

L'ART MYSTIQUE DU RÉGLAGE DE LA DISTRIBUTION

Ce texte est issu de pages « technique » de Moto-Technique et dont les numérisations m'ont été données par « M.C.T. » en août 2005. La traduction est parfois nébuleuse : je l'ai laissée tel quel. Il s'appuie sur les moteurs Ducati mais paraît valable pour tout moteur. Les NDLR sont en italique bleu (NDLR).

Avec un peu de retard, Stéphane Troncard nous livre la suite de ses réflexions sur le calage de la distribution. Après les considérations techniques et théoriques, il aborde la phase pratique, avec les différentes façons d'écrire et de mesurer l'opération. Comme d'habitude, le texte standard constitue la traduction de la prose de Peter Shearman, et le texte en italique les notes personnelles de Stéphane.

Avant d'aller plus avant, il est important de noter que le calage peut être affecté par un profil de came abîmé, un culbuteur ou son profil abîmé, un siège de soupape endommagé, trop de jeu, etc. Assurez-vous donc que tout ce qui est décrit ci-dessus est en bon état et avec les valeurs données par l'usine pour avoir la meilleure précision dans le calage et sa lecture.

Le but de cet article est de vous guider dans la mesure du calage de la distribution de votre moto de route avec un haut degré de précision. Si vous réalisez le calage de votre moto de piste, alors vous aurez besoin de passer un plus grand nombre d'heures de recherche et de travail avec une plus grande précision encore, afin de tirer la quintessence de votre moteur. Il faudra aussi passer la moto au banc car la meilleure théorie se vérifie toujours par des faits. *Ceux qui ont déjà donné savent de quoi je parle.*

Il y a 3 principales méthodes pour définir et mesurer le calage de la distribution et chacune d'elles donnera des résultats différents. Il est important, quand vous définissez un calage, de savoir où il a été mesuré et pourquoi cela a été fait de cette façon et à cet endroit. De bons chiffres de calage ne donneront pas seulement des informations sur les degrés d'ouverture/fermeture mais aussi quels jeux ont été utilisés et/ou avec quelles levées ils ont été mesurés.

OÙ ET COMMENT DEVONS-NOUS EFFECTUER LES MESURES ?

Le début et la fin d'un profil de came consistent en l'ouverture et la fermeture progressive de la soupape par des rampes. Si vous tentez d'avoir une accélération trop forte de la soupape (soit une levée trop rapide), cela induira des contraintes très élevées dans tout le système de distribution. Ceci se voit plus nettement sur un moteur où les soupapes sont rappelées par des ressorts car l'inertie du ressort se rajoute à celle de la soupape (*et où l'effort du système de distribution doit vaincre l'effort exercé par le ressort qui tient la soupape correctement fermée pendant le fonctionnement*).

Pour information, le système desmodromique de nos chères Ducat' a été — entre autre — choisi pour sa faculté à pouvoir donner à la soupape — sans lui imposer de grandes contraintes — des ouvertures et fermetures très rapides — c'est à dire de fortes accélérations — à une époque où les ressorts n'étaient pas fabriqués avec aciers ou alliages performants d'aujourd'hui. Il faut bien reconnaître que c'est quand même un système avec un nombre important de pièces mécaniques en mouvement et légèrement fastidieux à régler, en bref n'appartenant pas à la simplicité même si c'est lui qui est pour forte partie dans l'identité de Ducati (comme Porsche avec la 911).

De la même façon, quand la soupape est presque complètement fermée, vous devez la ralentir doucement afin qu'elle ne joue pas le rôle de marteau avec le siège, ce qui les endommagerait tous les deux. *Ce qui de plus risquerait de créer un rebond de la soupape sur son siège, donc une fermeture incomplète créant des fuites et donnant un mauvais rendement au moteur d'où des performances en baisse par rapport au maxi possible, et ce surtout à hauts régimes.*

Rappelons qu'en deçà de 0,5 mm d'ouverture de la soupape, il n'y a pas de passage de gaz conséquent et que ce n'est qu'à partir de cette levée que nous entrons dans le « vrai » profil de came avec un passage des gaz suffisant.

1 CALAGE AVEC LE JEU DE FONCTIONNEMENT

C'est lorsque les chiffres de calage sont donnés par le constructeur avec le jeu normal de fonctionnement entre le culbuteur et la soupape. Le temps d'ouverture est mesuré quand le jeu entre le culbuteur et la soupape devient nul et qu'elle commence juste à s'ouvrir. Inversement le temps de fermeture est donné quand la soupape a juste touché son siège avant qu'il y n'ait le moindre jeu entre elle et le culbuteur.

Essayer de mesurer le moment exact où la soupape commence à s'ouvrir ou termine de se fermer est très difficile avec cette méthode due à la faible levée, ce qui peut donner des valeurs erronées. Les mesures réalisées avec cette méthode sont données en incluant les rampes et non seulement avec le « vrai » profil (*profil « utile »*), et les soupapes ne sont effectivement pas ouvertes à ce point, ce qui fait que les valeurs calculées ne donnent pas une indication réelle sur le potentiel de « respiration » du moteur. Les valeurs d'ouverture/fermeture et de croisement ne sont pas réalistes (*plus importantes que la réalité*), mais sont

utilisées par les constructeurs afin de donner des chiffres plus importants au service publicité et marketing pour les éventuels acheteurs qui pensent que « plus c'est long plus c'est bon » ! (*Le contraire est vrai jusqu'à une certaine limite*).

2 CALAGE AVEC LE JEU DE « VÉRIFICATION »

Une façon plus réaliste de mesurer les différents temps est de le faire avec un jeu soupape/culbuteur de 1 mm car à ce point nous avons dépassé la rampe et nous nous trouvons sur la partie « utile » du profil de came. À cette levée il est facile de mesurer l'angle exact où la soupape commence à bouger. De plus cette méthode donne des résultats plus réalistes de respiration car la soupape est suffisamment ouverte pour permettre un passage des gaz significatif et suffisant.

La façon « standard » de procéder est de régler le jeu soupape/culbuteur à 1 mm (*moteur froid bien évidemment*). Ce chiffre de 1 mm est un standard du calage de la distribution et si aucun chiffre spécifique n'est mentionné, il est plus sûr de croire qu'il a été mesuré avec cette méthode. Mais méfiez-vous des données (trop) commerciales de l'usine comme défini précédemment.

Si vous utilisez les méthodes 1 ou 2, vous aurez des chiffres d'ouverture et de fermeture pour chaque soupape. Ils pourront être directement comparés avec les données du constructeur pour savoir si votre moteur est calé correctement, avec de l'avance ou avec du retard.

Si vous n'êtes pas convaincu de la correspondance des résultats obtenus et de vos cames, alors de simples calculs, comme définis précédemment, vous donneront la durée de d'ouverture de la soupape et le point théorique de levée maxi. Afin de vérifier ces chiffres ou si vous n'avez pas confiance dans les données de l'usine pour vos cames, vous devez utiliser la méthode 3, en passant par le point de levée maximum.

3 CALAGE AVEC « L'ANGLE DE SOMMET DE CAME »

Si vous n'avez pas de chiffres constructeur pour vos cames, alors la façon la plus précise de mesurer votre calage est au point de levée maximale. Ce point est très facile à déterminer sans changer la valeur du jeu soupape/culbuteur, tout comme il est très facile de déterminer le PMH du piston avec un « truc » pour le faire précisément, car à ces points le piston et la soupape ne bougent pas pendant quelques degrés de rotation du vilebrequin.

C'est aussi la méthode la plus simple si vous recherchez une seule valeur pour chaque came et le point de levée maximale peut être mesuré facilement et précisément. Quand vous obtenez la valeur de levée maximale et l'angle de rotation du vilebrequin correspondant pour chaque soupape d'admission et d'échappement, vous trouvez l'angle de sommet de came (l'ASC) (*ou Lobe Centre Angle LCA*) à l'aide d'un simple calcul car, par définition, il est le nombre de degrés entre le point de levée maxi et le Point Mort Haut (PMH) (ou Top Dead Center).

Si les profils de came sont symétriques, alors les ASC des soupapes d'admission et d'échappement sont égaux, c'est à dire que le point milieu entre le point de levée maxi des soupapes d'échappement et d'admission correspondra au PMH de l'échappement pour un moteur « calé à zéro ».

Si la valeur obtenue est avant le PMH alors le calage est avancé, c'est-à-dire que les soupapes s'ouvrent plus tôt que spécifié. Si la valeur obtenue est après le PMH alors le calage est retardé, c'est-à-dire que les soupapes s'ouvrent plus tard que spécifié.

Il est à noter que pour certains moteurs spéciaux (préparés ?) le profil de came n'est pas forcément symétrique : alors les ASC ne seront pas tous équivalents (Consulter les valeurs de calage du constructeur pour plus d'informations).

Avant de commencer les mesures vous aurez besoin d'un équipement particulier afin de réaliser le travail correctement :

- Un grand disque gradué en degrés avec un perçage central de 8mm
- Un outil pour faire tourner le vilebrequin
- Un pointeau fixé au moteur (*un morceau de fil de fer assez gros par exemple, fixé en un point fixe du moteur pour servir de repère zéro avec le disque gradué*)
- Un outil « à blocage positif » pour trouver le PMH (voir explications au paragraphe suivant)
- Trois comparateurs à tige rentrante avec leur support de fixation au moteur (*attention aux embases magnétiques qui sont inefficaces sur les alliages d'aluminium, pensez-y !*). Si vous n'en possédez qu'un seul, cela peut suffire.
- Une calculatrice (*ou une règle à calcul pour les plus anciens d'entre nous !*)

31 TROUVER LE PMH EXACT

Avant de commencer, vous aurez besoin de déterminer précisément le PMH afin de caler exactement le disque gradué. Au PMH le piston est «virtuellement stationnaire» mais le vilebrequin peut tourner de quelques degrés dans chaque sens, ce qui fait que les mesures effectuées comme ceci (piston libre) ne seront pas suffisamment précises pour le calcul de votre calage. Une des façons les plus précises est d'utiliser un outil «à blocage positif» (*un bloque-piston*)

L'idée maîtresse pour cet outil est de pouvoir bloquer le piston au maxi de sa course, juste avant et juste après le PMH et de relever les 2 positions correspondantes sur le disque gradué. Le PMH exact sera situé au centre de ces deux positions. Vous pouvez fabriquer vous-même cet outil avec une vieille bougie par exemple dont vous aurez percé et taraudé le centre en y fixant une vis (réglable en hauteur donc) maintenue en position par un contre-écrou (voir schéma ci-contre).

Fixez le disque gradué en bout de vilebrequin, que vous aurez besoin de tourner plusieurs fois pendant les mesures. Vous pouvez soit utiliser l'outil constructeur, soit passer la 5^e ou la 6^e vitesse et faire tourner la roue arrière. Attachez le pointeau repère à une des vis du carter latéral (par exemple) afin qu'il soit en face du disque.

Enlevez les deux bougies, mettez un des cylindres approximativement au PMH (« à l'œil » à travers le puits de bougie), mettez en place l'outil « à blocage positif » sur ce cylindre. Faites tourner le disque gradué (sans faire tourner le vilebrequin) et/ou ajustez le pointeau repère à 0 et serrez le disque sur le vilebrequin.

Faire tourner doucement le vilebrequin (*forward = sens horaire ? anti-horaire ?*) afin que vous puissiez visser l'outil de blocage jusqu'à ce qu'il touche le piston. Alors, tourner précautionneusement le vilebrequin en sens inverse jusqu'à ce que l'outil touche à nouveau le piston. Notez la valeur angulaire lue sur la disque. Tourner le vilebrequin (*forward = sens horaire ? anti-horaire ?*) sur un tour complet jusqu'à ce que le piston touche à nouveau l'outil. Notez cette deuxième valeur lue sur le disque. Calculez alors le milieu des 2 valeurs, notez-la et mettez un trait repère sur le disque. Ceci est le PMH réel. Enlevez l'outil de blocage et faites tourner la vilebrequin (*forward = sens horaire ? anti-horaire ?*) sur un tour complet jusqu'à ce que le repère PMH soit exactement en face du pointeau. Votre moteur est alors sur le PMH de son 1^{er} cylindre.

(Stéphane Troncard semble « patiner » dans la notion de forward évoquée par l'auteur original. L'explication se trouve en 341 ci-dessous : il s'agit du sens normal de rotation. En tout état de cause, à ce moment, l'idée est de faire faire un aller-retour au vilebrequin entre les 2 points de blocage du piston contre le bloqué-piston).

Vous trouverez peut-être que le repère ne coïncide pas avec le 0° du disque, ce qui est dû au calage approximatif utilisé au début de la méthode. Alors pour se simplifier la vie, tordre le pointeau jusqu'au 0° du disque (**ne surtout pas faire tourner le vilebrequin pour ajuster le 0**).

Effacer toutes les marques faites précédemment.

Afin de vous assurer une dernière fois de la précision de votre PMH, refaites complètement la procédure et vous constaterez (si vous n'avez pas déconné) que le PMH coïncide parfaitement avec le 0°. Si vous pensez que pendant une des opérations le disque a pu tourner par rapport au vilebrequin, alors refaites la procédure complète avant d'aller plus loin ! (**ce qui est fondamental !!**)

Si vous utilisez la méthode avec les jeux de fonctionnement ou celle avec les jeux de vérification, ne calez pas tout de suite votre comparateur. Les valeurs angulaires sont lues au moment où le jeu devient nul pendant la rotation du vilebrequin (*c'est-à-dire au moment exact où le culbuteur vient en contact avec la soupape avec toute l'imprécision de cette méthode !!*).

32 MESURES AVEC LES JEUX DE FONCTIONNEMENT (MÉTHODE 1)

Avant de faire des mesures avec cette méthode, vous devez régler les jeux exacts préconisés par le constructeur.

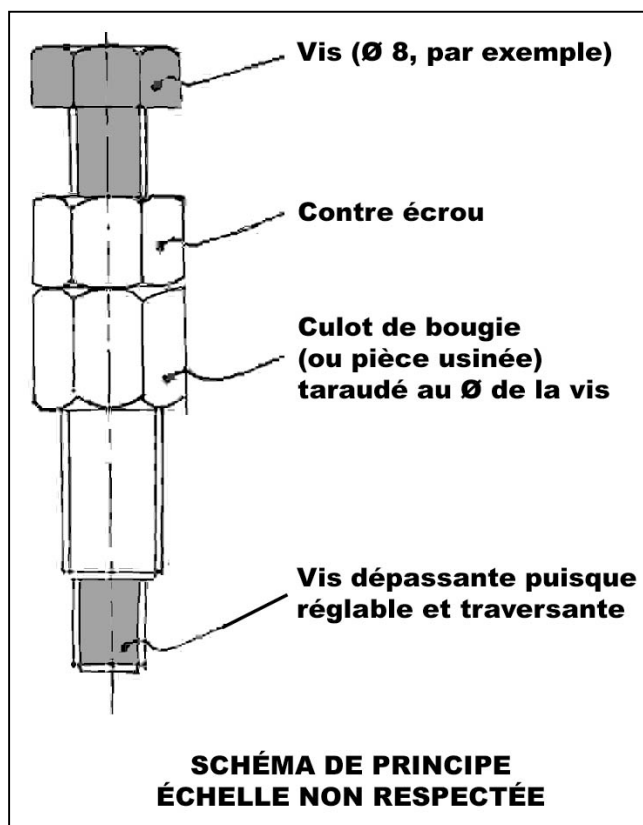
Faire tourner la vilebrequin jusqu'au moment où le culbuteur va bouger, puis continuer à tourner tout doucement jusqu'au moment où le jeu sera réduit à zéro (*contact culbuteur / soupape*). Notez la valeur lue sur le disque qui sera la valeur « d'ouverture de soupape ». Continuer à tourner jusqu'au nouveau contact culbuteur / soupape ; noter cette deuxième valeur angulaire. Comparez les deux valeurs obtenues avec celles du constructeur.

Souvenez-vous que ces valeurs ne sont pas très « réalistes » et très peu précises, et que la méthode de l'ASC — méthode 3 — vous donnera les valeurs les plus précises pour vos calculs.

33 MESURES AVEC LES JEUX DE VÉRIFICATION (MÉTHODE 2)

Il y a deux façons de procéder avec cette méthode :

a) Si vous avez un réglage par écrou/contre-écrou ou des pastilles de calage de différentes valeurs vous pouvez :



- réduire le jeu à 0 et lire les valeurs angulaires pour une levée de soupape de 1 mm,
 - ou mettre directement le jeu culbuteur/soupape à 1 mm et relever les valeurs au moment où la soupape commencera à s'ouvrir ou terminera juste de se fermer
- b) Si vous n'avez pas de pastilles de calage de différentes valeurs, il y a une façon très simple de vérifier le jeu de 1 mm. Commencez par mettre en place une pastille très fine donnant un jeu supérieur à 1 mm et amener le jeu à 1 mm avec des cales d'épaisseur afin d'avoir le jeu exact. Noter l'épaisseur des cales mises en place, enlevez-y 1 mm, vous obtiendrez la valeur réelle du jeu. Avec les cales en place, tourner le vilebrequin jusqu'à temps que les cales glissent juste et relevez la valeur d'ouverture sur le disque. Enlevez les cales d'épaisseur, continuez à tourner le moteur jusqu'à temps que la soupape se ferme et continuez à tourner doucement jusqu'au moment où votre paquet de cales glissera juste dans le jeu et relever à ce moment la valeur de fermeture sur le disque.

Comparez vos valeurs à celles du constructeur (*si celles-ci ont été mesurées avec cette méthode*).

34 MESURES AVEC L'ANGLE DE SOMMET DE CAME (MÉTHODE 3)

Si vous utilisez cette méthode, vous aurez besoin d'un comparateur à tige rentrante (*il vaut mieux en avoir 3 comme indiqué plus haut*). Le pointeau du comparateur devra constamment être en contact avec le dessus de la tige de la soupape (ou du culbuteur) et le comparateur devra être solidement fixé afin qu'il ne puisse pas bouger durant une rotation complète du moteur. Un morceau d'acier plat où 2 trous auront été percés, fixé en lieu et place du cache-culbuteurs fera un excellent support pour une base magnétique.

Ajuster la position du comparateur de manière à ce qu'il puisse mesurer la course complète de la soupape (une course minimum de 15mm suffit).

Trouver le point de levée maxi est un peu la même chose que de rechercher le PMH car à cet endroit, le vilebrequin pourra tourner de quelques degrés sans qu'il y ait mouvement de la soupape.

Tourner le vilebrequin doucement et regarder attentivement le comparateur et noter la valeur maxi lue (*levée maxi de la soupape*).

Prendre une valeur arbitraire de levée inférieure de moins de 0,05mm à la valeur maxi et tourner le moteur sur un cycle complet (*souvenez-vous qu'1 tour d'arbre à cames = 2 tours de vilebrequin*) jusqu'à ce que le comparateur indique à nouveau la valeur choisie. Noter la valeur angulaire correspondante. Continuer à tourner le moteur, passer la valeur maxi jusqu'à ce que le comparateur indique à nouveau la valeur choisie. Noter la 2^e valeur angulaire correspondante. La moyenne de ces 2 valeurs est le point de levée maxi réel.

341 EXEMPLE DE LEVÉE MAXIMALE

L'exemple suivant montre les valeurs effectuées par cette méthode sur la 900SS à couples coniques de Peter Shearman, avec un décalage arbitraire de 0,02mm en retrait de la valeur maxi.

Prenez toutes les mesures avec le moteur tournant en sens normal (sens horaire quand vous êtes coté droit de la moto, c'est à dire que le moteur tourne dans le même sens que les roues pour les SS modernes, en sens inverse pour celles à couples coniques).

Admission cylindre vertical (valeurs brutes) :

- Ouverture à environ 45° avant PMH (AOA = 45°)
- Angle de levée maxi à environ 107° après le PMH (mesure visuelle sans précision)
- Avant valeur -0,02 mm : levée maxi à 85,5° après le PMH
- Après valeur -0,02 mm : levée maxi à 123,5° après le PMH

La valeur de levée maxi est donc obtenue à $123,5^\circ - 85,5^\circ = 38^\circ$ d'arbre à cames, soit 19° de vilebrequin.

Le point de levée maxi est donc à $123,5^\circ - 19^\circ$ ou $85,5^\circ + 19^\circ = 104,5^\circ$ après le PMH

Échappement cylindre vertical (valeurs brutes) :

- Ouverture à environ 67° avant PMB (AOE = 67°)
- Angle de levée maxi à environ 83° avant le PMH (mesure visuelle sans précision)
- Avant valeur -0,02 mm : levée maxi à 107,5° avant le PMH
- Après valeur -0,02 mm : levée maxi à 65,5° avant le PMH

La valeur de levée maxi est donc obtenue à $(107,5^\circ - 65,5^\circ) / 2 = 21^\circ$ de vilebrequin.

Le point de levée maxi est donc à $107,5^\circ - 21^\circ$ ou $65,5^\circ + 21^\circ = 86,5^\circ$ avant le PMH

Nous pouvons maintenant extraire de ces 2 chiffres calculés le type de cames montées sur la machine.

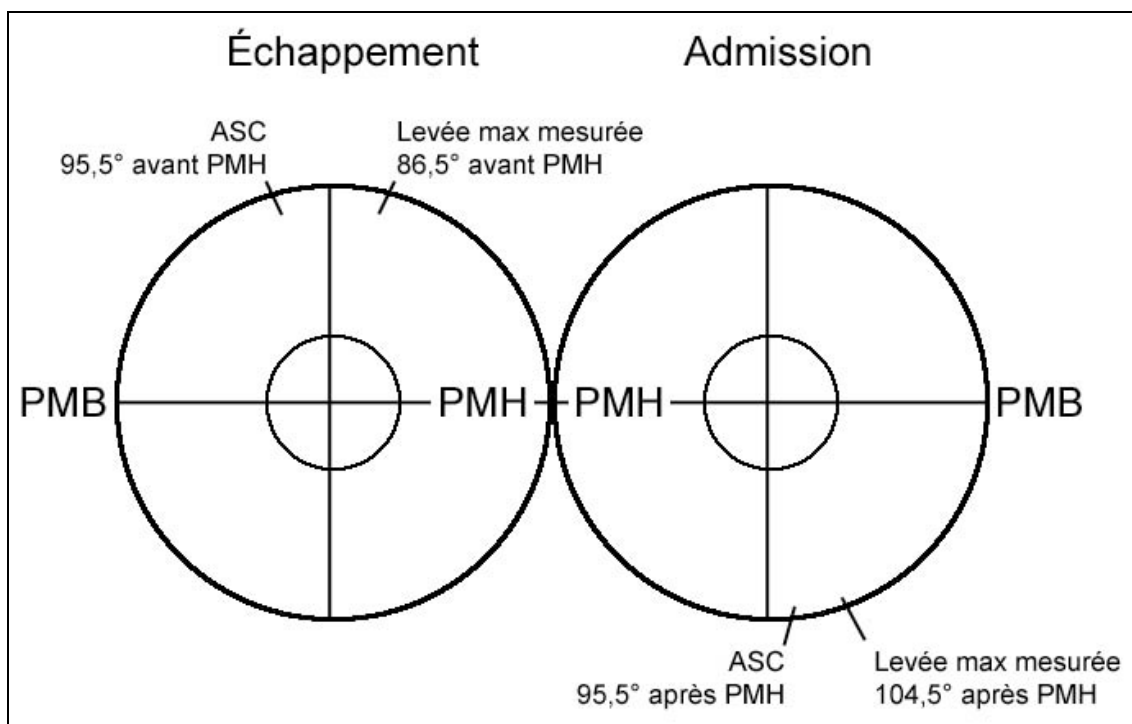
L'ASC (Angle de Sommet de Came) pour le cylindre vertical est égal à :

$$(\text{angle de levée maxi à l'admission} + \text{angle de levée maxi à l'échappement}) / 2$$

soit dans ce cas $(104,5^\circ + 86,5^\circ) / 2 = 95,5^\circ$ soit environ 96° pour le cylindre vertical.

Comme vu précédemment, les points de levée maxi doivent être symétriques par rapport au PMH, ce qui fait que maintenant, nous pouvons calculer si le calage est avancé ou retardé et de combien de degrés.

Le schéma suivant montre la différence entre les valeurs mesurées et celles théoriques (l'ASC) pour un calage standard avec des AàC égaux.



Le calage du cylindre vertical est donc :

- Angle de levée maxi à l'échappement - ASC calculé = $86,5^\circ - 95,5^\circ = -9^\circ =$ calage en retard de 9°

ou

- ASC calculé - angle de levée maxi à l'admission = $95,5^\circ - 104,5^\circ = -9^\circ$

Un calage retardé signifie que les soupapes s'ouvrent plus tard que si le calage est normal.

Nous allons maintenant effectuer les mêmes mesures avec le cylindre horizontal :

- Angle de levée maxi à l'admission : $93,5^\circ$ après le PMH
- Angle de levée maxi à l'échappement : $99,5^\circ$ avant PMH

L'ASC pour le cylindre horizontal est donc de $(93,5^\circ + 99,5^\circ)/2 = 96,5^\circ$ soit environ 96° aussi : ce sont donc les mêmes arbres à cames sur les 2 cylindres. Ne jamais présumer de cela avant d'avoir mesuré les 2 cylindres car certaines combinaisons étranges sont apparues sur certaines machines (*peut-être dû à la politique de production en fonction du stock présent sur les étagères dont parlait Rory Simpson au sujet des régulateurs*). Ceci peut être aussi dû au changement d'AàC par l'ancien propriétaire dont il ne vous a jamais parlé !

NDLR : si ceci ne peut s'appliquer sur les blocs Guzzi 2 soupapes, cela n'est pas du tout exclu pour les blocs 4 soupapes !

Le calage du cylindre horizontal est donc de $96,5^\circ - 93,5^\circ$ ou $99,5^\circ - 96,5^\circ = 3^\circ$, soit une avance de 3° . Un calage avancé signifie que les soupapes s'ouvrent plus tôt par rapport à un calage neutre.

De ces 2 valeurs d'avance/retard, nous pouvons calculer la différence de calage entre les 2 cylindres de ma 900SS à couples coniques soit :

9° de retard sur le cylindre vertical et 3° d'avance sur le cylindre horizontal nous donnent un décalage de 12° de rotation de vilebrequin !

Ces 12° ne sont pas exceptionnels car certains twins à couples coniques ont été mesurés avec jusqu'à 28° de décalage (*au vilebrequin*) entre les 2 cylindres et ce avec les mêmes différences de calage.

C'est souvent la raison cachée pourquoi 2 motos extérieurement identiques peuvent avoir de grosses différences en vitesse maxi, consommation et forme de la courbe de couple.

Les variations du calage de la distribution affectent aussi sensiblement les valeurs relevées de compression et ceci peut expliquer pourquoi un moteur reconditionné à neuf (cylindres + culasses) peut encore donner une valeur différente de compression pour chaque cylindre.

Maintenant que nous avons fait toutes ces mesures et calculs, vous devez prendre une décision afin de savoir si vous retouchez ou non le calage de votre moto. Cette décision doit prendre en compte les éléments suivants :

- De combien est le décalage entre les 2 cylindres ? Les valeurs données par l'usine sont de 5° . Pour une utilisation routière, je ne toucherais personnellement pas au calage si celui-ci est inférieur à 5° . Théoriquement, plus le décalage est faible, plus le moteur sera « rond ».
- De combien est le décalage par rapport au PMH ? Une fois encore, en utilisant les données usine, je ne toucherais pas au calage — pour une utilisation routière — si celui-ci se trouve à 5° du PMH de l'échappement. Malgré tout, les valeurs

doivent être regardées de façon individuelle pour chaque cylindre car vous pouvez avoir le cas le pire où un cylindre est à $+5^\circ$ et l'autre à -5° , ce qui donne un écart entre les 2 de 10° .

- De quel budget disposez-vous ? Si vous avez une machine à couples coniques à carter carré, il ne vous en coûtera que de la réflexion, de la patience, de l'application et du temps. En revanche si vous avez une machine à courroies et que vous faites faire le travail par un spécialiste, l'addition risque d'être salée !!

Dans tous les cas, faites vérifier vos mesures et calculs par quelqu'un connaissant parfaitement bien les moteurs Ducati.

Au prochain article, nous entrerons dans le vif du sujet en changeant les valeurs de calage mesurées et en trouvant que le moteur tournera plus rond, aura une meilleure compression et aura plus de puissance !!

Bonne lecture, bonne application avec la clé de 12 et à la prochaine.