

Un dossier DR Mania
<http://drmania.free.fr>

La fabuleuse invention de Monsieur Apfelbeck



Rémi ANTOINE - 2006

SOMMAIRE

CHAPITRE 1 : GENERALITES	3
CHAPITRE 2 : DISPOSITION DES SOUPAPES	4
CHAPITRE 3 : APPLICATION DU PRINCIPE APFELBECK	5
CHAPITRE 4 : CONTRAINTES & LIMITATIONS	7
CHAPITRE 5 : FUCHS, LES SORCIERS !	8
BIBLIOGRAPHIE	10

CHAPITRE 1 : GENERALITES

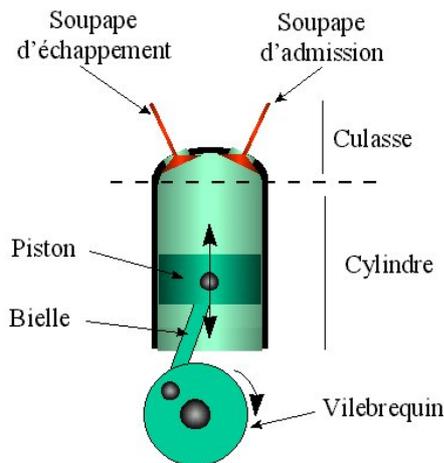
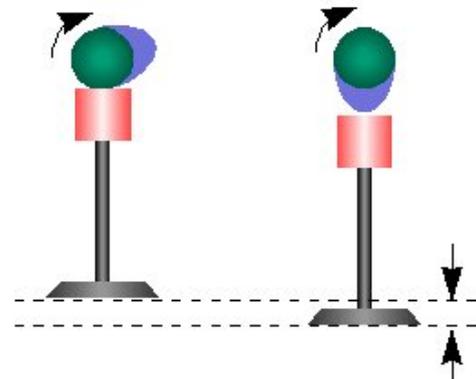


Figure 1 : les différentes pièces d'un moteur 4 temps à explosion

Tu n'es pas sans savoir qu'un moteur 4 temps fonctionne avec ce qu'on appelle une distribution. On dispose de soupapes d'admission et d'échappement qui s'ouvrent et se ferment cycliquement (tous les 2 tours de vilebrequin, du moteur, si tu préfères) afin de permettre respectivement le remplissage du cylindre avec des gaz frais et l'expulsion des gaz brûlés. Très généralement (du moins en automobile), un moteur classique dispose de 2 soupapes par cylindre (ou par piston, comme tu veux, c'est pareil) : une d'échappement et une d'admission. Tu te retrouves donc avec $4 \times 2 = 8$ soupapes en tout (sachant que tu as 4 cylindres).

Ci-contre, voici comment fonctionne l'arbre à came pour ouvrir et fermer les soupapes. Il s'agit, ici, d'une paire de soupapes en tête d'un moteur à 4 soupapes par cylindre.

Fonctionnement de la distribution



Toutefois, ce qui donne de la puissance à un moteur, outre sa cylindrée, c'est l'importance du remplissage en gaz frais du cylindre, c'est à dire la quantité de mélange air/essence qui peut rentrer sur une phase d'admission. De ce fait, si tu augmentes le remplissage, tu augmentes la puissance.

Pour obtenir un meilleur remplissage, il suffit d'augmenter la surface de passage des gaz par les soupapes. Sachant que 2 grosses soupapes se gêne, il est alors judicieux d'en placer 4, plus petites, certes, mais offrant du coup une surface de passage résultante plus importante. Par exemple, une golf GTI "8soupapes" sort 110 cv, le même moteur avec une culasse "16 soupapes" donne 140cv. Il n'y a pas photo!

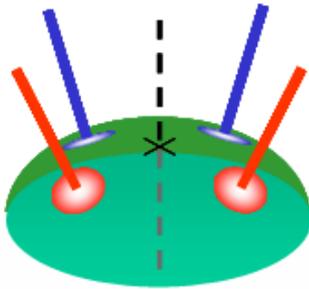
Donc, nous venons d'apprendre qu'une partie de la puissance, entre autre, provient du remplissage optimum du moteur.

Alors, je pressens ta question: "Oui, mais, c'est bien beau tout ça, mais n'y a-t-il pas moyen d'augmenter encore le remplissage (et donc la surface de passage) en jouant sur la disposition de la distribution???"

Et bien, oui, il y a d'autres moyens. Je veux parler de la distribution à soupapes radiales et diamétrales. Ce que je ne manquerai pas de t'exposer dans le second chapitre de la fabuleuse invention de Monsieur Ludwig Apfelbeck...

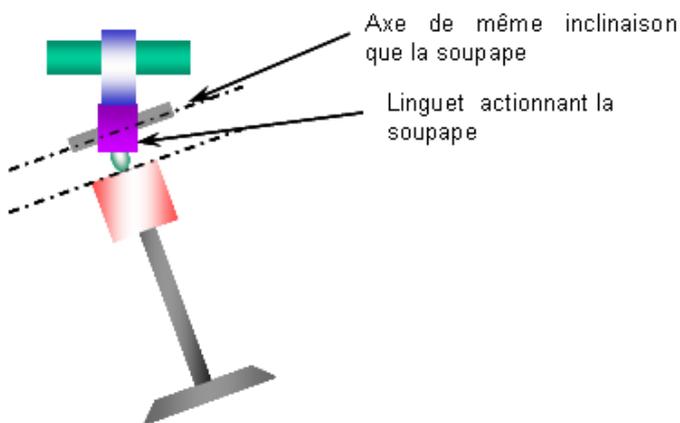
CHAPITRE 2 : DISPOSITION DES SOUPAPES

Nous en étions à nous interroger sur la façon d'améliorer le remplissage de notre cylindre par quelques aménagements de la distribution. Et c'est là que Monsieur Ludwig Apfelbeck a eu une idée de génie.



Pour profiter au mieux de la surface de la culasse (qui est, faut-il le préciser, de forme hémisphérique) il suffisait de disposer les soupapes radialement, c'est à dire inclinées suivant les plans oxz ET oyz si tu préfères (voir figure 3). De ce fait, les soupapes "épousent" idéalement la surface interne de la culasse, et offrent alors une surface de passage encore plus importante (36% de mieux que sur un "2 soupapes" classique).

Pour incliner les soupapes dans 2 directions, sachant que notre arbre à came* est rectiligne, il faut avoir recours à un stratagème! Deux solutions existent:



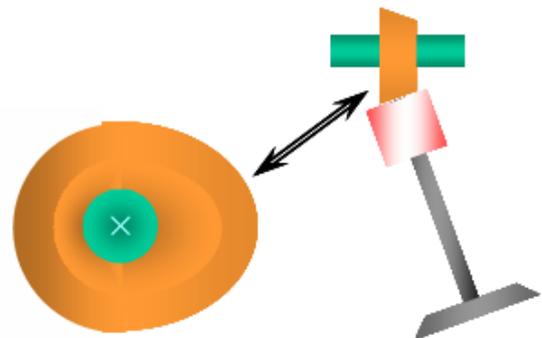
> Soit tu disposes de petits leviers (appelé linguets) renvoyant le mouvement sur les soupapes et dont l'axe est orthogonal à l'axe des soupapes.

Ici, l'inclinaison du linguet du même angle que la soupape permet d'actionner celle-ci dans le sens de son axe, tout en conservant des cames droites.

Cette solution technique existe depuis 85 sur les mono Honda. Actuellement, la Dominator et la XR sont montées de la sorte (la fameuse culasse RFVC).

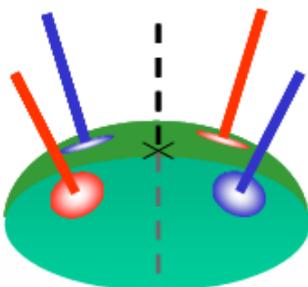
> Soit tu adoptes des cames coniques.

la soupape est «anglée» transversalement au moyen d'une came conique. Ce qui permet de diriger toutes les soupapes vers un même point. Cette solution est adoptée sur les mono Rotax (Aprilia Pegaso, BMW Funduro)



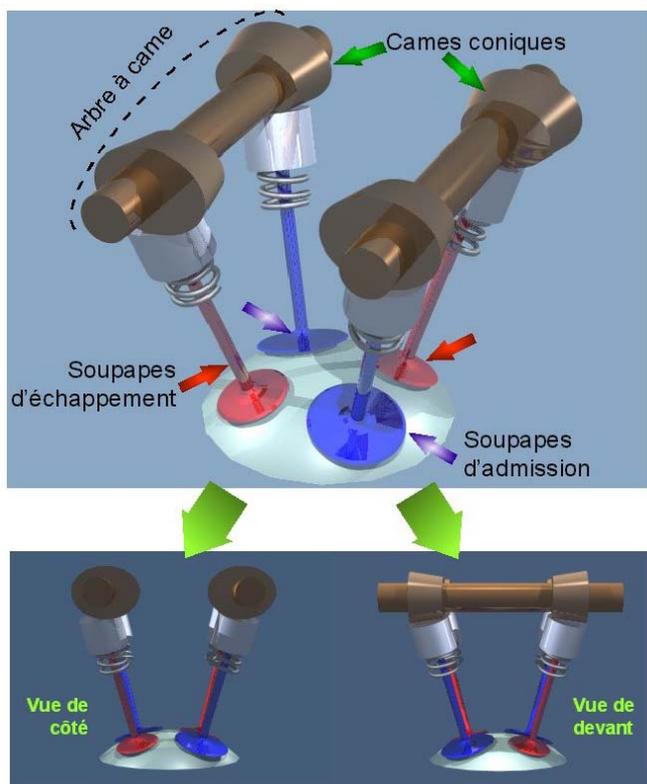
La première solution est assez complexe. De ce fait, Monsieur Apfelbeck pensa qu'il serait judicieux d'employer la seconde!

Donc, cette disposition radiale (les cames coniques, la distribution radiale) est née du cerveau génial de Monsieur Ludwig Apfelbeck. Cependant, ce génial inventeur ne s'est pas arrêté là! Il eût, de surcroît, l'idée de disposer les soupapes de façon diamétralement opposées, en croix si tu préfères:



En effet, sur un moteur "classique", les conduits d'échappement sortent d'un même côté, et l'admission est disposée de l'autre côté. Regarde le moulin de ta bécano pour t'en convaincre!

On appelle cette configuration à soupapes diamétralement opposées une culasse à "4 soupapes radiales diamétrales", et c'est Monsieur Ludwig Apfelbeck qui eut cette géniale idée en 1937, incroyable!



Du coup, avec 4 soupapes radiales diamétrales, tu accrois la surface de passage des gaz de 44% par rapport à un 2 soupapes par cylindre, contre 36%, je te le rappelle, avec un 4 soupapes radiales simple (si j'ose dire!). Si ça ne te rends pas baba tout ça, je ne peut plus rien y faire!!

Alors, là, je t'entends t'interroger sur toute cette belle théorie: "Mais, arrête moi si c'est con ce que je dis, mais c'est bien beau tout ça, mais, en pratique, ça donne quoi??? Non parce que, là, tu me gonfles depuis le début avec ta prose à la limite du compréhensible, alors si en plus ça sert à rien!!!..."

Et bien, si! Toute cette belle technique a trouvé une application, dans des motos, des monocylindres pour être précis.

Parce que, évidemment, ça n'a pas que des avantages. La hauteur et l'écartement des soupapes ne rend pas aisée l'application d'une telle technologie dans le cas de multi-cylindres (plus de un cylindre, donc...) en ligne, c'est à dire avec tous les cylindres alignés (comme ton moteur de Clio). Il n'y a alors pas la place pour loger un tel bastringue!!

Par contre sur un bicylindre en V (comme les Harley), ce système ne pose a priori pas de problème majeur. Toutefois, le monocylindre est la configuration idéale pour accueillir une telle distribution. Surtout que ceux qui l'ont mis au point y ont ajouté un dernier raffinement technique en vue d'améliorer une ultime fois le remplissage...

Mais c'est ce que je t'exposerai dans le chapitre 3. En attendant, je te laisse digérer toute cette prose... Tu verras que la fabuleuse invention de Monsieur Apfelbeck n'aura pas été vaine et n'aura pas seulement alourdi les étagères des centres des brevets! Tu n'imagines même pas la patate que ça doit avoir, un gromono de presque 100 bourrins!!!...

CHAPITRE 3 : APPLICATION DU PRINCIPE APFELBECK

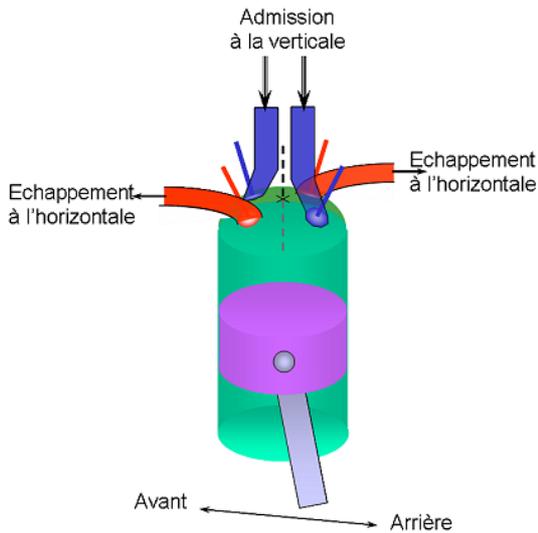
Nous avons vu, dans le précédent chapitre, l'importance de la disposition des soupapes sur la culasse, et que Monsieur Apfelbeck eu une idée de génie en inventant la configuration " radiale diamétrale à 4 soupapes ".

Mais, l'invention de Monsieur Apfelbeck serait-elle rester sans écho, sans concrétisation technique, bref, n'aurait-elle jamais permis de mettre gaz en grand en retenant son souffle et en frottant le genou sur l'asphalte ???

Que nenni, que nenni ! Le concept génial a séduit quelques constructeurs de moteur de moto comme KTM et Rotax. Je dis constructeur de moto, car ce concept ne peut guère s'appliquer que sur un monocylindre, comme nous l'avons expliqué dans le chapitre 2.

Nonobstant son invention en 1937, il fallut attendre 1985 et le proto Rotax pour que la culasse Apfelbeck trouve une application réelle. Comme souvent, les grands génies ne sont pas reconnus à leur juste valeur par leurs contemporains, ils sont en avance sur leur temps.

Mais, avant de voir l'évolution du concept jusqu'à son apogée dans le mono Suzuki-Fuchs, il est bon de mettre à jour une énième spécificité de la culasse de Monsieur Apfelbeck.



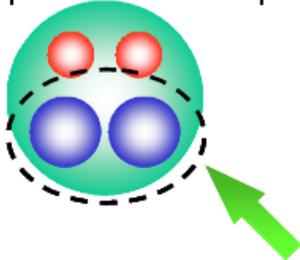
La disposition particulière des soupapes (cf. figure 5) empêche d'avoir l'alimentation (carburateurs ou injection) d'un côté et l'échappement de l'autre. Ce qui a amené le concepteur à adopté un système d'admission (et d'échappement) bien particulier.

Les conduits d'échappement sortent parallèlement au plan de joint de la culasse, l'un en face de l'autre, alors que les conduits d'admission parviennent aux têtes de soupape par une tubulure verticale et quasi rectiligne:

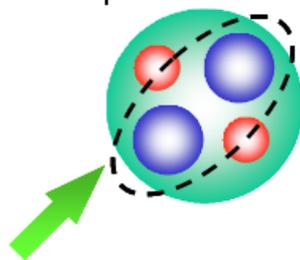
Cette disposition, bien que volumineuse et surtout engendrant une hauteur importante du moteur (ce qui, on le verra, requiert la conception d'un cadre spécifique), propose un avantage de taille. Des conduits d'admission rectiligne et de fort diamètre facilite le remplissage (encore le remplissage...) du cylindre en minimisant les ralentissements dus au coude (et à l'étranglement) de ces conduits. Plus une tubulure est rectiligne et de forte section, plus est aisé le passage du flux gazeux, surtout si celui-ci est rapide (l'expérience montre que la vitesse optimum du flux se situe au environ de 100 m/s pour une alimentation par carburateurs) lorsqu'on sait que la résistance aérodynamique évolue linéairement avec le carré de la vitesse... Cette implantation favorise donc la puissance à haut régime.

De même, l'implantation diamétrale permet d'optimiser la taille des soupapes. En effet, comme tu le sais (!!), les soupapes d'admission sont toujours de taille supérieure à celle d'échappement (le remplissage, toujours le remplissage...).

Implantation classique



Implantation diamétrale



Si tu les implantes de façon diamétralement opposées, tu disposes alors de bien plus de place que si elles étaient côte à côte. Pour t'aider à comprendre, vois la figure ci-contre. Tu peux alors encore augmenter leur diamètre.

Mais, comme nous allons le voir, l'importante section de passage des gaz conjuguée à la linéarité des tubulures n'apporte pas que des avantages.

L'expérience montre que la vitesse optimum du flux, pour une alimentation à carburateurs, se situe aux environs de 100 m/s dans les tubulures d'admission. L'adoption de conduits de forte section rectiligne permet de ne pas dépasser cette vitesse A HAUTS REGIMES, garantissant ainsi un remplissage optimum et une puissance importante. Revers de la médaille, la vitesse du flux à bas régime devient très faible et la dépression résultante dans le venturi des carburateurs est trop faible (il faudra que je pense à faire un cours sur ces incontournables éléments...). Il en résulte un fonctionnement très irrégulier, peu en rapport avec une utilisation routière par exemple.

Dans ce cas, la parade consiste à adopter une injection en place des carburateurs, mais cette solution est plus coûteuse, bien qu'elle tendrait à se démocratiser ces temps-ci !

C'est Rotax, le constructeur autrichien, qui le premier, mis à profit la culasse Apfelbeck sur un mono de 500cc. C'est ce que nous verrons dans le quatrième volet de cette saga !

CHAPITRE 4 : CONTRAINTES & LIMITATIONS

Je t'expliquais précédemment que le modèle avait ses limites. Malgré cela, il reste d'un grand intérêt, surtout dans l'optique d'une utilisation en compétition.



Partant des grands principes de Monsieur Apfelbeck, c'est Rotax, le constructeur de moteurs Autrichien, qui le premier mis à profit la culasse Apfelbeck en 1985. Il s'agit alors d'un monocylindre de 500 cc équipée d'une culasse Apfelbeck et d'une admission centrale verticale. Il était alimenté par 2 pauvres carburateurs Mikuni qui ne supportaient pas une inclinaison de plus de 40°, ce qui obligea à couder les conduits d'admission.

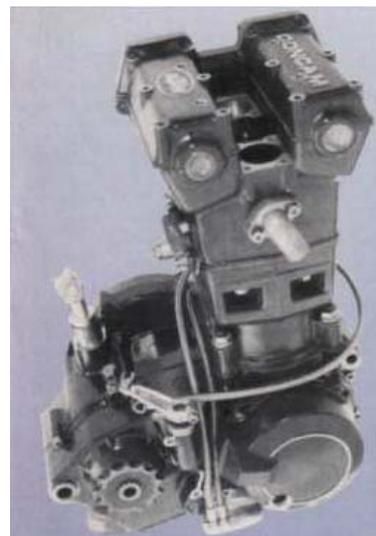
Malgré ces limitations, ce diable de mono sortait 76 cv à 9250 tr/min au banc! Vu la courbe de puissance, il est fort à penser que si le régime moteur avait pu être augmenté, la puissance aurait encore progressé.

La limitation dans ce cas est la vitesse linéaire moyenne du piston. En effet, le piston étant animé d'un mouvement de va-et-vient, celui-ci impose d'énormes contraintes sur sa bielle (cf figure 1). On convient que pour une vitesse linéaire moyenne du piston supérieure à 25 m/s, on quitte les limites de la raison, et au delà de cette valeur, le piston risque raisonnablement de divorcer avec la bielle ! Le résultat n'est évidemment pas très beau, et l'ensemble s'arrête alors brusquement dans un grand bruit de métal tordu ! Notes qu'à cette vitesse, la force de rappel de la bielle sur le piston est de l'ordre de 2 tonnes !!! Ceci explique cela...

Donc, disais-je, dès 85, le concept semble particulièrement viable. Il a d'ailleurs trouvé une application, certes modérée, dans des moteurs de série. En effet, les actuelles Aprilia Pegaso 650 et BMW 650 Funduro sont mues par un Rotax respectivement à 5 et à 4 soupapes radiales. Cependant, l'admission verticale a été écartée au profit de conduits horizontaux coudés. De même, les soupapes, bien que restant radiales, ne sont pas diamétrales.

Ces deux limitations du modèle original sont dictées par la vocation même de ces moteurs. Les conduits d'admission rectilignes (donc l'implantation diamétrale), conjugués à l'emploi de carburateurs, provoquent des irrégularités aux faibles et moyens régimes (voir explications précédemment). Or, pour un moteur de tourisme, ce défaut est rédhibitoire.

KTM poussa le concept plus loin. Ils construisirent un moteur très semblable au Rotax, mais alimenté cette fois-ci par une injection. Malheureusement, l'usine ne donna suite à ces expérimentations et abandonna le projet. Faut-il le préciser, KTM est avant tout un constructeur de motos tout-terrain, et dans ce domaine, des puissances importantes ne sont pas impératives, on leur préfère des caractéristiques de souplesse plutôt que de puissance pure. De plus la hauteur importante, comme on va le voir, d'une telle motorisation est un facteur éliminatoire sur une meule de cross ou d'enduro qui doit présenter une garde au sol maximum et une hauteur de selle minimum. Tu saisis la subtilité ??



De plus, une admission verticale impose de concevoir un cadre périmétrique (c'est à dire qui passe AUTOUR du moteur et non au dessus) et de reporter le réservoir de carburant, habituellement au dessus de la culasse, vers un autre endroit afin de libérer de la place au dessus du moteur pour y caser l'alimentation et la boîte à air (le filtre à air si tu préfères, bien que cette expression soit considérablement réductrice, étant donné l'importance du volume de cette boîte sur le rendement moteur). Il en résulte des coûts de

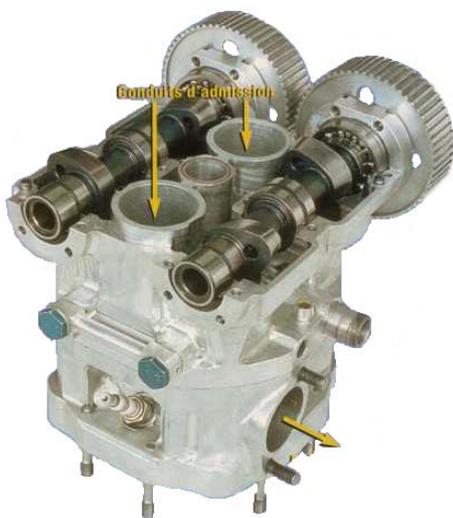
développement importants, et donc un prix de vente élevé. De plus, que veux tu faire de 80cv sur un trail 650 (moi, je saurais quoi en faire, dans le col de Fouchy, par exemple !!) à vocation utilitaire ?

Donc, le sort de la culasse Apfelbeck semblait être scellé. C'était sans compter sur une petite équipe de SoS (Sound of the Single, compétition de mono de vitesse) qui allait remettre au goût du jour le concept. Et quel rebondissement !

Cette petite équipe, c'est le Team Fuchs (des allemands), qui, au milieu des années 90, allait concevoir une pièce d'orfèvrerie... J'annonce métal hurlant ! Ce que je ne manquerai pas de te narrer dès la prochaine et ultime partie de la fabuleuse invention de Monsieur Apfelbeck.

CHAPITRE 5 : FUCHS, LES SORCIERS !

Dans le précédent chapitre, je t'expliquais que le concept Apfelbeck avait été avorté chez la plupart des motoristes qui l'avaient développé (à ma connaissance du moins). Mais ce fut sans compter sur la pugnacité d'un préparateur Allemand, Fuchs, qui remit à la sauce 1996 la culasse de Monsieur Apfelbeck.



Fuchs est parti de la base mécanique de la Suzuki DR750 (moteur quasi identique à celui du DR800, ma moto...) dont il a conservé le vilebrequin (qui est indestructible sur ce modèle) ainsi que tout le bas moteur, l'embrayage et la boîte. Bien.

Par contre, le cylindre et la culasse sont 100% nouveaux. Un nouveau cylindre a été réalisé afin de permettre l'adaptation d'un refroidissement liquide, et évidemment, la culasse reçoit la potion magique Apfelbeck ! Et plutôt deux fois qu'une !

Tous deux sont évidemment taillés dans la masse en utilisant le meilleur aluminium. En gros, tu mets un gros bloc d'alu sur ton tour et ta fraiseuse et tu usines le tout jusqu'à obtenir le morceau requis (les moteurs de série ont leur éléments coulés en fonderie, c'est moins cher en grande série, mais moins " chiadé ", tu t'en doutes !).

Bref, à ce niveau, ce n'est plus de la mécanique, c'est de l'orfèvrerie ! ! Et que dire du résultat ! Incroyable, définitivement radical : du bon gros métal hurlant ! Arghhhh !

La culasse est donc construite selon l'ensemble des principes de ce bon Ludwig : cames coniques, soupapes radiales diamétrales et tubulures d'admission verticales. L'alimentation est confiée comme il se doit à une injection électronique, permettant de régler la carburation aux petits oignons... et de " remplir " convenablement même à bas régime. Les soupapes d'admission atteignent un diamètre de 42 mm contre 35 à l'échappement (40 et 34 d'origine), alors que les cames autorisent d'importante levées de soupapes: 10.5 mm à l'admission comme à l'échappement (à comparer au 8.7 et 8.5 d'origine).



La culasse est farcie de 3 bougies pour un allumage optimum du large front de flamme engendré par le fort alésage de 106 mm du mono. Le vilebrequin, d'origine, offre quant à lui une course de 84 mm, alors que le piston est un élément d'origine (de 106 mm, donc). L'ensemble porte donc la cylindrée à 741cc.

Le piston, comme tu vas voir, est le maillon faible de cette brillante mécanique en raison de son poids important. On peut d'ailleurs raisonnablement s'interroger sur cet étrange choix, alors qu'il existe une pléthore de pistons forgés nettement plus adaptés. Le piston est maintenu au vilebrequin par une bielle Carillo en acier forgé du plus bel effet. Bien.



Un balancier d'équilibrage judicieusement calculé permet au moteur de supporter 9000 tr/min, soit une vitesse linéaire de 25.2 m/s pour le piston. Un rupteur veille à ce que cette limite fatidique ne soit jamais franchie : en effet, lors de la première course de ce moteur, la bielle a cédé sous la contrainte du va et vient frénétique du piston. Quand je te disais que le piston était le maillon faible ! En fait, son poids élevé est un véritable handicap car l'inertie qu'il engendre (et donc les efforts appliqués sur la bielle) est importante et il est un facteur limitant du régime maximum du moteur.

Sur cette première version, Fuchs a réussi à tirer 90cv à 8500 tr/min et 7.8 mkg de couple à 6300 tours ! Si ce n'est pas de la dynamite ça, dis moi ce que c'est !!!! Pour te donner une idée, le 750 Big DR d'origine sort (et encore, selon les données du constructeur) 48 cv à 6600 tr/min et 5.9 mkg à 5500 tr/min, tu vois le fossé !

Je n'ose à peine imaginer l'expédient d'un mono de 90 bourrins monté dans une partie-cycle d'à peine 110 kg. Le moins qu'on puisse dire, c'est que ça doit avoiner sévère !

Les gars de chez Fuchs auraient pu en rester là, mais non ! Ils ont continués leurs folles expériences ! En abaissant le cylindrée à 690cc, il sont parvenus à obtenir 95cv. Ils ont même atteint la limite magique des 100cv... mais pendant 15 secondes au banc ! La bielle a une nouvelle fois céder sous la contrainte du piston, et le berlingot s'est brusquement arrêté dans un grand fracas de métal tordu.





<< Ici le super-mono en course.

Depuis, il est probable que ce moteur ait franchi les 100 cv de façon fiable, mais plus aucune nouvelle n'a été distillée dans la presse des derniers exploits du team Fuchs.

Alors, après toute cette prose, tu te demandes qu'elle est la conclusion de la fabuleuse histoire de la culasse de Monsieur Apfelbeck. Quels enseignements peut-on en tirer ? A quelles applications ces expériences ont-elle données lieu ? C'est ce que je m'efforcerai d'évoquer dans le prochain et dernier épisode de cette grande aventure au pays des soupapes ! A bientôt !

Rémi ANTOINE

DR Mania – <http://drmania.free.fr>

2006

BIBLIOGRAPHIE

- **Moto Journal**, n° 1214, 1996, JF Robert
- **Revue Moto technique**, Entretien et technique de la moto, Ed. ETAI, 1993, pp3-35