



HAL
open science

**Dimensionnement, fabrication et caractérisation
d'anches de saxophone en composite à fibre de lin
Design, manufacture and characterisation of flax fibre
composite saxophone reeds**

Sashi Kiran Madugula, O Regis, Aurelien Maurel-Pantel, Guilherme Machado,
Fabrice Silva, Christophe Vergez, Patrick Sanchez, Madeline Rosenzweig,
Pauline Eveno, Maxime Carron

► **To cite this version:**

Sashi Kiran Madugula, O Regis, Aurelien Maurel-Pantel, Guilherme Machado, Fabrice Silva, et al..
Dimensionnement, fabrication et caractérisation d'anches de saxophone en composite à fibre de lin De-
sign, manufacture and characterisation of flax fibre composite saxophone reeds. 2023. hal-04245185

HAL Id: hal-04245185

<https://hal.science/hal-04245185>

Submitted on 20 Oct 2023

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Dimensionnement, fabrication et caractérisation d’anches de saxophone en composite à fibre de lin

Design, manufacture and characterisation of flax fibre composite saxophone reeds

S. Madugula¹, O. Regis¹, A. Maurel-Pantel¹, G. Machado¹, C. Hochard¹, F. Silva¹, C. Vergez¹, P. Sanchez¹, M. Rosenzweig², P. Eveno², M. Carron²

1 : Aix Marseille Univ, CNRS, Centrale Marseille, LMA, Marseille, France
e-mail : maurel@lma.cnrs-mrs.fr

2 : Syos, 3 cité de l’ameublement, 75011 Paris, France

Résumé

Dans les instruments à vent à anche simple tels que le saxophone, une plaque vibrante est fixée à l'embouchure. Le musicien génère les vibrations en soufflant dans l'espace entre l'anche et le bec, ce qui crée le son. Cette plaque vibrante est appelée anche. Traditionnellement, les anches de saxophone sont fabriquées en canne naturelle (*Arundo Donax L*), mais afin de surmonter les problèmes de variabilité et de durabilité, des anches synthétiques de différents types ont été développées. Le projet se place dans le cadre d'un partenariat ambitieux entre l'équipe matériaux et structures, l'équipe son du LMA et de la start-up SYOS. Il se propose de développer des anches de saxophone en matériaux composites à fibre de lin plus durables et de qualité constante (i.e. plus reproductibles que les anches en roseau) tout en créant un catalogue d'anches associées aux ressentis musicaux du saxophoniste.

Mots Clés : composite, fibre de lin, analyse modale, simulation, anches.

Abstract

Single-reed wind instruments, such as the saxophone, have a vibrating plate attached to the mouthpiece. The musician creates the vibrations by blowing into the space between the reed and the mouthpiece, which produces the sound. This vibrating plate is called the reed. Traditionally, saxophone reeds are made from natural cane (*Arundo Donax*), but to overcome problems of variability and durability, synthetic reeds of various types have been developed. The project is part of an ambitious partnership between the Materials and Structures team, the LMA Sound team and the start-up SYOS. The aim is to develop saxophone reeds made from flax fibre composites that are more durable and of consistent quality (i.e. more reproducible than reed reeds), while at the same time creating a catalogue of reeds associated with the musical sensations of the saxophonist.

Keywords : composite, flax fibre, modal analysis, simulation, reeds.

1. Introduction

Le projet se propose de développer une nouvelle anche synthétique en fibre naturelle en mettant en place les outils expérimentaux et numériques permettant de limiter l'exhaustivité d'une démarche essai erreur. La première étape de ce travail a consisté à analyser l'existant en analysant différentes technologies d'anches synthétiques du marché et des anches naturelles (humide ou non) présentées sur la Fig.1. Pour ce faire, les travaux se sont appuyés sur trois procédures expérimentales disponibles au laboratoire :

- L'analyse par micro-tomographie à rayon X de la structure interne et de la géométrie des anches choisies pour l'étude comme illustré sur la Fig.2.
- La mesure de la rigidité en flexion et de la déformée de chacune des anches à l'aide d'un montage spécifique intégré à une machine de traction électromécanique.
- La mesure à l'aide d'un essai vibro-acoustique des propriétés dynamiques (modes propres, amortissement de la structure) de l'anche montée sur le bec.

Sur la base du cahier des charges déduit de l'analyse de l'existant un premier prototype d'anche en composite à fibre de lin est proposé. Ces premiers développements proposent de valider les résultats de l'approche numérique basée sur des simulations éléments finis ouvrant la voie à la sélection des meilleures anches candidates choisies dans l'espace (géométrie, orientation des renforts). Pour ce faire, dans un premier temps le matériau composite sera caractérisé expérimentalement afin de déterminer les paramètres élastiques du composite pour le calcul éléments finis. Ensuite le calcul permettra de prédire les deux éléments mesurables choisis : la rigidité de flexion et les modes propres de la structure. La dernière étape consistera à les fabriquer, puis à tester une anche candidate.

2. Anches synthétiques du commerce

Traditionnellement, les anches sont fabriquées à partir du matériau naturel *Arundo donax* L (ADL) (voir Fig. 1). Elle décrit l'anatomie de l'anche simple. D'un point de vue acoustique, ce matériau est très performant, mais il présente des inconvénients spécifiques. Ces anches sont hygroscopiques et doivent être exposées à l'eau avant d'être jouées [1]. Deuxièmement, une exposition prolongée à un environnement humide entraîne la désintégration des fibres, ce qui modifie le comportement de l'anche [2], [3]. Troisièmement, la fatigue du matériau progresse également assez rapidement, de sorte que les performances de l'anche se dégradent au fil des heures de jeu [4]. Quatrièmement, le roseau étant un matériau naturel, la densité des fibres et les irrégularités de leur orientation varient d'une anche à l'autre, ce qui introduit une variabilité des propriétés mécaniques qui se traduit par une variabilité des caractéristiques de jeu. Le matériau de l'anche se dégrade aussi progressivement du fait de la fatigue à haute fréquence et à faible amplitude à laquelle il est soumis [5]. C'est pour ces raisons que les anches synthétiques ont été introduites pour remplacer les anches naturelles. Depuis une dizaine d'années, on trouve sur le marché des anches synthétiques qui contiennent des fibres, ce qui leur confère des paramètres d'élasticité fortement anisotropes comparables à ceux des anches naturelles. Les deux principaux fabricants dans ce domaine sont Fiberreed (Harry Hartmann's Fiberreed, 70771 LE-Oberaichen, Leinfelden-Echterdingen, Allemagne) et Légère Reed (Légère Reed Ltd., Barrie, Ontario, Canada). Fiberreed est un composé de mousse-résine à fibres creuses (HFC), et les roseaux Légère sont constitués d'un matériau homogène composé de fibres de polypropylène (US6087571). Les autres fabricants sont les anches Bari, VENN (D'Addario Co., USA), Forestone Hinoki (qui consiste en un mélange de résine de polypropylène et de fibre de bois cellulosique), Fibracell (USA), et Yamaha (Japon).

Huit anches synthétiques différentes, dont une naturelle, sont présentées dans la Fig. 1. Leurs caractéristiques respectives sont indiquées en Table 1. Il convient de noter que chaque fabricant d'anches utilise son propre système pour différencier les anches, souvent à l'aide de lettres telles que M, H, MH (M : Medium, MH : Medium Hard, H : Hard), ou de désignations numériques telles que 1, 2, 2,5, 3, etc. Ces codes indiquent la force des anches.



Fig. 1. Anches synthétiques du commerce analysées.

| Nom | Bari | Yamaha | Hinoki | Rigotti ¹ | Légère | Fiberreed Carbon | VENN | Fibracell |
|----------|------|--------|--------|----------------------|--------|------------------|------|-----------|
| Force | M | 3 | H | 3 | 3 | MH | 2.5 | 3.5 |
| Mass (g) | 3 | 2.65 | 2.84 | 1.37 | 2.29 | 2.77 | 3.16 | 2.23 |

Table 1. Toutes les anches étudiées avec leur nom, force et masse.

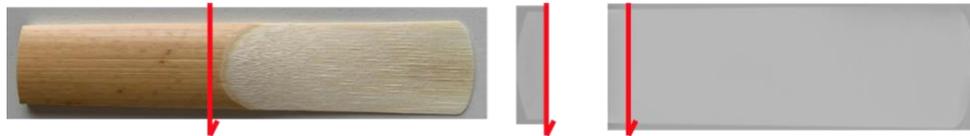


Fig. 2. Analyse par microtomographie à rayon X de l'anche Rigotti

Toutes les anches ont été mesurées à l'aide d'images micro-CT (obtenues sur un appareil EasyTom XL, RX Solution) afin d'en mesurer précisément la forme. Des coupes ont ensuite été obtenues dans les directions X, Y et Z. La Fig. 2 présente un exemple d'image micro-CT prise dans différents plans pour l'anche de Rigotti. Un code Python a ensuite été développé pour extrapoler ces coordonnées à l'aide d'outils de traitement d'images. L'utilisation de ces coordonnées mesurées permet d'obtenir une image de la forme et de la structure de l'anche de Rigotti comme illustré sur la Fig. 3. En utilisant ces données, un modèle de surface a été construit à l'aide de Catia V5. Ce processus a facilité la création d'une représentation volumétrique complète et précise de l'anche naturelle de Rigotti. Le modèle obtenu, présenté à la Fig. 3(b), concerne spécifiquement l'anche de Rigotti.

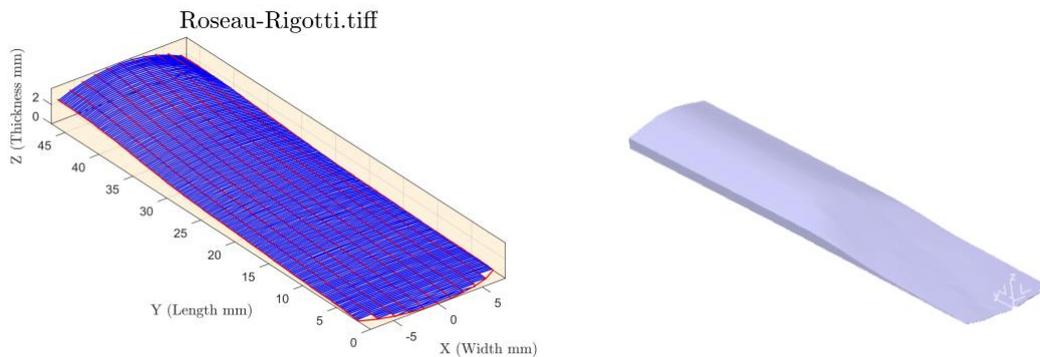


Fig. 3. (a) Forme d'anche en repère tridimensionnel. (b) Forme reconstruite sous logiciel CAO.

¹ Anche naturelle en ADL de Rigotti (ETS Rigotti Cogolin, France).

Cette première analyse permet de définir les premiers modes propres et la rigidité globale cibles dans un espace de résultat plus ou moins dispersés. Ensuite, un travail préliminaire concerne la caractérisation des propriétés mécaniques de notre matériau composite à fibre de lin afin d'alimenter le modèle matériau de notre code de calcul.

3. Caractérisation de la fibre de lin

Le matériau choisi pour la réalisation des prototypes d'anches de saxophone ténor est le FlaxPregT-UD de la société EcoTechnilin. C'est un préimprégné composé de fibre de lin et de résine époxy. Les plaques sont réalisées dans un autoclave Daxen pour une cuisson de 2h à 120°C sous 5 bars. Avec ces conditions, un taux de fibre de 57% est obtenu et le pli unidirectionnel à une épaisseur de 0.138 mm. Trois différents empilements sont réalisés un $[0]_{8s}$, un $[90]_{8s}$, et un $[0,90]_{8s}$. Une campagne expérimentale a été menée pour caractériser les propriétés mécaniques du matériau composite à fibre de lin. La forme de l'éprouvette a été choisie avec un grand rayon de courbure afin de limiter la concentration de contrainte et permettre la rupture au centre de l'éprouvette. La géométrie de l'éprouvette est reportée sur la Fig. 4.

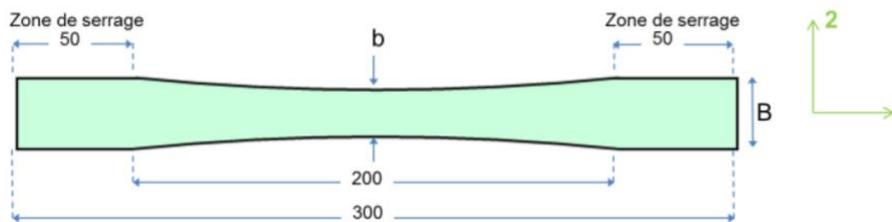
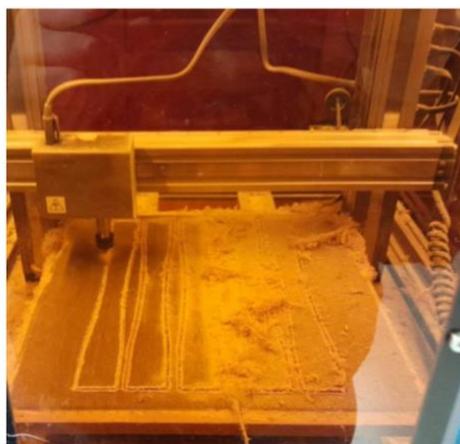
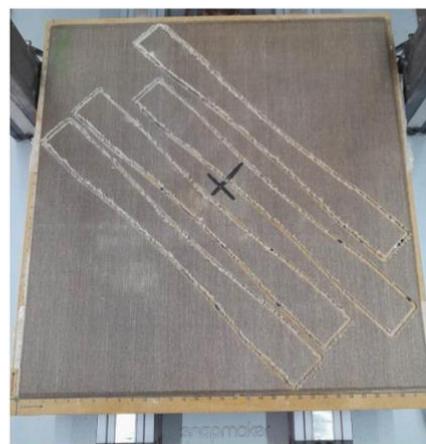


Fig. 4. Géométrie de l'éprouvette de traction.

Les éprouvettes sont usinées par usinage CNC, à 0° , 90° , et $\pm 45^\circ$ à l'aide d'une imprimante 3D SnapMaker (Fig. 5). Les essais de traction sont réalisés avec un dispositif de vidéo extensométrie sur une machine Shimadzu. On choisit un cycle charge /décharge pour chaque éprouvette et une vitesse de déplacement de 4 mm.min^{-1} .



Usinage de la plaque à 0°



Usinage de la plaque à $\pm 45^\circ$

Fig. 5. Géométrie de l'éprouvette de traction.

Sur al Fig. 6 les résultats des essais de traction sont reportés. Pour l'éprouvette à 0° , la rupture est partielle, elle intervient à 450 MPa pour une déformation de 1,2 %. Le module d'Young sens fibre E_1 est égal à 38 GPa. Pour l'éprouvette à 90° , la rupture est totale, elle intervient à 24 MPa pour une déformation de 0,5%. Le module d'Young E_2 est égal à 4,16 GPa. L'éprouvette à $\pm 45^\circ$ présente une

contrainte à rupture de 90 MPa pour une déformation de 1,1%. Le module G_{12} du matériau est égal à 1,8 GPa.

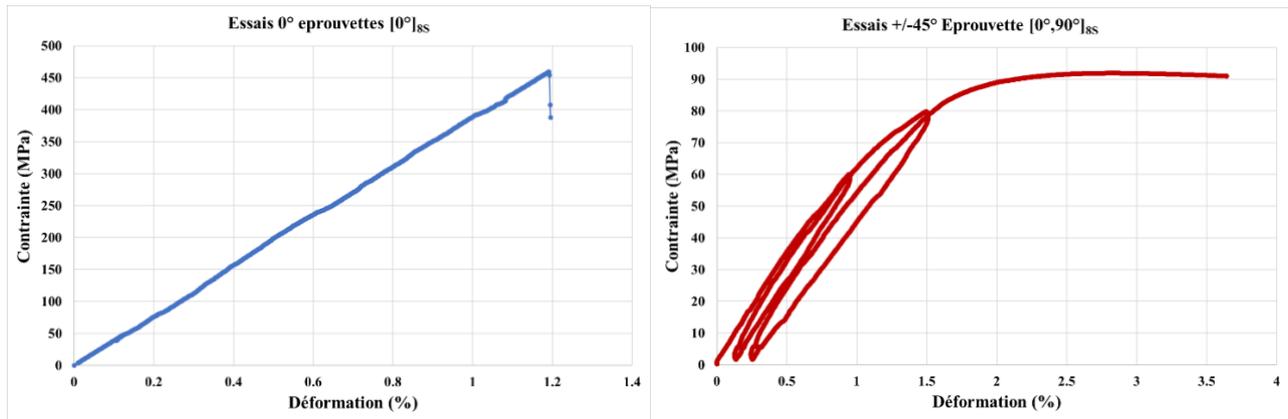


Fig. 6. Résultats Essais de traction.

4. Simulation numérique de l'anche en fibre de lin

Si on analyse la fréquence propre d'une structure assimilable à une poutre encasté libre, on se rend compte que la première fréquence propre dépend des conditions aux limites, de la rigidité et de la masse volumique à géométrie égale. Table 2 montre que le rapport rigidité sur masse est sensiblement égal pour l'anche en roseau et celle en fibre de lin, la géométrie d'une anche de Rigotti va donc être choisie pour notre prototype d'anche en fibre de lin.

| Matériau | Arundo Donax | FlaxPreg |
|--|--------------------------------|--------------------------------------|
| Masse volumique (kg.m-3) | 600 | 1300 |
| Module de Young sens fibre (GPa) | 13.1 | 38 |
| $\sqrt{\frac{E}{\rho}}$ | 6.76 | 5.84 |
| Deux premières Fréquences propres (Hz) | 1357.7, 2033.1 (mesurée) | 1492.196, 1828.435 (calculées) |
| Flèche sous essai de flexion (mm) | 1.6 (mesurée) | 0.385 (calculée) |

Tab. 2. Caractéristiques dynamiques des anches en roseau et en matériau composite à fibre de lin.

Afin de simuler le comportement de l'anche réalisée en composite lin/époxy, le module de calcul composite par éléments finis proposée par la plateforme 3DExperience est utilisé. La géométrie de l'anche Rigotti a été choisie l'anche est réalisé avec un empilement de 26 plis de 0.138 mm d'épaisseur après cuisson pour une épaisseur totale finale équivalente à l'anche Rigotti. Tous les plis sont orientés à 0°, puis empilés pour reconstituer un modèle composite complet de l'anche. À partir des valeurs issues des essais de caractérisation de la fibre de lin, les termes manquant de la matrice de rigidité peuvent être déduits et finalement les paramètres suivants sont obtenus :

$$E_1 = 38 \text{ GPa}; E_2 = E_3 = 4.16 \text{ GPa}; G_{12} = G_{13} = 1.8 \text{ GPa}; G_{23} = 1.3 \text{ GPa}; \nu_{12} = 0.6;$$

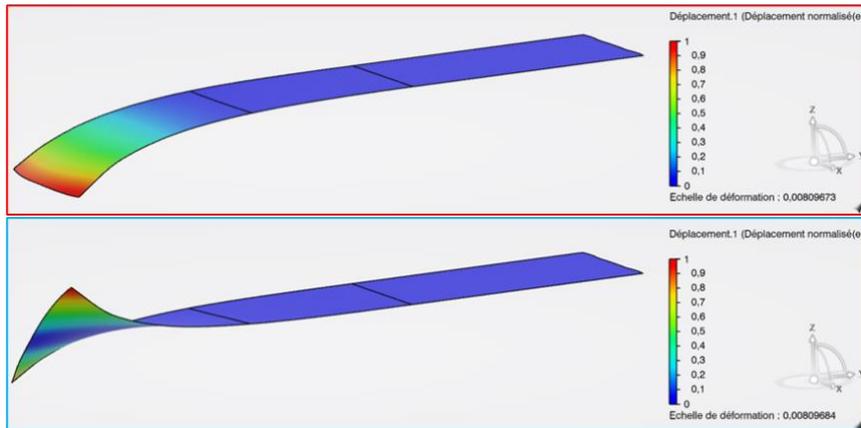


Fig. 7. Simulation des premières fréquences propres de l'anche en matériau composite à fibre de lin.

Ensuite deux simulations sont réalisées une en statique permettant de mesurer la rigidité de flexion de la structure et une analyse modale permettant de déterminer les premiers modes propres de la structure. Les résultats sont résumés en Table 2. L'anche en fibre de lin présente un comportement dynamique pas si éloigné de l'anche en roseau par contre sa rigidité en statique semble trop élevé pour une géométrie identique. Il nous faut maintenant valider expérimentalement ce résultat.

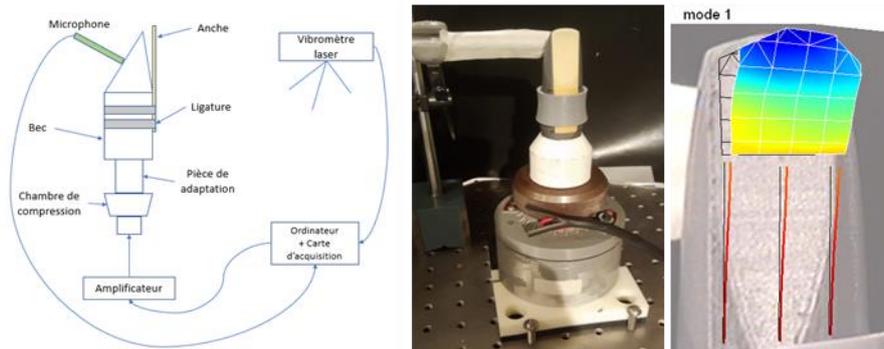


Fig. 8. Essais vibro-acoustique sur une anche naturelle.

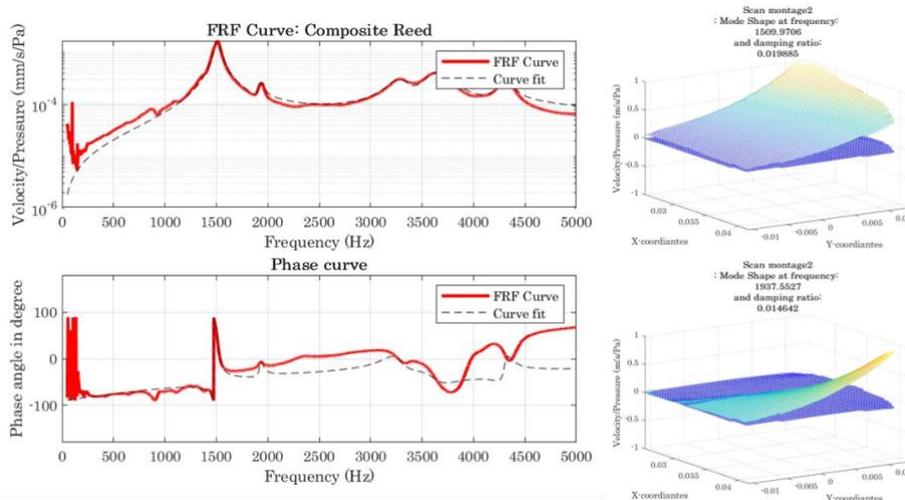


Fig. 9. Analyse modale de l'anche en matériau composite à fibre de lin.

5. Validation expérimentale

L'anche a été fabriquée en fibre de lin au laboratoire. Elle a ensuite été testée sur le banc d'essai vibroacoustique développé dans l'étude et illustré sur la Fig. 8. Les essais ont permis de trouver les deux fréquences propres à 1509.971 Hz et 1937.553 Hz ce qui est très proche de celles calculées numériquement (moins de 3% d'erreurs). Les résultats sont illustrés sur la Fig. 9. La rigidité en flexion semble aussi bien plus élevée que l'anche en roseau mais la mesure est n cours de réalisation.

6. Conclusion

Ces premiers résultats nous permettent de valider notre modèle numérique et notre approche expérimentale. Il suffit maintenant de faire varier les paramètres disponibles dans l'espace de solution visé (géométrie, orientation des plis) pour créer des prototypes fonctionnels.

Remerciements

Les auteurs aimeraient remercier la société Rigotti pour le support technique accordé à cette étude.

Références

- [1] V. Bucur, 'Traditional and new materials for the reeds of woodwind musical instruments', *Wood Sci. Technol.*, vol. 53, no. 5, pp. 1157–1187, Sep. 2019, doi: 10.1007/s00226-019-01117-9.
- [2] M. Jiménez-Espada, D. Herrero-Adán, and R. González-Escobar, 'Characterization of mechanical and hygroscopic properties of individual canes of reed', *Materials*, vol. 14, no. 9, 2021, doi: 10.3390/ma14092193.
- [3] E. Obataya, T. Umezawa, F. Nakatsubo, and M. Norimoto, 'The Effects of Water Soluble Extractives on the Acoustic Properties of Reed (*Arundo donax* L.)', *Holzforschung*, vol. 53, no. 1, pp. 63–67, Jan. 1999, doi: 10.1515/HF.1999.011.
- [4] H.-Ch. Spatz, H. Beismann, F. Brüchert, A. Emanns, and Th. Speck, 'Biomechanics of the giant reed *Arundo donax*', *Philos. Trans. R. Soc. Lond. B. Biol. Sci.*, vol. 352, no. 1349, pp. 1–10, Jan. 1997, doi: 10.1098/rstb.1997.0001.
- [5] E. Obataya and M. Norimoto, 'Mechanical relaxation processes due to sugars in cane [*Arundo donax* L.]', *J. Wood Sci.*, vol. 45, no. 5, pp. 378–383, 1999, doi: 10.1007/BF01177909.