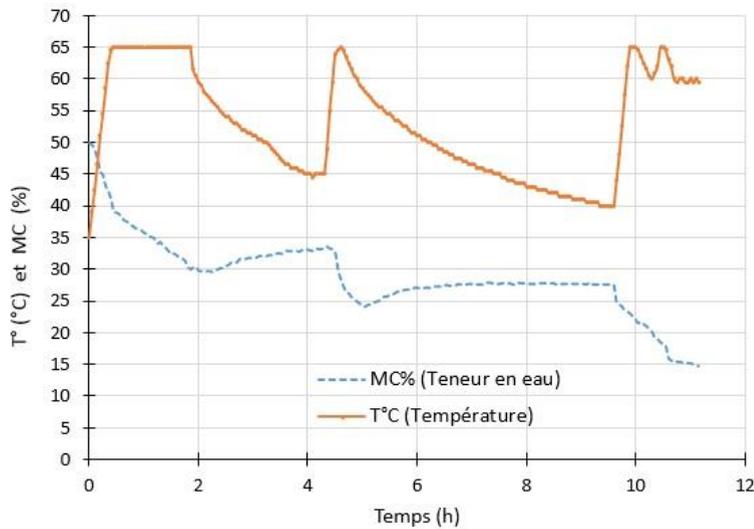


FIGURE 9. Évolution de la teneur en eau et de la température au cours du cycle de séchage/humidification sous vide continu du Bété.

Les produits ont exactement la même morphologie, sans fissurations comme dans la précédente expérimentation. (Figure 10).

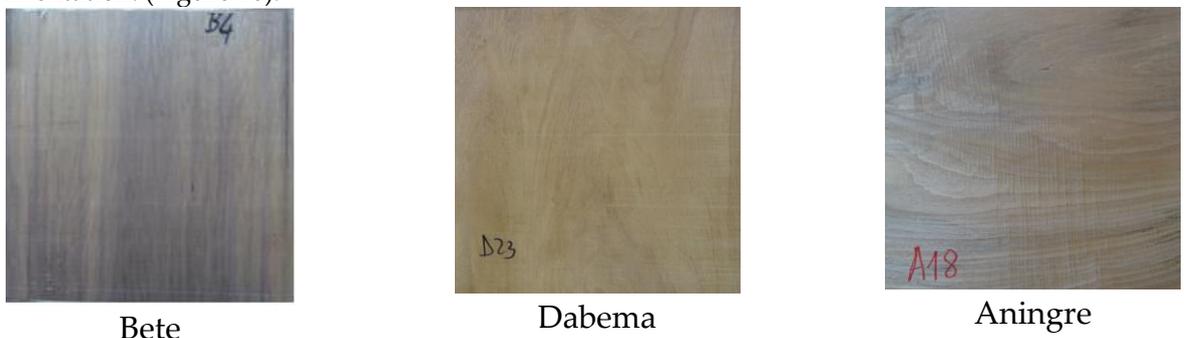


FIGURE 10. CP du Bété, du Dabéma et de l'aningré issus du séchage sous vide à cycle de désorption et d'absorption

Le procédé de séchage sous vide continu avec variation de l'humidité relative de l'enceinte du séchoir permet la relaxation des contraintes. En repassant temporairement sous la température d'ébullition de l'eau sous vide, le bois peut se réhumidifier. A la fin du séchage, les contraintes dues aux retraits préférentiels du bois n'ont jamais provoqué d'endommagement. L'intégrité et la stabilité géométrique des CP sont maintenues après séchage, pour des essences qui ne sont pas encore valorisées dans le milieu industriel en raison de la difficulté à les sécher. Il s'agit dans notre expérimentation du Bété et spécifiquement du Dabéma qui présente des défauts de fibre considérables.

Bien que nous notions une amélioration visuelle il nous faut vérifier que les propriétés mécaniques des contreplaqués soient satisfaisantes. Ainsi nous avons réalisé les essais de flexions 4 points sur des éprouvettes de dimensions 600 x 50 x 6 mm issues de panneaux de contreplaqué de Bete. On obtient les résultats donnés dans le tableau 2.

Tableau. 2 : Caractéristiques élastiques du contreplaqué collé à l'état vert et séché sous vide en utilisant le dispositif de flexion 4 points

	E ₁₁	E ₂₂
Valeur moyenne (MPa)	7846	2957
Nombre d'éprouvettes	10	10
Ecart-type (MPa)	864	239

Ces valeurs sont satisfaisantes puisqu'elles sont supérieures à ce qui est recommandé par les normes du secteur industriel comme la EN 789 et EN 1058.

CONCLUSION

Ce papier a porté sur l'étude expérimentale du séchage sous vide des contreplaqués. Cette technologie a été choisie car elle permet à la fois de presser les plis de bois par pression sous vide pour leur encollage et leur séchage. Elle a l'avantage de pouvoir maîtriser les conditions hygrothermiques au bord des plis de bois. La connaissance du comportement hydromécanique de séchage des CP dans les conditions atmosphériques a permis d'appréhender les conditions préalables à la fissuration des plis et à définir les cycles de relaxation des bois. En vue de remédier à ces fissures identifiées, un procédé de séchage sous vide continue avec possibilité de variation de température a été mis en place. Il a permis le séchage et l'humidification des CP pour présenter in fine une intégrité matérielle et une stabilité géométrique intéressante pour la plupart des essences du plan d'expérience. La qualité des CP issus de cette expérimentation satisfait aux exigences normatives autant en termes esthétiques que mécaniques pour toutes les essences, même celles qui sont aujourd'hui inutilisées pour les CP tels que le Bete et le Dabéma (malgré ses contrefils accusés). Ces résultats permettent d'élargir le potentiel exploitable de la forêt du bassin de Congo, c'est-à-dire par exemple de valoriser les très nombreux bois abattus, mais non prélevés lors des exploitations forestières.

REFERENCES

1. A. Villiere (1964) Le séchage des placages dans l'industrie du contreplaqué. *Rev Bois Forêts Tropi*, 96 : 27-29. <https://revues.cirad.fr/index.php/BFT/issue/view/18917>.
2. B. Clouet, R. Pommier, M. Danis, (2014). New composite timbers: Full-field analysis of adhesive behavior. *Journal of Strain Analysis for Engineering Design*, 49(3) : 155-160, DOI: 10.1177/0309324713486894
3. R. Oum Lissouck, R. Pommier, F. Taillandier et al. (2018). A decision support tool approach based on the Electre TRI-B method for the valorization of tropical timbers from the Congo Basin: an application for glulam products. *Southern Forests* (80-4, 2) : 361-371. DOI: 10.2989/20702620.2018.1463153
4. RE. Glavin (1946). Molding and gluing press. US Patent 2,401,299, 4 Jun 1946.
5. BG. Heebink (1953) Fluid pressure molding of plywood. US For Prod Lab Rep, No. R1624, Madison 5, Wisc.

6. D. Ngo, E. Pfeiffer (2003) *The art of plywood furniture*. Prin Architec Press, New York, p 144.
7. R. Pommier, G. Grimaud, M. Princaud, N. Perry (2016) LCA (Life Cycle Assessment) of EVP–Engineering veneer product: plywood glued using a vacuum moulding technology from green veneers. *J clean Prod* (124) : 383-394. doi : 10.1016/j.jclepro.2016.02.130
8. A. Lavalette, A. Cointe, R. Pommier., M. Danis, C. Delisee, G. Legrand (2016). Experimental design to determine the manufacturing parameters of a green-glued plywood panel. *Eur. J. Wood Prod.* 74:543–551. DOI 10.1007/s00107-016-1015-4
9. EN 314-1 (2004) *Contreplaqué Qualité du collage Part 1 : Méthodes d'essai*.
10. V. Makomra (2020). *Modélisation du comportement au séchage du contreplaqué collé à l'état vert*, Thèse en cotutelle, Univ Bordeaux/Univ Yaoundé1, pp 180.