



# ETUDE D'UN ARBRE A CAMES ET DE SON CALAGE



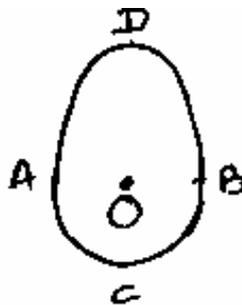
[philippe.loutrel@laposte.net](mailto:philippe.loutrel@laposte.net) - Dec. 1997

Il peut être intéressant de relever les caractéristiques d'un arbre à cames(ac) ainsi que son calage par rapport au vilebrequin pour plusieurs raisons:

- ✓ - *identification de l'ac si le moteur n'est pas de première main*
- ✓ - *vérification des caractéristiques avant un achat*
- ✓ - *vérification du calage réel prenant en compte les jeux dus à l'usure*
- ✓ - *et enfin par simple curiosité et goût de la compréhension pour un amateur de mécanique!*

## Rappel de notions de base

### Levée



La levée est égale à  $OD - OC$ .

Elle est calculable approximativement en mesurant au pied à coulisse CD et AB puis effectuant la différence  $CD - AB$ . Cette mesure n'est pas précise car, en général, OA est légèrement supérieure à OC et on trouve une levée inférieure de quelques dixièmes de millimètres à la levée réelle.

### AOE Avance à l'Ouverture de l'Echappement

C'est le nombre de degrés de rotation du vilebrequin entre le début d'ouverture de la soupape d'échappement, et le point mort bas en fin d'explosion PMBex

### RFE Retard à la Fermeture de l'Echappement

Retard de fermeture de la soupape d'échappement après le point mort haut en fin d'échappement PMHech.

### AOA Avance à l'Ouverture de l'Admission

Avance de l'ouverture de la soupape d'admission avant ce même PMHech. Le croisement de l'ac est égal à  $AOA + RFE$ , nombre de degrés pendant lequel les deux soupapes sont ouvertes en même temps.

### RFA Retard à la Fermeture de l'Admission

Retard de fermeture de la soupape d'admission après le point mort bas en fin d'admission PMBadm.

### Exemples : Moteurs de la série 1600

- Ac du moteur Alpine 1600 S de série (1565cc dit "138cv")  
 $AOE = RFA = 72^\circ$      $RFE = AOA = 40^\circ$     Levée=6.1mm

- Ac de la version 1596cc dite "160cv"  
 $AOE = RFA = 83^\circ$      $RFE = AOA = 53^\circ$     Levée=6.5mm



# ETUDE D'UN ARBRE A CAMES ET DE SON CALAGE



[philippe.loutrel@laposte.net](mailto:philippe.loutrel@laposte.net) - Dec. 1997

## UN PARADOXE

Plus un moteur est "pointu" moins son ac l'est !

En effet, pour obtenir de grandes valeurs de AOA, RFE ... et ainsi améliorer le remplissage à haut régime, les cames d'un moteur poussé ont un profil nettement plus carré que celles d'un moteur standard. Ceci est visible à l'oeil -nu quand les deux ac de l'exemple ci-dessus sont placés côte à côte.

L'usage voulant cependant que l'on parle d'ac "pointu" dans le cas d'un moteur poussé au moins sommes nous maintenant conscients du problème !

D'autre part, plus les valeurs de AOA et RFE sont importantes, plus la période de croisement des soupapes est longue. Ceci est avantageux à haut régime, au détriment du fonctionnement à bas régime.

L'étude du profil des cames en fonction des accélérations maximales tolérables par l'ensemble poussoir+tige+culbuteur+ressorts+coupelle+soupape est complexe et ne sera pas abordée ici. (Voir à ce sujet un excellent ouvrage La Préparation des moteurs, Patrick Michel, ETAI)

## RELEVÉ D'UN ARBRE A CAME DEPOSE

Outillage minimum: Deux supports en V sur lesquels peut tourner l'ac, un comparateur au 1/100mm avec pied (250F l'ensemble) et un disque gradué de 0 à 360 degrés de diamètre 10cm minimum. Ce disque est collé en bout d'ac avec de la pâte à joints, centré sur l'axe, de l'ac mais dans une position angulaire quelconque. Un index, en fil de fer par exemple, est placé sur un support à proximité du disque pour lire les degrés. La tige du comparateur est positionnée au dos d'une came, disons d'échappement, à la verticale de l'axe de l'ac: on s'en assure en faisant glisser légèrement la tige du comparateur de part et d'autre du dos de came et en s'arrêtant quand la lecture est maximale.

Le cadran du comparateur est calé à zéro. On fait tourner l'ac de 5° en 5° et on relève une courbe en forme de cloche.

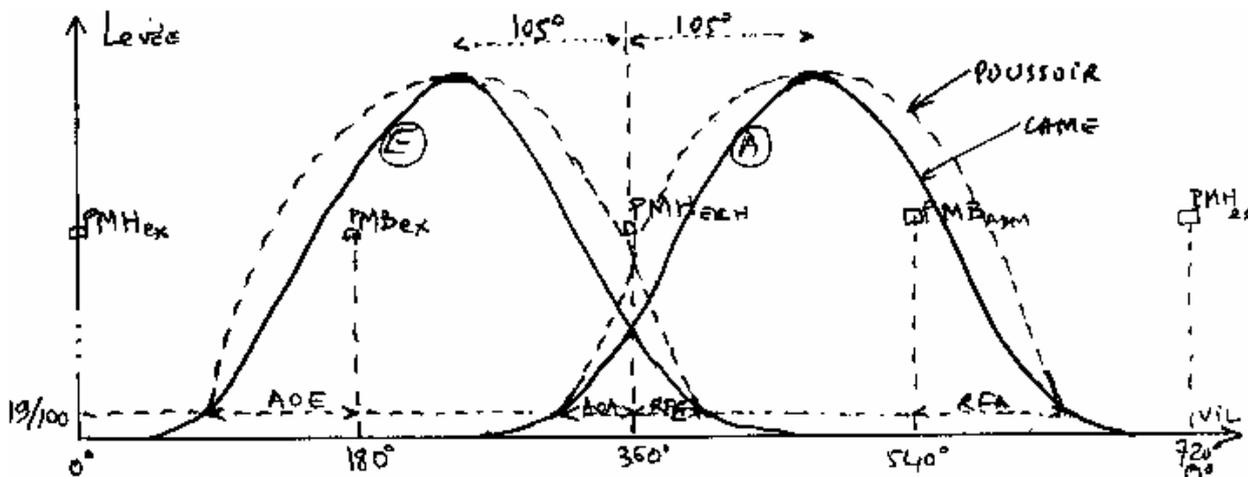
La première vérification à effectuer est que l'on a bien  $(AOE + 180° + RFE) / 2$  entre les points de levée 19/100mm à la montée et à la descente pour les exemples ci-dessus

$$(138cv) \quad (72° + 180° + 40°) / 2 = 146°$$

$$(160cv) \quad (83° + 180° + 53°) / 2 = 158°$$

- On divise par 2 car les angles AO et RF sont en degrés de vilebrequin et à 2 tours de vilebrequin correspond un seul tour d'ac.

- La levée de 19/100mm provient du "jeu théorique" de 30/100mm à la soupape ce qui compte tenu d'un rapport de culbuteur de 1.6 (moteurs 1600) donne  $30 / 1.6 = 19$





## ETUDE D'UN ARBRE A CAMES ET DE SON CALAGE



[philippe.loutrel@laposte.net](mailto:philippe.loutrel@laposte.net) - Dec. 1997

En résumé, les angles AO et RF sont toujours donnés en degrés de rotation de vilebrequin et associés à un jeu conventionnel théorique aux soupapes. Ce jeu peut varier suivant les ac et n'est pas lié aux jeux réels de réglage des culbuteurs.

Après la courbe d'échappement on passe au relevé de la courbe d'admission du même cylindre. Elle est de profil identique à la courbe d'échappement et les deux courbes se coupent exactement au PMHech. Les courbes présentent un axe de symétrie vertical, situé à 105° de part et d'autre du PMHech pour les ac de l'exemple (en observant l'ac on constate bien que les deux cames d'un même cylindre font un angle supérieur à 90°)

On notera que la pente du début (ou de fin) de la courbe est faible. Cette portion est appelée **courbe de silence**. Une rotation de plusieurs degrés ne produit qu'une faible levée (5°ac pour 6/100mm). Une petite imprécision sur la levée entraîne une grande imprécision sur les degrés de rotation. On en reparlera plus loin.

On reprendra le tracé de la courbe de façon plus fine dans cette partie, par exemple de 0 à 40/100 de levée à raison d'un point par 1/100mm.

On notera aussi que la courbe est **plate** en son sommet sur plusieurs degrés de rotation indiquant ainsi que la pointe de la came est un arc de cercle.

Un jeu excessif aux soupape se représente par une montée de l'axe horizontal, c'est à dire une diminution de toutes les valeurs AO et RF ainsi que de la levée, d'où une perte de performances.

Une fois les deux courbes relevées, on trace le PMHech à leur intersection et par décalages successifs de 180° vers la droite, les PMBadm, PMHex et PMBex.

---

### RELEVÉ SUR LE BLOC MOTEUR CULASSE DEPOSEE

La tige du comparateur est réglée perpendiculaire au plan du joint de culasse. Le disque gradué est collé sur la poulie en bout de vilebrequin ou, de préférence, sur le volant moteur si celui-ci est accessible.

Pour les moteurs 1600, les courbes relevées sont identiques à celles ci-dessus mais **en avance** de 25°(ac) par rapport au point mort du repère de la poulie de vilebrequin : la raison en est l'inclinaison de 25° des poussoirs dans la culasse, nécessaire à l'alignement avec les tiges de culbuteurs.

---

### RELEVÉ CULASSE EN PLACE

La tige du comparateur est réglée parallèle à la queue de soupape et repose sur la coupelle du ressort à proximité du nez de culbuteur. La soupape étant en position fermée (poussoir sur le dos de came), on supprime le jeu de fonctionnement avec la vis de réglage du culbuteur en imposant même une légère **ouverture** de 1/10mm environ à la soupape.

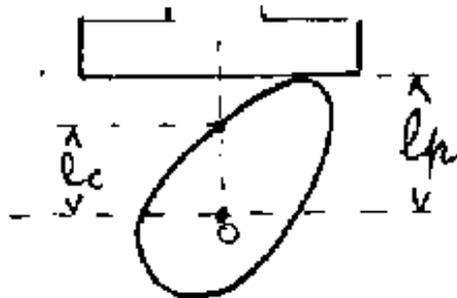
Le cadran du comparateur est calé à zéro. Le PMH est repéré à la poulie, ou mieux, par deux mesures au comparateur à l'aide d'une pige dans un trou de bougie: on note les angles correspondants respectivement à 1 mm avant et après le PMH. La bissectrice fournit la position angulaire exacte du PMH.

On relève les courbes avec un point tous les 5° avec une attention particulière lorsqu'on atteint le jeu théorique soit 30/100mm de descente à la soupape. Et là, surprise ! Ce relevé culasse en place fournit deux courbes très différentes, englobant largement les précédentes, avec comme seules parties communes le début, le maximum et la fin. L'explication provient de la position du point de contact de la came avec le plateau du poussoir : la levée du plateau  $l_p$  est toujours **supérieure** (ou égale) à la levée  $l_c$  mesurée précédemment, c'est à dire à la verticale de l'axe de l'ac.



## ETUDE D'UN ARBRE A CAMES ET DE SON CALAGE

[philippe.loutrel@laposte.net](mailto:philippe.loutrel@laposte.net) - Dec. 1997



La différence entre  $l_c$  et  $l_p$  peut être de du simple au double vers le milieu de la montée (ou de la descente). Les accélérations réelles pendant l'ouverture et la fermeture sont donc bien supérieures à ce que l'on aurait déduit de l'examen des seules courbes relevées directement sur l'ac.

### UN PIEGE A EVITER

Ne jamais effectuer un relevé culasse en place en réglant le jeu théorique (ici 30/100) avec une cale entre soupape et culbuteur car on trouve alors systématiquement des AO et RF trop faibles, le jeu réel étant **toujours** supérieur au jeu théorique. Les causes d'erreur sont en effet multiples :

- ✓ *Jeu lié à l'usure du culbuteur sur son axe*
- ✓ *Articulations entre poussoir, tige et culbuteur de profil complexe et variable avec la hauteur de levée*
- ✓ *Inclinaison importante et variable de la tige par rapport à l'axe longitudinal du culbuteur, en particulier celui d'admission*
- ✓ *Trajectoires circulaires de faible rayon pour les deux extrémités du culbuteur*
- ✓ *Profil du nez de culbuteur attaquant la queue de soupape*

et il reste la cause principale d'erreur qui est l'appréciation très suggestive du niveau de serrage de la cale: « gras », « juste serrée », « serrée », « très serrée » ... on évolue dans un flou qui se traduit par un excès de jeu typiquement compris entre 5 et 10/100mm.

Or 10/100 dans la rampe de silence correspondent à plus de 12° de vilebrequin, pratiquement la différence entre les ac des moteurs 138cv et 160 cv de l'exemple.

On comprend maintenant la raison de la mise en ouverture des soupapes d'environ 1/10mm avant les mesures : il n'y a plus de jeu à "régler" avec des cales d'épaisseur et de plus les came, poussoir, tige, culbuteur et queue de soupape restent en contact permanent pendant toute les mesures, ce qui élimine, ou minimise, plusieurs sources d'erreur.

Si l'on dispose d'un deuxième comparateur avec pied, il est intéressant de le monter sur l'extrémité du culbuteur, coté tige, et parallèle à celle-ci. Pour un angle donné, en divisant les valeurs lues sur chaque comparateur, on en déduit le bras de levier du culbuteur (1.6 en théorie).

Pour les faibles levées (< 50/100) il est surprenant de constater que cette valeur évolue de 1.2 à 1.6, probablement en raison des sources d'erreurs énumérées ci-dessus.



# ETUDE D'UN ARBRE A CAMES ET DE SON CALAGE

[philippe.loutrel@laposte.net](mailto:philippe.loutrel@laposte.net) - Dec. 1997



---

## CALAGE DE DISTRIBUTION

Outre la connaissance des caractéristiques de l' arbre à cames, le relevé sur culasse permet de vérifier le calage de la distribution en conditions réelles : tous les jeux dus à l'usure sont pris en compte, ainsi que les éventuels défauts de positionnement à la fabrication des quatre rainures de clavette usinées dans l'ac, le vilebrequin et leur pignons respectifs.

En effet, à un décalage de 15/100mm sur la rainure de clavette de l'ac correspond environ 2° de vilbrequin.

On profitera de la présence du comparateur pour "s'étalonner" sur les appréciations de serrage de la cale (réglage classique du jeu de fonctionnement). On découvrira alors qu'un jeu réel correct correspond à un passage de cale entre culbuteur et queue de soupape plus que ferme.

---

## CONCLUSION

Ce qui précède permet d'apprécier l'importance d'un bon réglage du jeu aux soupapes : quelques centièmes en trop et ce sont de précieux(et chers) degrés d'avance à l'ouverture **et** de retard à la fermeture qui sont perdus, peut être à l'avantage de la pollution mais certainement au détriment des performances !