

Contribution à la caractérisation de bois locaux du Cameroun pour la conception de turbines pour pico-centrales hydroélectriques

FOUEDJOU NJOYA Blaise¹, KENFACK Joseph¹, ROSENKRANTZ Eric²,
AUGEREAU Franck², LAUX Didier², LANGBOUR Patrick⁴, GERARD Jean⁴,
ARNOULD Olivier³, VOUFU Joseph¹

¹Laboratoire petite hydroélectricité et systèmes hybrides, ENSPY, Yaoundé, Cameroun

²Equipe ACO, IES, Univ. Montpellier, CNRS, Montpellier, France

³Equipe Bois, LMGC, Univ. Montpellier, CNRS, Montpellier, France

⁴UR BioWooEB, CIRAD, Montpellier, France

blaise.fouedjou@polytechnique.cm

Mots clefs : caractérisation mécanique ; bois locaux ; Cameroun ; conception ; pico-turbine ; crossflow.

Contexte et objectifs

Les préoccupations environnementales et climatiques nourrissent l'ambition des états à produire une énergie électrique propre grâce à l'utilisation des énergies renouvelables. Dans cette dynamique, le Cameroun s'est engagé, après la COP21 de Paris, à pousser la part des énergies renouvelables à 25 % du mix énergétique à l'horizon 2035, dont 11 % pour la petite hydroélectricité. Cette projection s'appuie sur le fort potentiel Camerounais en petite hydroélectricité estimé à 970 MW (Liu et al 2019), principalement reparti en zones reculées. Le déploiement de petites centrales hydroélectriques dans ces zones contribuerait à améliorer le faible taux d'électrification rurale actuellement estimé à 25% par la banque mondiale en 2021. Toutefois, la très faible consommation dans les villages de ces régions (100 W/ménage) ne constitue pas un marché suffisant pour stimuler les grands fabricants de turbines à développer massivement de petites turbines répondant aux besoins locaux. Aussi, compte tenu du manque d'équipements adaptés pour leur mise en forme locale, elles sont importées, ce qui augmente les coûts d'installation et de maintenance. Afin de réduire ces coûts financiers et environnementaux, et de développer le potentiel hydroélectrique de ces régions reculées, on se propose de fabriquer localement des pico-turbines et autres équipements nécessaires à l'électrification de ces régions rurales à partir de solutions écologiques locales.

Ce travail de recherche s'intéresse aux caractéristiques des matériaux biosourcés et locaux susceptibles d'être utilisés dans la construction de pico-turbines. Les matériaux doivent résister à l'abrasion, à la corrosion, avoir une faible densité, une bonne rigidité et enfin être disponibles sur le marché à de faibles coûts (Ebhotu 2017, Ebhotu & Inambao 2016). Ce cahier des charges motive comme choix de matériaux les essences de bois locaux durs ayant une bonne durabilité naturelle dans l'eau, telles que le Padouk (*Pterocarpus Osun*) l'Azobé (*Lophira alata*), l'Okan (*Cylicodiscus gabunensis*), le Tali (*Erythrophleum*) et le Bilinga (*Nauclea diderrichii*) (Gérard et al. 2017). L'utilisation des essences de bois locaux est particulièrement attrayante du fait que, en tant que matériau naturel, elles sont issues de parcelles exploitées de façon raisonnée garantissant ainsi son caractère renouvelable et écologique. De plus, les bois allient naturellement légèreté et performances mécaniques comparativement aux métaux. Pour toutes ces raisons, ces bois semblent très adaptés pour le domaine de la pico-hydroélectricité limitée à la production d'une puissance de 5 kW (Gagliano et al. 2014, Kadier et al. 2017), qui est néanmoins suffisante pour électrifier une maison, un petit village ou faire tourner une industrie artisanale.

La sélection des essences de bois adaptées à la fabrication de pico-turbines présente toutefois quelques difficultés. En effet, faute de données suffisantes, il faut pour chaque type de bois caractériser la résistance à l'abrasion, les coefficients de retrait et gonflement garant d'une bonne stabilité, l'usinabilité et la majeure partie des constantes élastiques et la limite à rupture longitudinale et en compression transverse. La détermination par des mesures expérimentales de ces caractéristiques physico-chimiques et mécaniques des essences de bois sélectionnés permettra d'évaluer le comportement mécanique 3D des pales de turbines et leur capacité de mise en forme, afin de définir un cadre d'application de ces bois en matière de pico-turbines.

Les résultats obtenus seront utilisés pour le dimensionnement et la fabrication de la roue d'une turbine Crossflow. Ce type de géométrie a été retenue compte tenu de sa géométrie simple par rapport à d'autres types de turbines et sa capacité à maintenir un rendement constant avec les fluctuations de débit (Dragomirescu et Schiaua 2017, Quaranta et al. 2022). La Fig. 1 montre une roue Crossflow avec ses différentes parties en vue éclatée.

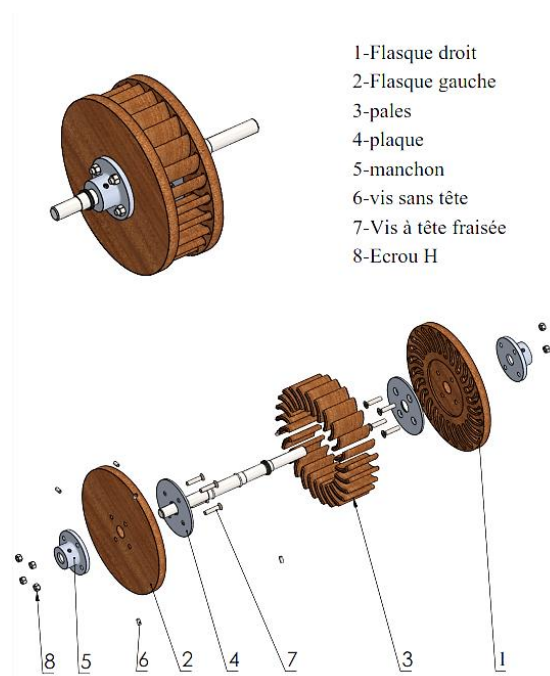


Fig.1 : Vue éclatée d'une roue Crossflow

Matériel et méthodes

Identification des essences sélectionnées

Pour les essais en laboratoire, 5 essences de bois sont prélevées au Cameroun, à Monatéle dans le département de la Lekie de la région du centre. Il s'agit du Padouk, de l'Okan, du Tali, du Bilinga et de l'Azobé. La Fig. 2 présente 4 madriers taillés et ponçés aux dimensions 140mm×60mm×700mm et un brut de dimension 250mm×100mm×1000mm.

Essais envisagés

Les caractéristiques recherchées seront obtenues sur « bois sec » pour la fabrication de la turbine alors que le bois sera mis en œuvre dans l'eau. Les envisagés nécessaires pour l'étude du comportement mécanique de la pico-turbine et de sa mise en forme, sont décrits par la Fig. 3.

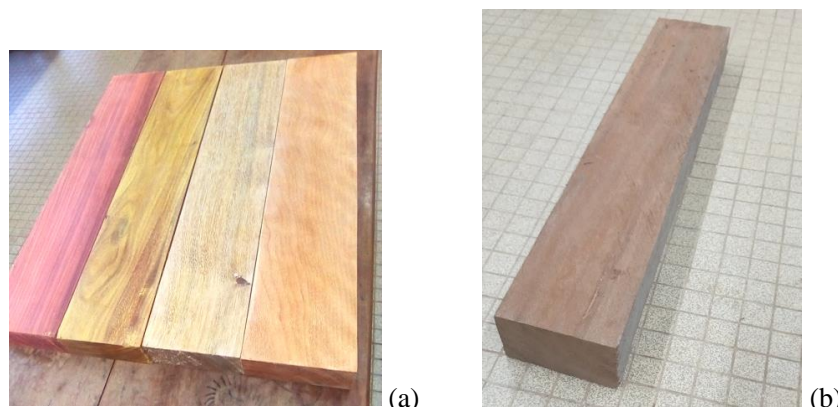


Fig. 2 : Madriers: (a) poncés de Padouk, Okan, Tali, Bilinga de dimension 140mm×60mm×700mm; (b) brut d'Azobé de dimension 250mm×100mm×1000mm

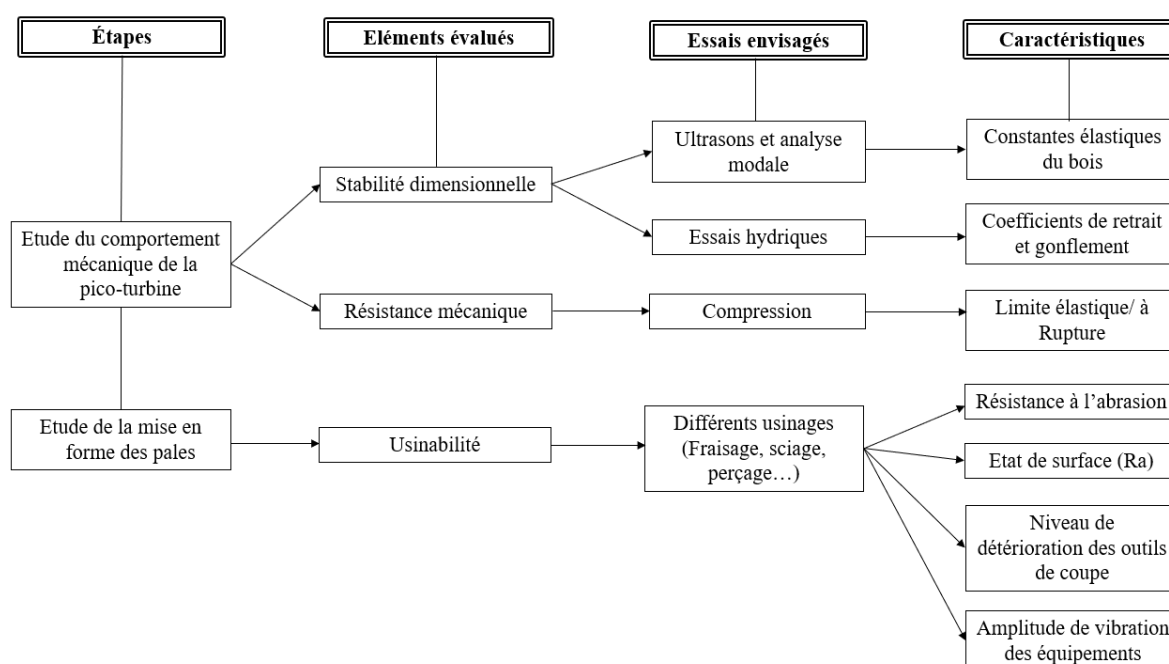


Fig. 3 : Essais envisagés et caractéristiques recherchées

Résultats attendus

- Mesures par ultrasons sur des cubes de 20 mm de côté des 6 constantes élastiques E_R , E_L , E_T , G_{RT} , G_{RL} , G_{TL} des essences de bois saturées en eau et à une teneur en eau de 12%. Comparaison des résultats entre essences et suivant le taux d'humidité. Les cubes seront ensuite réusinés sous forme de rhombicuboctaèdre afin de mesurer les coefficients de Poisson ν_{RT} , ν_{TR} , ν_{RL} , ν_{LR} , ν_{LT} et ν_{TL} .
- Mesures par méthode BING des modules d'élasticité E_R , G_{RL} et G_{TL} et comparaison avec les résultats obtenus par les mesures ultrasonores.
- Mesures de la limite à la rupture dans la direction L en flexion (barreaux de Bing) et en compression, puis définition d'un critère de ruine.
- Mesures des coefficients de retrait-gonflement dans les directions R et T.
- Mesures des paramètres d'usinage et classement des essences en fonction de l'usinabilité
- Choix définitif des essences au regard de tous les résultats obtenus

Conclusion

Ces travaux de recherche ont pour but de développer l'économie locale des zones rurales du Cameroun en permettant aux populations d'améliorer leur confort de vie grâce à la promotion de l'électrification rurale à l'aide d'une production électrique écologique et renouvelable. La construction locale de pico-turbines hydroélectriques fabriquées à partir des ressources locales de bois, matériaux biosourcés et durables par excellence, revêt donc un double intérêt : un intérêt socioéconomique et un intérêt environnemental.

Remerciements

Ce projet de caractérisation est soutenu financièrement par le Labex Numev de l'Université de Montpellier.

Le projet de thèse est également soutenu dans sa phase d'implémentation par l'Institut de la Francophonie pour le développement durable (IFDD/Canada) /Projet de Déploiement des Technologies et Innovations Environnementales (PDTIE) financé par l'Organisation internationale de la Francophonie (OIF), l'Organisation des États d'Afrique, des Caraïbes et du Pacifique, et l'Union européenne (UE) (FED/220/421-370).

Références

- Dragomirescu A., Schiaua M. (2017) Experimental and numerical investigation of a Bánki turbine operating far away from design point. *Energy Procedia*, 112(October 2016), 43–50. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.03.1057>
- Ebhota W.S. (2017) Smart Design and Development of a Small Hydropower System and Exploitation of Locally Sourced Material for Pelton Turbine Bucket Production. *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Mechanical Engineering*, 9(Paish 2002). <https://doi.org/10.1007/s40997-017-0134-9>
- Ebhota W.S., Inambao F. (2016) Design basics of a small hydro turbine plant for capacity building in sub-Saharan Africa. 1338(June). <https://doi.org/10.1080/20421338.2015.1128039>
- Gagliano A., Tina G. M., Nocera F., Patania F. (2014) Technical and Economic Perspective for Repowering of Micro Hydro Power Plants : a Case Study of an Early XX Century Power Plant. *Energy Procedia*, 62, 512–521. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.12.413>
- Gérard J., Guibal D., Paradis S., Cerre J.-C. (2017) Tropical Timber Atlas: Technological characteristics and uses.
- Kadier A., Sahaid M., Pudukudy M., Abu H., Mohamed A., Abdul A. (2017) Pico hydropower (PHP) development in Malaysia : Potential , present status , barriers and future perspectives. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, June, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.06.084>
- Liu D., Liu H., Wang X., Kremere E. E. (2019) World Small Hydropower Development Report 2019. United Nations Industrial Development Organization; International Center on Small Hydro Power. Available from www.smallhydroworld.org
- Quaranta E., Pierre J., Revelli R. (2022) Optimal design process of crossflow Banki turbines : Literature review and novel expeditious equations. *Ocean Engineering*, 257(April), 111582. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2022.111582>