

Comparaison de la rigidité de flexion de l'arbre sur pied de deux clones d'hévéa (*Hevea brasiliensis*) de plantation

ENGONGA EDZANG Arnaud^{1,2}, BADEL Eric¹, MOUTOU PITTI Rostand^{2,3},
GRIL Joseph^{1,2}

¹ Université Clermont Auvergne, INRAE, PIAF, F-63000 Clermont-Ferrand, France

² Clermont Auvergne Université, CNRS, Clermont Auvergne INP, Institut Pascal, F-63000 Clermont-Ferrand, France

³ CENAREST, IRT, Libreville, Gabon

a-clauvy_s.engonga_edzang@doctorant.uca.fr

Mots clefs : *Hevea brasiliensis* ; comportement mécanique, tige

Contexte et objectifs

L'hévéa (*Hevea brasiliensis*) ou « arbre à caoutchouc » est la principale source de production de latex répondant à la plupart des besoins mondiaux en caoutchouc naturel. La production de ce latex se fait à partir de plantations industrielles notamment en Asie du sud-est (Thaïlande, Indonésie, Vietnam...) et en Afrique (Côte d'Ivoire, Nigeria...). L'hévéaculture représente aujourd'hui 10 millions d'hectares de plantation en milieu tropical humide, pour une production de plus de trois millions de tonnes de caoutchouc par an (Thaler, 2012). Cependant, comme tout système agroforestier, l'hévéaculture est très fortement impactée par la casse au vent des arbres qui génère de grosses pertes de production (Clément-Demange et al., 1995 ; Fourcaud et al., 1998). L'importance de ce problème de casse au vent est identifiée depuis longtemps par les sélectionneurs et par les planteurs (Fourcaud et al., 1998). Ces derniers ont notamment constaté qu'il y'avait plus de dommages dans certaines parcelles que dans d'autres (la parcelle étant le plus souvent monoclonale et équienne) après le passage d'une tempête. Ces observations de terrain suggèrent qu'il existe une variation inter clonale de la sensibilité à la casse des arbres.

Mécaniquement, un arbre soumis au vent est sollicité en flexion et en torsion, selon les conditions de symétrie du houppier dans le plan normal à la direction du vent (Skatter et al., 2000). L'essai de flexion d'arbres sur pied est une méthode de diagnostic basée sur la caractérisation du comportement mécanique de la tige (rigidité à la flexion et rupture de la tige). Il est basé sur la mesure de la réaction des fibres de bois (mesure de leur extension ou compression) mesurée avec un élastomètre, ainsi que la mesure de la force de traction appliquée à l'aide d'un câble et d'un tire-fort. Cette méthode permet d'avoir une estimation sur le comportement mécanique de l'arbre face au vent (Halford et al., 2008).

Ce travail se propose donc de comparer la rigidité de flexion de deux clones d'hévéa (avant la mise en saignée), dont l'un est réputé sensible et l'autre réputé résistant à la casse au vent.

En raison du caractère confidentiel de cette étude, le nom des clones étudiés ne sera pas indiqué : le clone sensible à la casse sera noté CS (clone sensible) et le clone résistant à la casse sera noté CR (clone résistant).

Matériel et méthode

L'étude est menée sur un champ clonal à grande échelle de la SOGB (Société des Caoutchoucs de Grand-Béréby) au Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire (4°40'41.4''N, 7°5'28.7''O). Des essais de

flexion ont été effectués sur 40 arbres dont 20 arbres CS (Clone Sensible) et 20 arbres CR (Clone Résistant). Les arbres sélectionnés ont tous une circonférence moyenne de 50 cm à 1 m du sol ; ce qui correspond à la circonférence de mise en exploitation des arbres. La force maximale appliquée au cours de ces essais a été limitée à environ 2 kN, pour éviter d'endommager l'arbre (Fig. 1). Cette force maximale a été estimée en se basant sur des essais précédemment réalisés lors d'une campagne expérimentale menée en 1997 (Thierry Fourcaud, communication personnelle) sur deux clones d'hévéa. Au cours de nos expérimentations, différentes mesures ont été effectuées ; parmi lesquelles : (i) la hauteur des arbres, (ii) les diamètres et circonférences au niveau du point de mesure des déformations longitudinales, (iii) l'épaisseur de l'écorce, (iv) la distance entre l'arbre à tester et le point d'ancrage du tire-fort et enfin (v) l'angle du câble avec le sol (Fig. 2). Sur les 40 arbres testés en flexion, 6 ont été abattus à raison de 3 arbres CS et 3 arbres CR. Des mesures de masse nous ont permis d'estimer la masse du houppier nécessaire à la prise en compte du poids dans l'analyse des données.

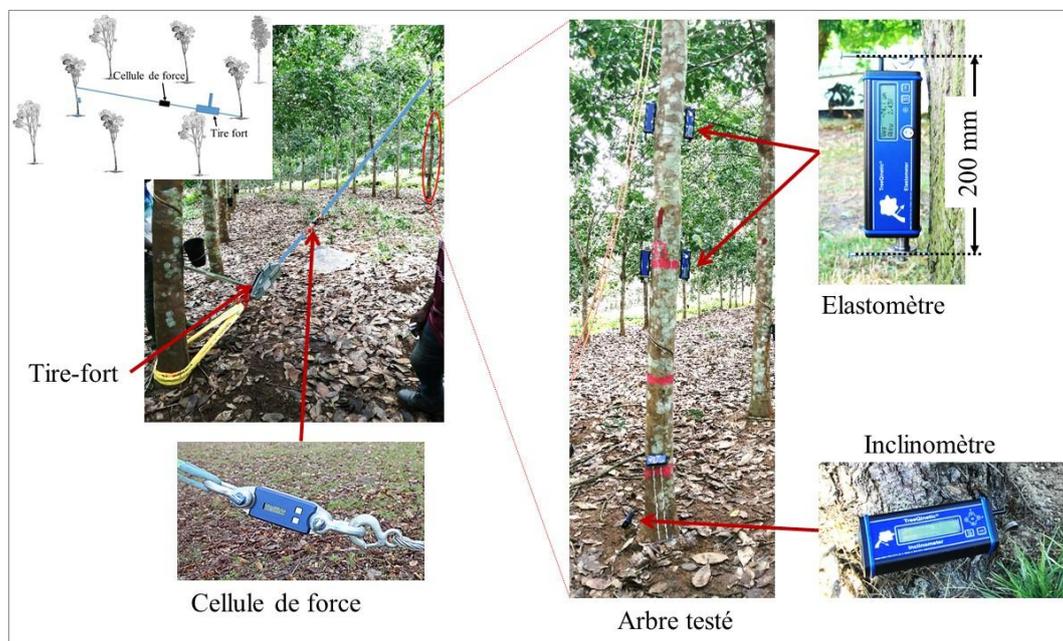


Fig. 1 : Dispositif expérimental de l'essai de flexion avec les principaux appareils de mesure, l'élastomètre, l'inclinomètre et la cellule de force

Pour cette analyse nous avons développé un modèle théorique qui intègre l'ensemble des éléments pertinents entrant dans l'analyse de la configuration mécanique. Nous avons considéré l'arbre comme une poutre verticale encastrée à sa base et libre de se déplacer à son sommet. Nous faisons également l'hypothèse qu'il n'y a pas de reconfiguration des branches pouvant entraîner des effets non linéaires. Une charge F est appliquée à la hauteur z_F sur le tronc, en tirant sur un câble à l'aide d'un tire-fort attaché au pied d'un arbre voisin à une distance L_{hw} du pied l'arbre fléchi (Fig. 2). Le câble fait un angle β avec la direction horizontale. Le moment de flexion total $M(z)$ supporté par la section transversale à la hauteur z est donné par la relation suivante:

$$M(z) = F \cdot \cos\beta \cdot [z_F - z] + F \cdot \sin\beta \cdot [v_F - v(z)] + P \cdot [v(z_G) - v(z)] \quad (1)$$

où P est le poids du houppier, $v(z)$ le déplacement horizontal de la section située à la hauteur z , v_F le déplacement horizontal du point d'application de la force et $v(z_G)$ le déplacement horizontal du centre de gravité du houppier.

Le déplacement v_F peut être obtenu indépendamment sur la base de la variation de la longueur de corde $\Delta L = L_0 - L$ et de l'angle de corde $\Delta\beta = \beta_0 - \beta$ où L_0 et β_0 sont les valeurs initiales de la longueur de corde L et de l'angle de corde β , respectivement après la pré-charge.

$$v_F = -\Delta L \cdot \cos\beta_0 + z_F \cdot \Delta\beta \quad (2)$$

Les mesures de la circonférence à différents niveaux du tronc, de masse des branches et leur hauteur sur l'arbre et de la masse du tronc permettent d'estimer $P(z)$ et z_G . Sur la base de ces données, et en utilisant le déplacement horizontal relatif $v(z)/v_F$ et v_G/v_F à partir des équations suivantes correspondant à la flexion d'une poutre d'inertie de flexion homogène :

$$v(z) = v_F \cdot [2 - (3/2) \cdot (z/z_F)^2 + (1/2) \cdot (z/z_F)^3] \quad \text{si } 0 < z < z_F \quad (3)$$

$$v(z) = v_F \cdot (3/2) \cdot (z - z_F)/z_F \quad \text{si } z_F < z \quad (4)$$

Le moment de flexion total $M(z)$ peut ainsi être calculé et la rigidité locale $E_L \cdot J(z)$ au niveau de la section transversale z est donnée par l'équation suivante :

$$E_L \cdot J(z) = M(z) \cdot D(z) / \Delta\varepsilon \quad (5)$$

où $D(z)$ est le diamètre de la section, $J(z) = \pi D(z)^4 / 64$ le moment quadratique de la section, $\Delta\varepsilon$ la différence de déformation longitudinale maximale dans la section et E_L le module d'élasticité longitudinal de la section. La déformation longitudinale ε varie de $-\Delta\varepsilon/2$ sur la face de compression ($Y = +D/2$) à $+\Delta\varepsilon/2$ sur la face de traction ($Y = -D/2$).

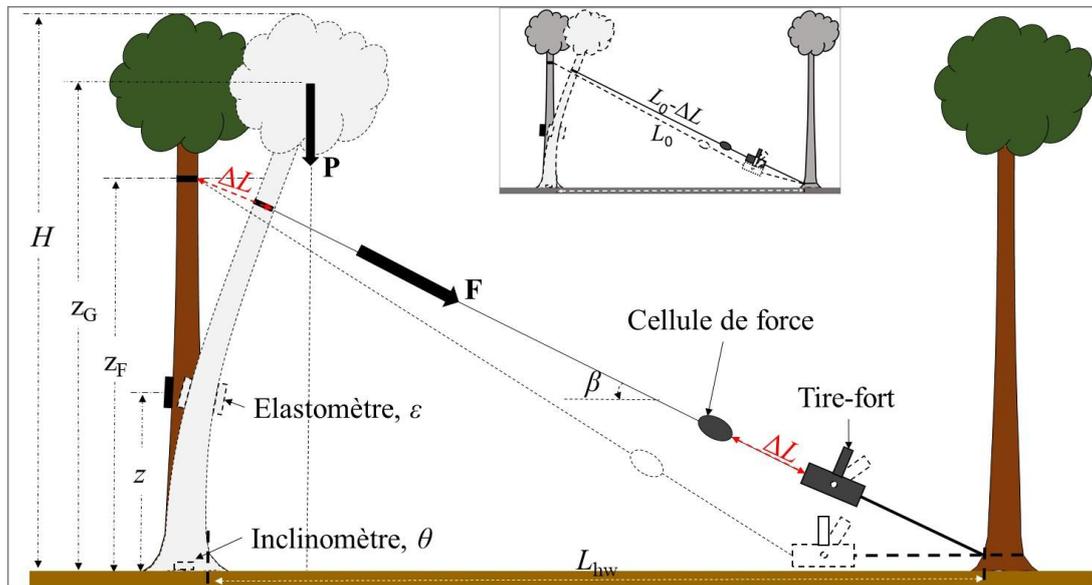


Fig. 2 : Schéma d'un essai de flexion d'arbre sur pied : H hauteur totale de l'arbre, z_F hauteur au point de fixation du câble sur l'arbre, β angle du câble avec l'horizontale, L_{hw} distance de l'arbre au point d'ancrage du tire-fort à la base de l'arbre voisin, ε déformation mesurée par l'élastomètre, θ inclinaison du système racine-sol mesurée par l'inclinomètre, F force appliquée par le tire-fort, P poids de la couronne, L_0 longueur du câble après pré-charge, ΔL raccourcissement de la longueur du câble.

Résultats et discussions

L'analyse des données des essais de flexion effectués sur les 40 arbres (à raison de 20 arbres par clones), nous a permis de déterminer la rigidité de flexion $E_L J$ des arbres testés. En plus de la rigidité de flexion, nous avons pu déterminer le module d'élasticité longitudinal E_L . Les graphiques en boîtes à moustache de la figure 3 présentent la distribution par clone de la rigidité de flexion et du module d'élasticité longitudinal. Les rigidités moyennes des troncs sont de $230,3 \pm 47,1 \text{ kN}\cdot\text{m}^2$ et $237,2 \pm 35,8 \text{ kN}\cdot\text{m}^2$, respectivement pour CR et CS (Fig. 3a). Les tests de comparaison de ces deux moyennes montrent qu'il n'y a pas de différence significative entre la rigidité des troncs de CR et CS (avec $p = 0,608$). Cela s'explique principalement par le fait que les arbres des deux clones ont été choisis avec les mêmes circonférences. L'absence de différence de rigidité des deux clones sur les arbres testés est également expliquée par le fait qu'il n'y a pas de différence significative entre le module d'élasticité longitudinal chez les deux clones (Fig. 3b), le module moyen du CR étant de $11,9 \pm 1,6 \text{ GPa}$ et celui du CS de $11,5 \pm 1,2 \text{ GPa}$.

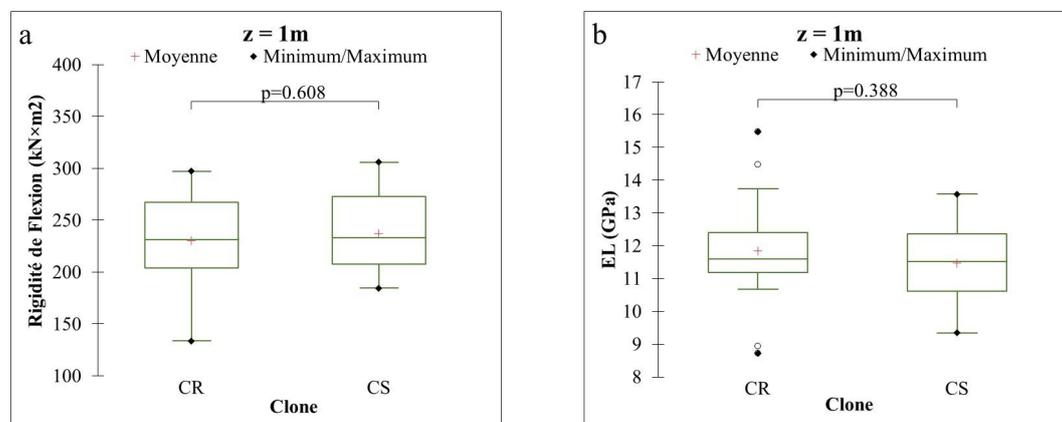


Fig. 3 : Variation de la rigidité de flexion ($E_L J$) des arbres des clones IRCA41 et IRCA825. **b.** Variation du module d'élasticité longitudinal (E_L) des arbres des deux clones. Les valeurs de ces paramètres ont été calculées à $z = 1\text{m}$, à partir des données de déformation mesurées lors des tests de flexion. CR = clone résistant et CS = clone sensible

Ces résultats montrent que les arbres CR et CS ont un même comportement élastique à l'échelle de la tige avant la mise en exploitation (saignée pour la production de latex) ; c'est-à-dire à diamètre comparable. Il faut cependant noter que ces deux clones n'ont pas la même vitesse de croissance et donc, n'ont pas ici le même âge. Une comparaison à âge égal aurait a priori fait ressortir des différences très significatives. En perspective, nous allons suivre l'évolution du comportement de ces deux clones après la mise en exploitation, ainsi que leur résistance à la flexion.

Remerciements

Les auteurs remercient l'Institut Français du Caoutchouc (IFC) et ces partenaires notamment, la Société des Caoutchoucs de Grand-Béréby (SOGB), la Société Africaine de Plantations d'Hévéas (SAPH) et Michelin pour le financement accordé dans le cadre du projet Vent-Debout Hévéa 1.

Références

Clément-Demange, A., Nicolas, D., Legnaté, H., Rivano, F., Le Guen, V., Gnagne, M.Y., Chapuset, T. (1995) Hévéa: stratégies de sélection, *Plant. Rech. Dév.* 2, 5–19

Fourcaud, T., Clement-Demange, A. (1998) Description of a simulation approach to investigate wind damage in rubber trees (*Hevea brasiliensis*). In: IUFRO Conference on wind and other abiotic risks to forests, Helsinki, Finland.

Halford T., Lesnino G., Wessolly L., Gourgue P., Merland J-P. (2008) diagnostic de la tenue mécanique de quatre arbres remarquables à liège (belgique) : Test de traction et tomographie acoustique.

Skatter, S., Kučera, B. (1997) Spiral grain - An adaptation of trees to withstand stem breakage caused by wind-induced torsion. *Holz Als Roh- Werkst.* 55, 207–213. <https://doi.org/10.1007/BF02990549>.