Les moteurs en caoutchouc ... Un peu de théorie

J.L. SOLIGNAC

Je me suis penché à nouveau sur la relation (Cf. C.E.R.V.I.A. N°14, page 251) associant le couple fourni par un écheveau de caoutchouc aux paramètres caractéristiques de cet écheveau : sa longueur, sa section et sa torsion. J'avais donné une relation exprimant le couple moyen susceptible d'être fourni par cet écheveau en fonction de sa section, indépendant de la longueur de l'écheveau et du nombre de tours de torsion. Je m'étais basé, en référence à un certain nombre d'expériences, sur des résultats que j'avais simplement collectés dans un diagramme logarithmique exprimant le couple moyen $\overline{C}$ en fonction de la section de l'écheveau ($\overline{C}$ relevé au point d'inflexion de la courbe C(N) lors de la détorsion de l'écheveau). Pour autant, il n'était pas satisfaisant d'avoir une formule non homogène, puisqu'un couple qui a la dimension d'un travail dépend alors de la section de l'écheveau avec un exposant de la puissance égal à 1,4 (voire 1,6 pour le caoutchouc Pirelli), ce qui retire toute signification physique au coefficient de proportionnalité entre ce couple et ce terme relatif à la section de l'écheveau.

En reprenant les expériences avec un même caoutchouc remonté à des nombres de tours de torsion différents, sur des écheveaux de longueurs différentes, composés de nombres de brins différents (Fig. 1), et en reprenant ces mêmes expériences avec des caoutchoucs de nature différente, je me suis aperçu qu'il était tout à fait raisonnable de conserver un même exposant 1,5 affectant la section initiale pour caractériser le couple moyen de l'écheveau torsadé

$$\overline{C} = As_0^{1,5} \qquad (1)$$

relation dans laquelle A est un coefficient caractéristique de la nature du caoutchouc utilisé, et possède la dimension d'une tension.

Ainsi, la relation que j'avais utilisée comme guide pour le choix du caoutchouc moteur des avions à propulser (en unités C.G.S) :

$$\overline{C} = 1{,}2.10^6.s_0^{1,4}$$

est à remplacer par :

$$\overline{C} = 2.10^6.s_0^{1,5}$$

(N.B. La relation utilisée concernait en fait le produit $\overline{P}R$ de la poussée moyenne $\overline{P}$ de l'hélice lors de la détente de l'écheveau par le rayon R de la pale. Le couple moyen de la traînée qui s'exerce sur l'hélice et que doit fournir le moteur caoutchouc représente les trois quarts de ce produit qui avait été évalué par la relation $\overline{P}R = 1{,}6.10^6.s_0^{1,4}$ sur une base statistique de résultats expérimentaux).

Il se trouve que dans la gamme des valeurs utilisées de s_0, les résultats obtenus par l'une ou l'autre formule sur le couple moyen $\overline{C}$ de l'écheveau torsadé, lors de sa détorsion, sont voisins, comme on peut le constater pour les valeurs s_0 = 0,005 et 0,02 cm^2 qui représentent les valeurs extrêmes des sections des écheveaux utilisés.

Deux approches différentes ont été effectuées pour étayer le bien-fondé de la relation (1)

La première consiste à considérer l'énergie E que peut restituer un écheveau de caoutchouc de longueur initiale l_0, de section initiale s_0, torsadé d'un nombre N_0 de tours.

$$E = K_0 l_0 s_0 \qquad (2)$$

K_0 dépend de N_0

Or $$E = \int_0^{No} C\,dN \qquad (3)$$

et, vu la forme de la courbe lorsque la torsion de l'écheveau a dépassé une valeur suffisante, on peut définir un couple moyen qui correspond sensiblement au point d'inflexion de la courbe C(N) par

$$\overline{C} = (E/N_0) \qquad (4)$$

Le nombre de tours de torsion N_0, la longueur de l'écheveau l_0 et sa section s_0 définissent suivant des considérations dimensionnelles évidentes un coefficient de remontage $k_0 = N_0\sqrt{s_0}/l_0$, qui caractérise la charge de l'écheveau sous l'effet de la torsion.

On a ainsi

$$\overline{C} = (K_0/k_0)s_0^{1,5}$$

Or, on a pu constater que $A = K_0/k_0$ restait constant dans une large gamme de variation de N_0 et que ce facteur qui est homogène à une tension dépend essentiellement de la nature du caoutchouc (Fig.2).

C'est ainsi que l'on trouvé A= 2.10^6 baryes pour notre caoutchouc de pêche acheté à la Samaritaine ainsi d'ailleurs que pour un caoutchouc provenant de sandows, ou de celui acheté en mercerie et débarrassé de son enrobage de coton. A= $1{,}12\ .10^6$ pour un caoutchouc plus ordinaire provenant de bracelets élastiques vendus en papeterie et A = $0{,}9.\ 10^6$ pour le caoutchouc Pirelli. Bien qu'il soit moins raide, le caoutchouc Pirelli est avantageux, car il rompt pour une valeur élevée du coefficient de remontage k_0, qui peut atteindre 7 alors qu'il ne dépasse guère 2 pour les autres catégories de caoutchouc.

La seconde approche de la relation (1), qui permet une définition intrinsèque de A rattachée à sa propriété de représenter une tension, m'a été suggérée par le schéma proposé lors d'une étude théorique faite par René Bahout et publiée dans "le Modèle Réduit d'Avion" de 1956 à 1959 dans les numéros 211,212,214,216,221, 222, 227,228,229,237 et 241 de cette revue.

R. Bahout considère l'allongement a d'une fibre extérieure d'un écheveau de caoutchouc et celui b de la fibre moyenne