

Modélisation en grands déplacements du comportement mécanique d'une tige lors d'un essai de flexion sur pied

ENGONGA EDZANG Arnaud^{1,2}, GRIL Joseph^{1,2}, MOUTOU PITTI Rostand^{1,3},
BADEL Eric²

¹Université Clermont Auvergne, CNRS, Institut Pascal, Clermont-Ferrand, France

²Université Clermont Auvergne, INRA, PIAF, F-63000 Clermont-Ferrand, France

³CENAREST, IRT, Libreville, Gabon

a-clauvy_s.engonga_edzang@etu.uca.fr

Mots clefs : Essai de flexion, grand déplacement, modélisation

Contexte et objectif

La casse au vent des hévéas de plantation est un phénomène majeur pour la production de latex. Elle limite l'extension des zones de culture de l'hévéa et génère de grosses pertes de production. L'importance de ce problème de casse au vent est identifiée depuis longtemps par les sélectionneurs et par les planteurs (Nicolas et al, 1977). Elle a conduit principalement à deux méthodes de mitigation notamment, le retard d'exploitation (souvent d'une année) et la sélection empirique de clones qui semblent plus résistants à la casse au vent. L'efficacité de ces méthodes est toutefois réduite par le manque de méthodes solides d'évaluation de la performance de résistance atteinte. L'un des objectifs du projet **Vent-Debout Hévéa 1** est donc de venir en appui à ces méthodes, à travers la caractérisation de la résistance à la flexion de deux clones d'hévéa.

Les hévéas en plantation, comme tous les arbres sur pied sont des structures très élancées et essentiellement sollicitées en flexion par le vent. A ce titre, les arboristes de l'arbre en ville ont mis au point des tests de flexion sur pied pour élaborer des diagnostics de sécurité qui permettent de caractériser la rigidité de flexion de la tige (Sterken. 2018, Halford et al. 2008).

Du fait de l'élancement de l'arbre, on peut s'attendre à un déplacement important de la structure, couplé à des effets non linéaires liés au déplacement du poids propre de la tige et son houppier. Dès lors, il convient d'en tenir compte dans l'analyse des données de l'essais ; ce qui n'est actuellement pas le cas dans les protocoles élaborés par les arboristes.

L'objectif de ce travail est donc de voir dans quelle mesure la prise en compte de grands déplacements permet une meilleure interprétation des données d'essai de flexion de l'arbre sur pied.

Objet d'étude et méthodes

On se place dans le cas très particulier des clones d'hévéas en plantation qui ont une forme courbée dans la direction des vents dominants (Fig. 1a). On fait l'hypothèse que l'arbre initialement droit s'est incliné d'un angle θ_0 à la suite d'un coup de vent (état intermédiaire). Puis, du fait du moment de flexion exercé par la masse du tronc et du houppier, l'arbre s'est courbé pour arriver finalement une configuration que l'on va appeler état 0 (Fig. 1b).

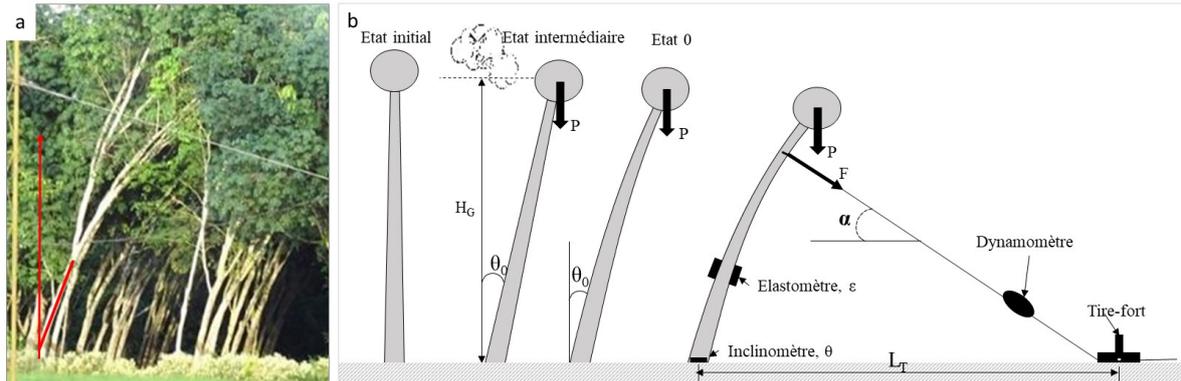


Fig. 1 : (a) Forme d'hévéas en plantation. (b) Processus d'inclinaison de l'arbre avant essai de flexion : θ_0 est l'inclinaison initiale de la base de l'arbre, la mesure de l'inclinaison θ permettant de tenir compte d'une éventuelle rotation du système en cours d'essai, ϵ la déformation longitudinale du tronc mesurée par les élastomètres, α l'angle du câble avec l'horizontale

La tige de l'arbre est assimilée à une poutre droite de section circulaire, avec un défilement conique jusqu'au centre de gravité du houppier G_N . Son module d'Young longitudinal E est supposé homogène. La masse du houppier est uniformément répartie autour de l'axe du tronc (pas d'asymétrie du tronc) et concentrée au point G_N (centre de gravité du houppier) situé à une hauteur $H_G = (H - H_c)/2$; H étant la hauteur totale de l'arbre et H_c la hauteur à la base du houppier.

On considère que la tige est discrétisée par des nœud $b_i = (x_i, z_i)$ sur lesquels sont concentrés les masses m_i ($i \in [1 ; N]$) de la tige. L'élément situé entre les nœuds b_{i-1} et b_i de longueur ds_i est représenté par son centre de gravité $G_i = (X_i, Z_i)$ (Fig. 2).

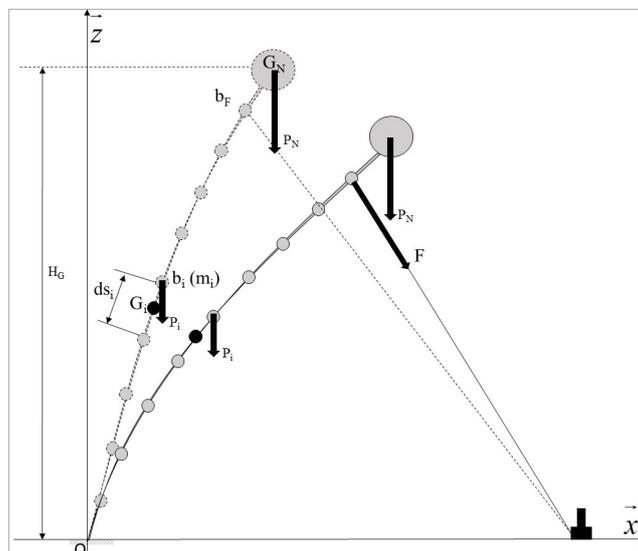


Fig. 2 : Discretisation du problème. G_N est la position du centre de masse du houppier situé à la hauteur H_G , b_F est le point d'application de la force, m_i est la masse au nœud b_i , ds_i est la longueur de l'élément de centre G_i situé entre les nœuds b_i et b_{i-1}

Le moment total $\mathcal{M}P_i$ subit par l'élément i dû au déplacement des masses situées au-dessus est donné par :

$$\mathcal{M} P_i = \sum_{j \geq i} m_j g \cdot (x_j - X_i) \quad (1)$$

où g est l'accélération de la pesanteur. La flexion de la tige est effectuée sur l'arbre à l'état 0 comme le montre la figure 2. Si on nomme $b_F = (x_F, z_F)$, le nœud où est appliquée la force F , le moment fléchissant créé par cette force sur l'élément G_j est alors :

$$\mathcal{M} F_i = F[(x_F - X_i) \sin(\alpha) + (z_F - Z_i) \cos(\alpha)] \quad (2)$$

avec α , l'angle du câble avec l'axe horizontal. Le moment \mathcal{M}_i subi par un élément i à chaque étape de l'essai est alors la somme du moment dû à l'application de la force F et du moment dû au déplacement des masses au-dessus de cet élément. La théorie de la RDM nous informe que lorsqu'un élément curviligne (plan) de longueur ds_i est soumis à un moment \mathcal{M}_i , sa section tourne par rapport à sa section initiale d'un angle $d\omega_i$ proportionnel au produit de \mathcal{M}_i par ds_i :

$$d\omega_i = \frac{1}{E_i I_i} \mathcal{M}_i \cdot ds_i \quad (3)$$

En appliquant la méthode d'approximation de Newton à (3), on détermine la rotation de la section aux différents nœuds permettant de reconstruire la nouvelle configuration de l'arbre.

$$\omega_i = \omega_{i-1} + \Delta s_i \times \frac{\mathcal{M}_i}{E_i I_i} \quad (4)$$

Résultats

La figure 3a présente les différentes configurations possibles de l'arbre. Elle montre notamment la configuration initiale de l'arbre sous l'effet du poids du tronc et du houppier, et la configuration de l'arbre sous l'action d'une force (selon qu'elle soit dans la direction de la courbure de l'arbre ou dans la direction opposée).

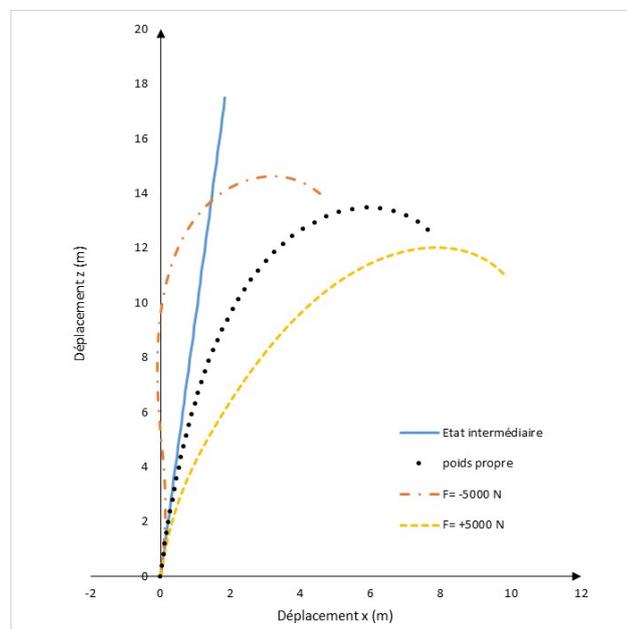


Fig. 3 : Configuration de l'arbre sous l'effet de son propre poids et sous l'effet d'une force appliquée (suivant la courbure et opposée à la courbure de l'arbre). L'arbre considéré ici, a un diamètre à la base de 30 cm pour une hauteur de 20 m, une inclinaison de 6° et un module d'Young du bois de 10 GPa. L'effort appliqué à 5 m est de ± 5000 N suivant la direction

Les courbes de la figure 4 présentent respectivement les déplacements du point d'application de la force (Fig. 4a) et les déformations calculées à 1,30 m environ (Fig. 4b) pour différentes valeurs de la force. On observe sur les figures 4a et 4b, quelle que soit la direction de chargement, des relations force-déplacement et force-déformation purement linéaires lors du calcul RdM classique. Tandis que le calcul en grand déplacement laisse apparaître une non-linéarité dans les relations force-déplacement et force-déformation. La différence des rapports force/déplacement et force/déformation entre les deux directions de chargement respectivement de 620 N/m et 0.05 N/ μ def peut être due à la contribution inverse de la masse du tronc et du houppier d'une direction à l'autre.

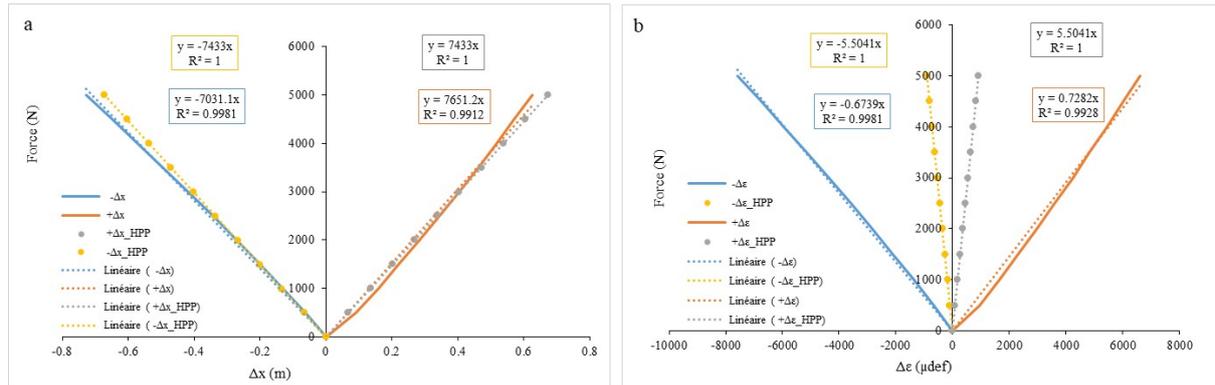


Fig. 4 : Comparaison des courbes force-déplacement et force-déformation issues du calcul en grand déplacement et du calcul RdM classique (HPP). Δx est la variation du déplacement du point d'application de l'effort et $\Delta \epsilon$ est la variation de la déformation à 1.30 m.

Ces résultats montrent qu'un calcul en grand déplacement prend assez bien en compte les effets non-linéaires qui peuvent survenir, du fait de l'élançement important de l'arbre ou du poids propre de la tige et de son houppier.

Remerciement

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

Références

- 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.
- Nicolas D., Hofmann J.P. (1977) Etude de la présence de bois de tension en relation avec le phénomène de casse au vent chez Hevea brasiliensis.
- Sterken, P. (2018). Les bases scientifiques des tests de traction, La Forêt 12/18, p 10-13.