

en figure 2. Un brin cylindrique de rayon R et de longueur L est étiré au max  $x L$  et remonté sur une tige de rayon nul de longueur L. Dans ce cas les tours de remontage sont complètement incorporés dans des tortillements, c'est à dire qu'il n'y a pas de torsion dans la structure remontée.

$$T_w = 0 \text{ et } Lk = Wr$$

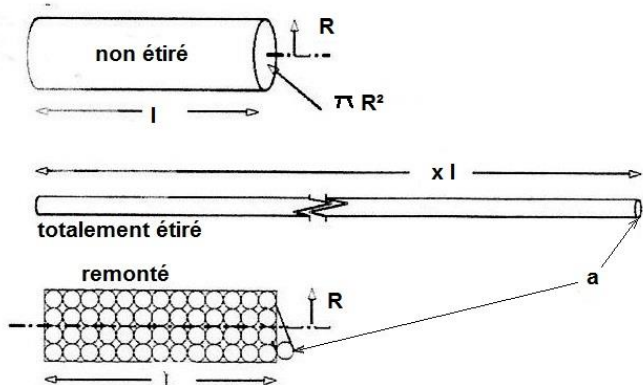


fig 2 Modèle géométrique du moteur remonté

Comme le volume est inchangé  $\pi R^2 L = x L a$  et la section du moteur étiré est  $a = \pi R^2 / x$

En assumant que les brins extérieurs du moteur remonté sont bien serrés, le  $N_{max}$  peut être approximativement calculé en notant le croisement des tours (de section a) avec la section longitudinale  $2 R L$ . Comme chaque tour traverse deux fois cette section, il vient

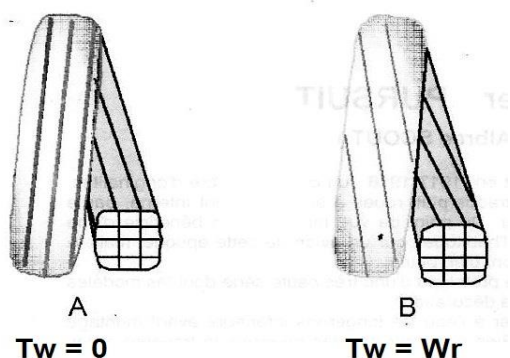
$$N_{max} = Lk = R L x / \pi R^2 = x L / \pi R \quad (4)$$

Sur chaque "tranche" de moteur remonté, le tour varie en rayon avec une moyenne de  $R/2$ . On peut donc relier le  $N_{max}$  en divisant la longueur tendue  $x L$  par la circonférence moyenne  $\pi R$  ce qui conduit à la même équation.

Pour un moteur réel de n brins de largeur w et épaisseur t, le rayon équivalent est  $R = (n w t / \pi)^{1/2}$  et en remplaçant dans l'équation (4)

$$N_{max} / L = x / (\pi n w t)^{1/2} \quad (6)$$

Si on porte sur un graphe les valeurs de l'équation (6) en fonction du nombre de brins n pour une extension  $x = 10$ , on obtient bien une courbe caractéristique en  $n^{-1/2}$ , mais les valeurs sont systématiquement moitié des mesures expérimentales. Ce facteur 2 est-il une coïncidence ou le véritable indice d'un comportement différent de celui imposé au modèle?



L'étude de Ricca montre qu'un brin élastique tordu minimise son énergie en répartissant  $Lk$  entre torsion et tortillement. Ceci est en accord avec l'expérience commune du remontage où les premiers tours à un extension donnée sont entièrement pris par la torsion. Les queues de cochons se produisent quand plus de tours sont ajoutés. A tout moment du remontage, le tortillement peut être partiellement transformé en torsion en étirant le moteur, si c'est encore possible!

Une façon simple de prendre en considération le fameux facteur 2 est de considérer que  $T_w = Wr$ . En effet, de cette façon, la courbe théorique se superpose pratiquement avec les valeurs expérimentales. Cette égalité entre torsion et tortillement s'accorde bien avec la règle pifométrique généralement utilisée pour remonter à fond

- 1) Etirer autant que l'on ose
- 2) Remonter à peu près la moitié des tours envisagés en restant étiré au max
- 3) Remonter jusqu'au  $N_{max}$  en relâchant jusqu'à la longueur finale

Si la longueur finale est égale à la longueur d'origine, un remontage où la première moitié des tours donne de la torsion, pendant que la seconde se convertit directement en tortillement, à torsion constante, est compatible avec la structure proposée  $T_w = Wr$

Les commentaires sur la première version de cet article faits par des compétiteurs expérimentés montrent que la façon de remonter ci-dessus peut subir de nombreux raffinements et modifications. Une suggestion qui paraît raisonnable est de laisser le moteur se raccourcir un peu durant la première partie du remontage pour diminuer la tension. Dans cette idée, les parties 1) et 2) pourraient devenir : "étirer au max puis remonter la moitié des tours en conservant une tension constante". De même le taux d'extension du stade 1) diffère fortement selon les compétiteurs, certains en indoor utilisent un processus plus complexe, dans lequel le moteur est étiré aux limites de façon répétée, et ensuite partiellement déroulé.

Les maquettes utilisent souvent des moteurs beaucoup plus longs que l'entre-crochet. Or le modèle géométrique à volume constant montre que l'on peut rentrer plus de tours si le moteur est plus étiré que l'entre-crochet. Si le moteur remonté peut être raccourci à une longueur plus faible que sa longueur naturelle, le diamètre d'enroulement est plus gros, d'où un nombre de tours plus faible pour un même allongement.

Finalement il n'y a, a priori, aucune raison de penser qu'il y a un rapport optimum de 1:1 entre torsion et tortillement. Il peut très bien exister un rapport différent qui optimise la performance énergétique, en étirant plus ou moins, en remontant plus ou moins sous tension, ou en utilisant un entre-crochet plus ou moins grand que la longueur naturelle. Encore beaucoup à étudier sur le terrain et dans l'atelier!