

EQUILIBRAGE du VILEBREQUIN des MONOCYLINDRES

Facteur d'équilibrage

1) Les vibrations

Les vibrations proviennent du fait qu'un moteur contient des éléments en rotation (masses de vilebrequin) et d'autres en mouvement alternatif (piston).

La bielle quant à elle est composée d'un élément rotatif (tête de bielle), d'un élément alternatif (pied de bielle) et d'un élément hybride mi-rotatif - mi-alternatif (corps de bielle).

Les mouvements d'inertie développés ne sont donc pas de même nature et sont même antagonistes:

- une inertie régulière en rotation pour le vilebrequin et la tête de bielle,
- une inertie irrégulière pour le piston et le pied de bielle car leur vitesse est égale à zéro aux points morts et avec des accélérations et décélérations importantes entre les deux points morts haut et bas et une inertie tantôt positive et tantôt négative suivant que le piston descend ou monte,
- une inertie encore plus compliquée et qui est un mélange des deux autres pour le corps de bielle.

Equilibrer les masses rotatives est relativement simple. C'est les autres masses alternatives et hybrides qui causent problème.

Plus simplement, le renversement de direction du piston deux fois par tour du vilebrequin produit des forces énormes dans le plan vertical du mouvement du piston et la force maxi est située quand le piston est à sa vitesse la plus élevée soit à mi-course, lorsque le maneton est dans un plan horizontal.

Par ailleurs, la bielle génère également des forces qui elles, se situent dans un plan horizontal et un plan vertical et sont maximum au même endroit que le maximum produit par le piston, toujours à mi-course.

Ce sont principalement ces forces qui produisent les vibrations. Elles dépendent des facteurs suivants:

- Pour le piston, de son poids et de sa vitesse linéaire maximum c'est-à-dire de la valeur de la course (plus la course est grande pour une même vitesse de rotation du vilebrequin, plus la vitesse du piston est grande),
- Pour la bielle, de son poids et de sa vitesse linéaire maximum, mais aussi de sa longueur (on peut pour une même course avoir des bielles de longueur variable).

Pour diminuer les vibrations, on a donc tout intérêt à diminuer le poids du piston et diminuer le poids et la longueur de la bielle.

On part du principe que l'on ne modifie pas la course du moteur.

En fonction du type de montage du moteur dans le cadre, les vibrations vont se transmettre dans celui-ci mais il faut savoir qu'elles vont se produire d'une manière différente si l'on change de cadre. Les vibrations d'un même moteur NORTON Atlas 750cc dans un cadre Featherbed sont tout à fait différentes dans un cadre de Matchless G15 car les fixations ne sont pas les mêmes!!

2) Vitesse de rotation - Couple maximum -

L'expérience acquise par les constructeurs, et surtout sur les monocylindres, se traduit de la manière suivante, à moteurs de cylindrée égale:

- Plus on allonge la course et on réduit l'alésage, plus la vitesse de rotation va être limitée, moins le moteur prendra facilement ses tours, mais plus le couple maximum se situera sur les bas régimes (machine de trial).

A l'inverse, plus la course sera raccourcie, plus facile sera la montée en régime, plus haute

sera la vitesse de rotation maximum (la puissance dépend aussi de la vitesse de rotation!) mais le couple maximum sera situé plus haut dans les tours. C'est également la raison pour laquelle sur les machines de circuit, la plage d'utilisation du moteur est réduite et nécessite des rapports de boîte plus nombreux.

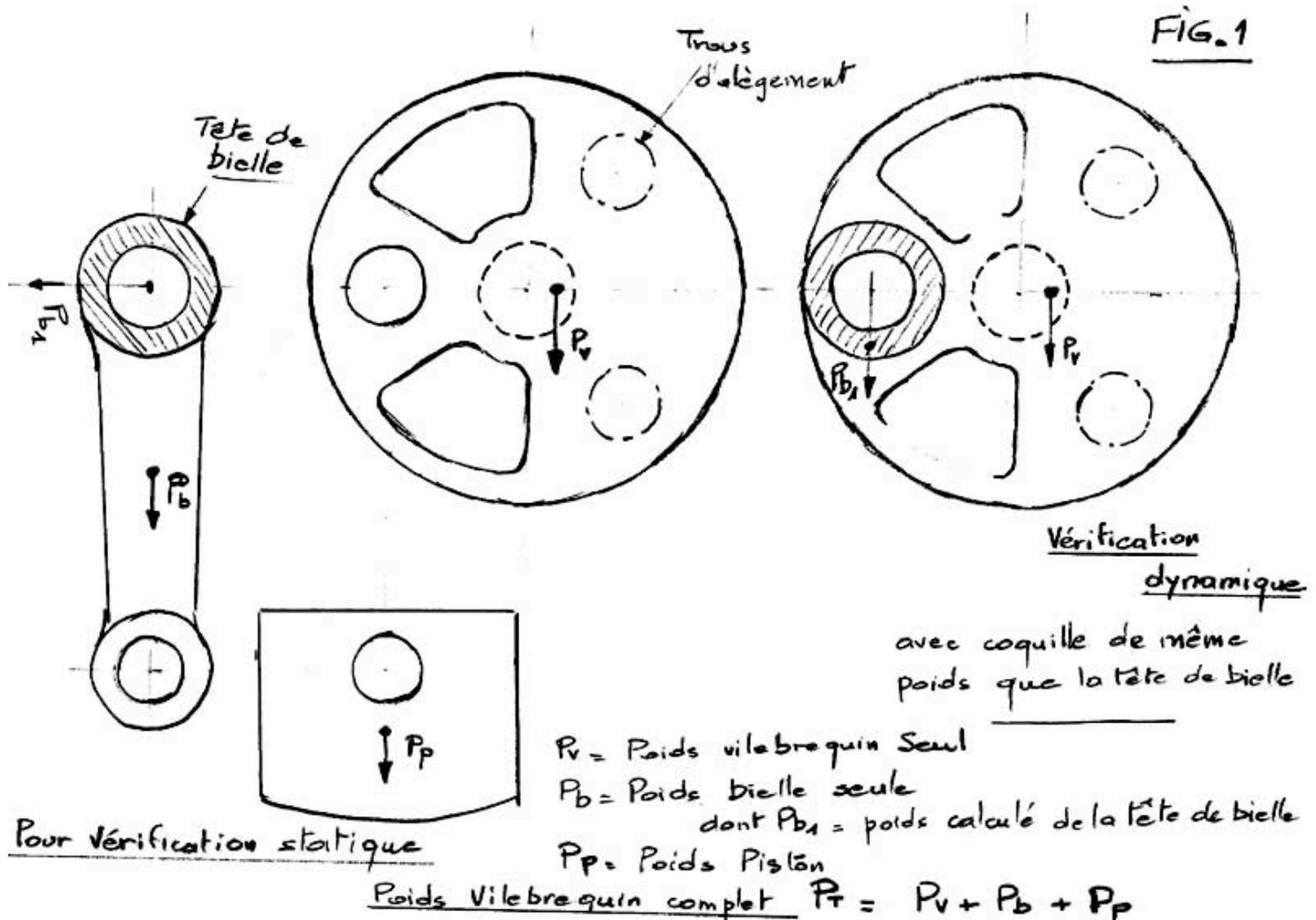
Pour ce qui est des machines de route et de moto-cross, les constructeurs se sont orientés vers un compromis entre ces deux extrêmes.

La répartition des masses du vilebrequin et de ses annexes suit la même logique:

- Plus il existe un déséquilibre entre la masse représentée par le coté A (balourd) du vilebrequin (voir Croquis FIG.2) et la masse de son coté B (Maneton) moins le moteur tourne vite et plus il y a de couple en bas,
- Plus on tend vers l'équilibre de ces masses plus le vilebrequin peut tourner vite mais moins il y a de couple en bas.

Les constructeurs ont donc là également choisi un moyen terme, en fonction de l'utilisation du moteur.

Cependant les vibrations seront toujours présentes, plus ou moins atténuées et à des régimes différents en fonction des caractéristiques du moteur. C'est ce qui a par ailleurs guidé les constructeurs à multiplier le nombre de cylindres afin de diminuer les vibrations et tendre vers un équilibre des masses de vilebrequin nettement meilleur. Le meilleur équilibre a été trouvé sur le 6 cylindres. Voyez le nombre de tours qu'il peut prendre comparé à un mono ou un twin.



3) Equilibrage

Qu'est ce que l'équilibrage d'un vilebrequin : contrairement à ce que l'on pourrait penser en faisant référence à l'équilibrage d'une roue de voiture, l'équilibrage d'un vilebrequin consiste

à mesurer ou à rectifier son facteur d'équilibrage.

Le facteur d'équilibrage est le rapport entre la masse du vilebrequin coté B (Maneton) et la masse de son coté A (Balourd), mais il se définit de deux manières:

- Un facteur d'équilibrage statique, qui prend en compte le poids du vilebrequin nu, le poids de la bielle et celui du piston;
- Un facteur d'équilibrage dynamique (en rotation), qui prend en compte le poids du vilebrequin nu, ainsi que celui de la tête de bielle.

Voir croquis de la FIG. 1 : P_v = poids du vilebrequin nu ; P_b = poids de la bielle ; P_p = poids du piston complet

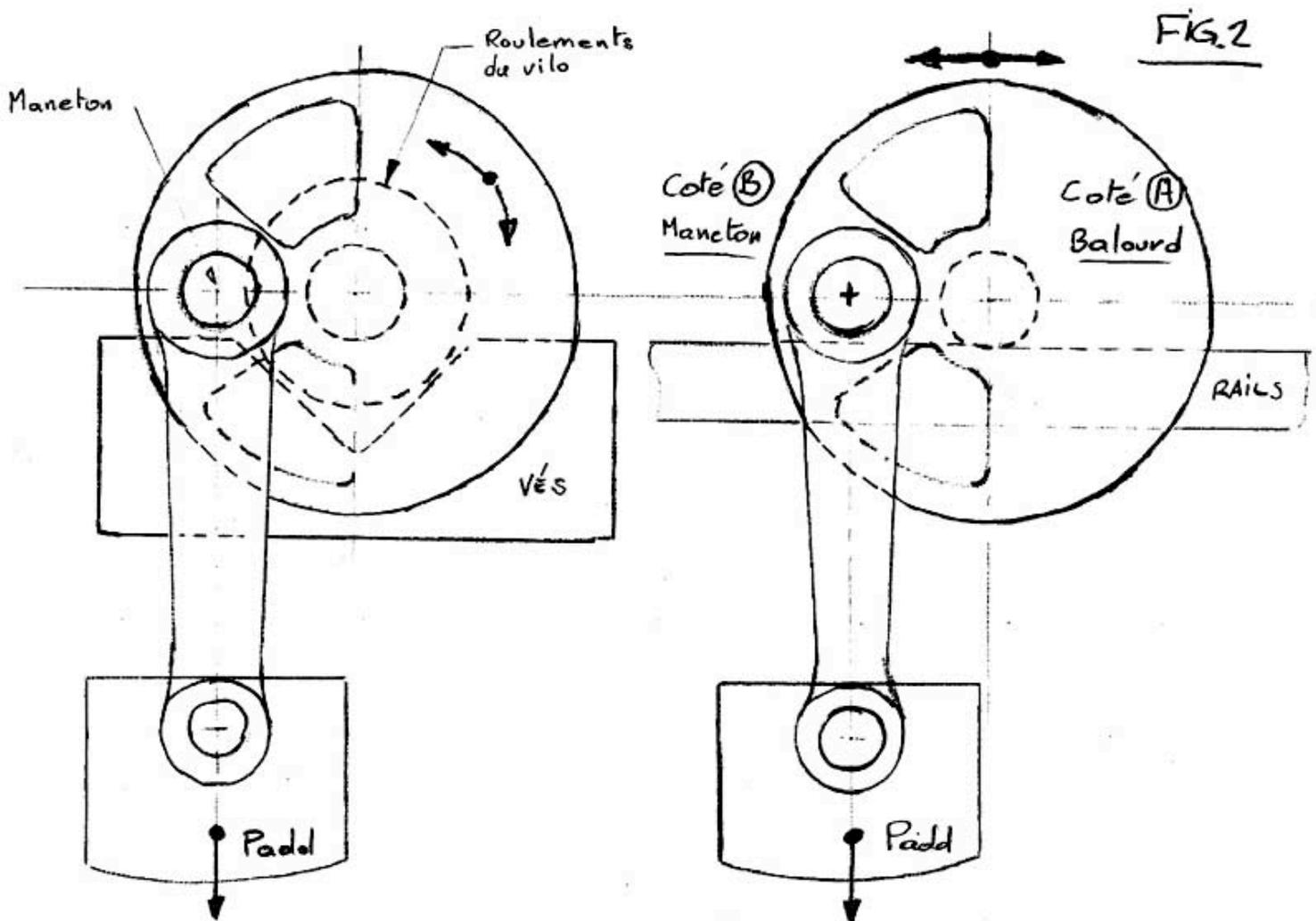
Le poids total du vilebrequin pour définir un facteur statique est $P_t = P_v + P_b + P_p$

P_{b1} est le poids calculé de la tête de bielle

Le poids total du vilebrequin pour définir un facteur dynamique est donc $P_{t1} = P_v + P_{b1}$

Comment calculer le facteur d'équilibrage statique:

- 2 manières d'opérer (voir croquis FIG.2):



soit équiper le vilebrequin de roulements neufs et poser le vilebrequin sur des vés, afin qu'il puisse tourner facilement;

soit poser le vilebrequin sur deux rails couteaux, parfaitement à l'horizontale, afin que le vilebrequin puisse rouler facilement:

- le vilebrequin doit naturellement se positionner, compte tenu des différences de masses, avec le maneton vertical, en position haute;
- Il faut ensuite combler la différence de masse en chargeant le piston d'une masse supplémentaire (écrous, vis, etc.) de telle manière que lorsque l'équilibre est atteint, le vilebrequin puisse rester immobile, quelle que soit la position du maneton.
- Peser cette masse, qui sera appelée masse additionnelle Padd.

Le facteur d'équilibrage est déterminé par la formule $Fst = (Pt - Padd) / (Pt + Padd) \times 100\%$

Un exemple: un vilebrequin nu d'une Matchless G80CS de cross pèse 11750 g, la bielle équipée 640 g et le piston complet 610 g ;

$Pt = 11750 + 640 + 610 = 13000$ g. Lors de la mesure de masse additionnelle, celle-ci était de 1857 g ;

le facteur Fst est donc de $(13000 - 1857) / (13000 + 1857) \times 100\% = 11143 / 14857 \times 100\% = 75\%$

Maintenant, on veut augmenter les performances du moteur, puissance, couple maxi et vitesse de rotation.

Augmentation de cylindrée = augmentation de puissance ainsi que du couple,

Augmentation du nbre de tours = diminution du poids du vile.

Le piston passe de 86mm à 90mm avec un piston de G50 forgé (gain de poids entre piston forgé et moulé) et la bielle d'origine est remplacée par une bielle CARRILLO plus courte de 12.7mm.

Poids du piston = 520 g et Poids de la bielle = 540 g soit une diminution de poids de 190 g.

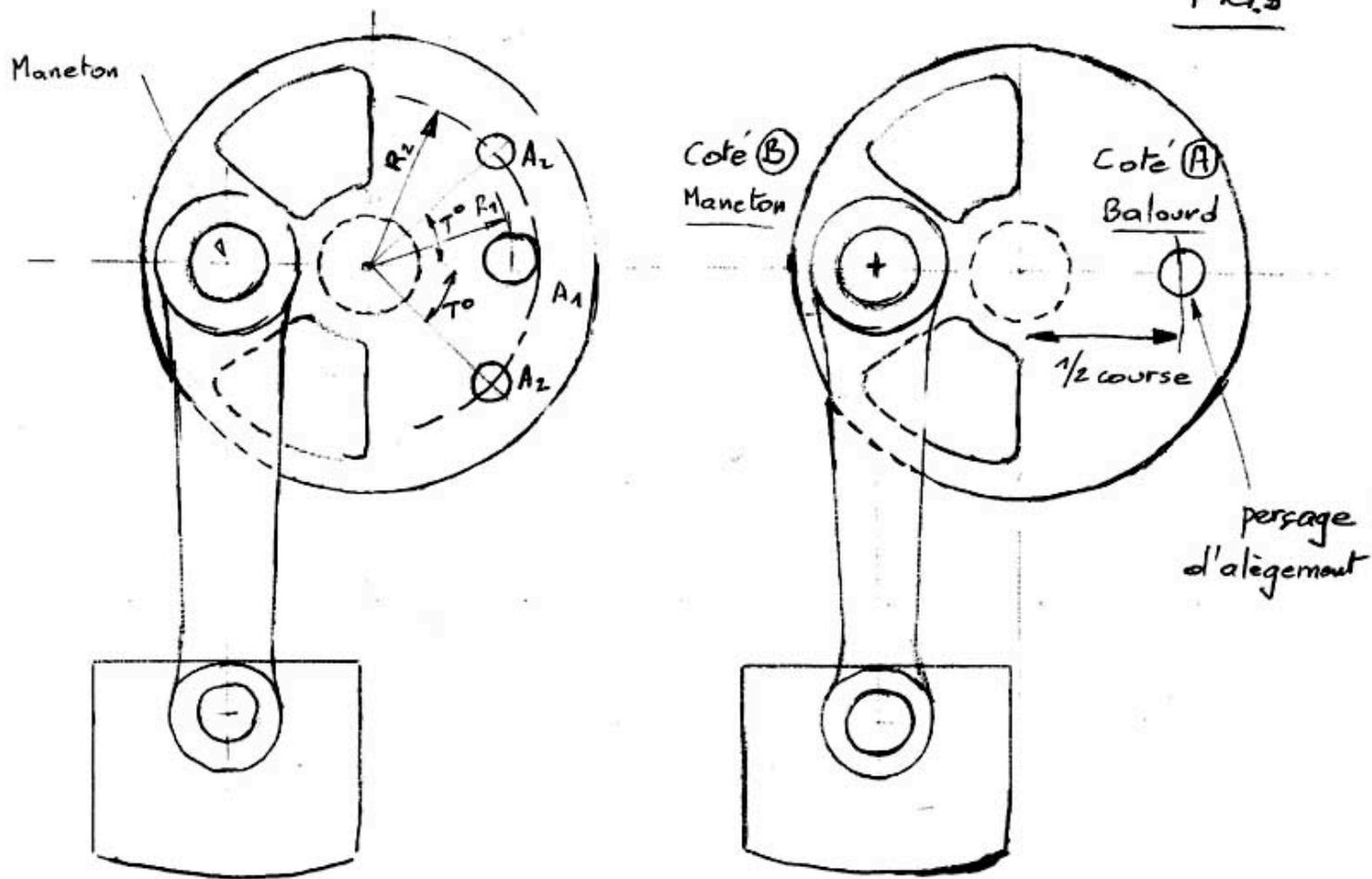
Si on ne bouge en rien le vilebrequin, le nouveau facteur Fst passe à 72.8% donc plus bas que celui d'origine, ce qui va déplacer le couple maxi à un régime un peu plus bas, mais ce devrait être au détriment de la vitesse de rotation maxi possible. Mais comme en même temps, on a réduit le poids du vilebrequin, ainsi que les inerties générées par le nouveau piston et la nouvelle bielle, le moteur prendra beaucoup mieux ses tours, avec une meilleure position du couple maxi pour les reprises.

Si par contre on était satisfait de la position initiale du couple maxi, et que l'on veuille gagner plus en vitesse de rotation, alors il faudra revenir au facteur Fst d'origine, c'est à dire alléger le vilebrequin nu (son poids Pv) d'une valeur telle qu'elle fasse repasser ce facteur de 72.8 à 75%.

La méthode la plus simple est d'enlever de la matière, par perçage, de façon diamétralement opposée au maneton coté A (balourd), à une distance égale à la moitié de la course, depuis le centre du vilebrequin, jusqu'à dans le cas présent, obtenir un poids de copeaux de 190 g soit un volume de 24 à 25 cm³ -

(Voir croquis FIG.3).

FIG. 3



- Il est parfois nécessaire, pour des raisons de géométrie ou de volume, de faire plusieurs trous. Là encore certaines règles sont à respecter:
 Les trous qui ne sont pas dans le plan du maneton doivent être de mêmes dimensions, au même angle de part et d'autre de l'axe horizontal et sur le même rayon.

Pour les matheux il faudra respecter la formule suivante (théorie des moments d'équilibre):

- soit : * A_0 allègement piston et bielle en g
- * A_1 allègement en g opposé au maneton sur un rayon R_1 mm
- * A_2 allègement situés de part et d'autre de l'axe horizontal sur un rayon R_2 mm et avec un angle T°
- * C Course en mm

$$\text{Formule} = A_0 \times 0.5 \times C = (A_1 \times R_1) + (2 \times A_2 \times R_2 \times \cos T^\circ)$$

Equilibrage dynamique:

Le but recherché sera exactement le même qu'en statique, mais comme la mesure est faite sans le piston et une partie de la bielle, le facteur d'équilibrage F_{dy} sera donc inférieur à F_{st} .

Par exemple pour ce qui est du MATCHLESS G80CS: F_{st} à 75% et F_{dy} à 63.7%.

La définition du déséquilibre est plus précise en mesure dynamique qu'en statique mais elle nécessite un équipement beaucoup plus sophistiqué réservé à des professionnels.

En guise de conclusion:

Avant tout travail sur un vilebrequin, il faudra connaître les données du constructeur en matière d'équilibrage, statique ou dynamique, puis peser chaque élément.
 Après c'est une question de tâtonnement et de pifomètre, sachant que:

- Par rapport à un facteur d'équilibrage d'origine, une augmentation de ce facteur permet des vitesses de rotation plus élevées mais un couple maxi situé plus dans les tours - L'inverse produit des effets inverses.
 - Un allègement du vilebrequin permet une augmentation de sa vitesse de rotation, mais accompagné d'un allègement du piston et de la bielle,
 - Une augmentation de la course abaisse la position du couple maximum, une diminution produit l'effet inverse.
- Tout ensuite est une affaire de compromis.....

Jean-Paul ALTAYRAC 1e janvier 2007

Liens vers d'autres pages parlant d'équilibrage:

Données simples:

http://etmoteur.club.fr/500xt_moteur_1_embiellage.htm

<http://eric.cabrol.free.fr/Moteur/equilibrage.html>

Cours en pdf sur l'équilibrage des machines, plus compliqué:

<http://lcsm.epfl.ch/webdav/site/lcsm/users/136756/public.pdf>

www.motos-anglaises.com est une coopérative Internet dédiée à la moto classique d'outre manche, un espace de liberté où tous apportent leur grain de sel. Nous aimons les motos anglaises de tradition, les pannes au bord de la route, les tâches d'huile dans notre garage ...
Nous souhaitons partager nos connaissances dans la convivialité (presque toujours), la tolérance (obligatoire) et la bonne humeur. N'hésitez pas à participer à notre [forum](#).

webmestre@motos-anglaises.com

[Accueil](#) [Le forum](#) [Technique](#) [Album photos](#) [Catalogues](#) [P. Annonces](#) [Restauration](#)
[Participants](#) [Liens](#) [Humour](#) [Manifs](#) [Agenda](#)

Les documents présentés sur ce site sont, à notre connaissance, passés dans le domaine public du fait de leur ancienneté et donc libre de droit. Si par erreur nous utilisons des documents avec des droits d'auteur merci de nous le signaler et nous retirerons ces documents ou indiquerons leurs auteurs. Merci