COLLECTION
TECHNIQUE&PRATIQUE

La préparation des moteurs 2 temps

Théorie et Pratique DES MOTEURS 2 TEMPS

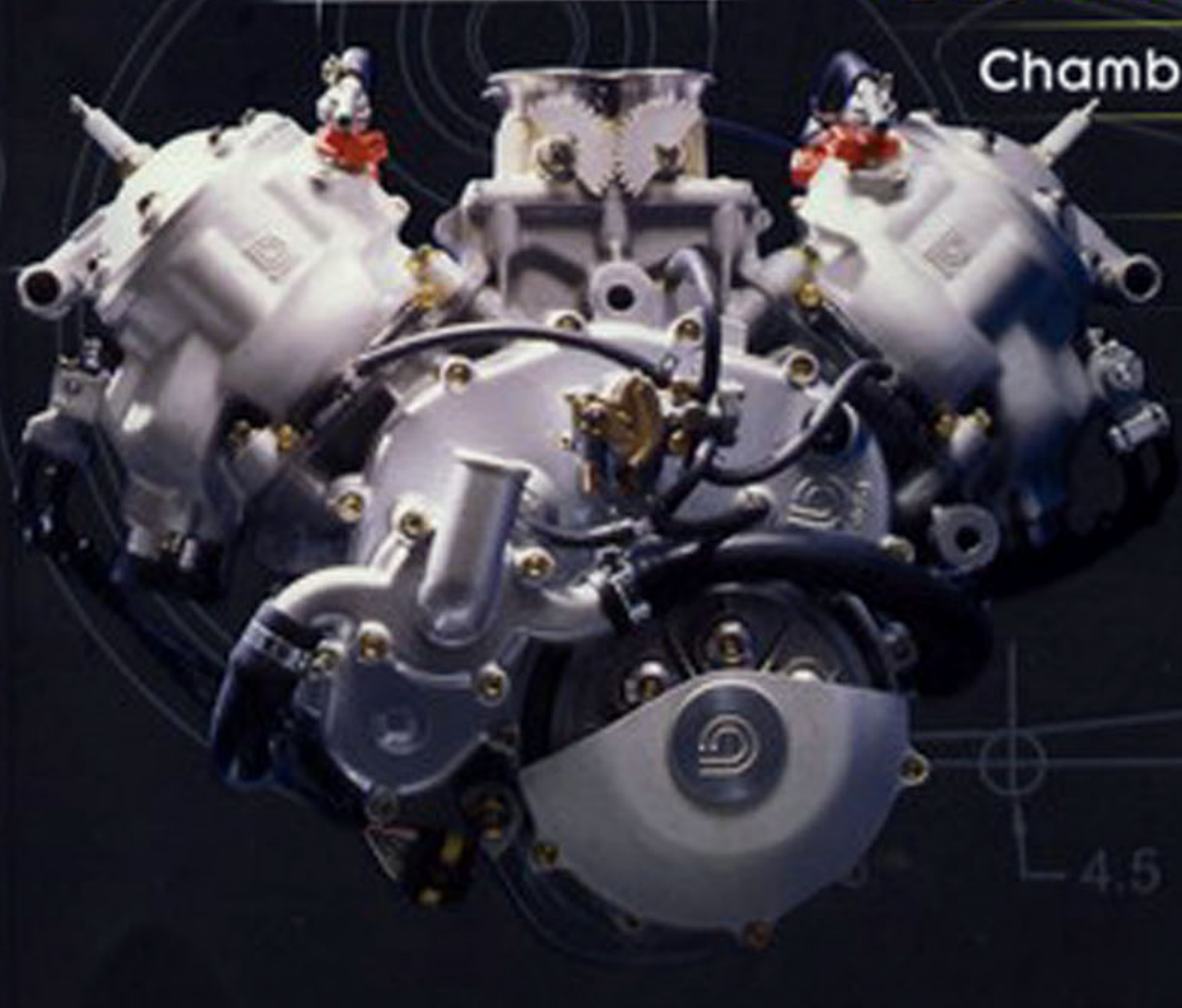
Chambre de combustion

échappement

carburation

transferts

injection



La préparation des moteurs 2 temps

CHAPITRE 1

FONCTIONNEMENT

La conception d'un moteur deux temps

1

Principes de fonctionnement d'un moteur deux temps

Dans le principe, on peut considérer qu'un moteur deux temps est environ moitié plus simple qu'un moteur quatre temps à deux soupapes par cylindre. Ce qui, du point de vue purement mécanique, se traduit par une vingtaine de pièces en moins, sans compter la visserie.

2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16

Un piston, relié au vibrequin par l'intermédiaire d'une bielle, se déplace dans un cylindre. Dans son mouvement, il accomplit alternativement deux opérations. Dans sa course montante, le piston comprime le mélange et le prépare à l'allumage. En même temps, il crée une dépression dans le carter qui permet d'aspirer un nouveau mélange frais par le carburateur. Après l'allumage et dans la course descendante, le piston transforme la pression sur sa surface en travail utile. Simultanément, il découvre la lumière d'échappement par laquelle s'échappe les gaz de combustion et il comprime le mélange contenu dans le carter. Ce mélange ainsi comprimé passe par les transferts et se retrouve dans le cylindre où il effectue un travail de balayage. Ce travail consiste à chasser les derniers résidus de la combustion précédente et à remplir la chambre de combustion de mélange frais. Puis le piston remonte, les lumières se ferment, le mélange se comprime et le cycle recommence.

L'ensemble de ces opérations s'effectue durant l'espace d'une montée et d'une descente de piston, d'où la dénomination de "deux temps" attribuée à ce type de moteur. Jusqu'ici, les choses sont donc relativement simples. C'est lorsque l'on cherche à améliorer cette apparente simplicité que les problèmes commencent. Car plus le nombre de pièces sollicitées et de phases est faible, plus les phénomènes qui gèrent le fonctionnement d'un système s'avèrent complexes. Et comme sur un moteur deux temps il existe de nombreuses interdépendances entre les différentes phases, le plus petit détail influence tout le processus. Cet avertissement est donc très important et il ne faudra jamais plus l'oublier tout au long de la lecture de cet ouvrage.

En théorie, un moteur deux temps caractérisé par seulement deux phases devrait fournir, à régime de rotation et à cylindrée égales, une puissance deux fois supérieure à celle d'un quatre temps. Dans la réalité, ceci ne se vérifie quasiment jamais. Le deux temps a en effet un rendement thermique, mécanique et volumique inférieur à celui d'un quatre temps. De plus, même si l'on prend en compte sa puissance spécifique très élevée, il faut tenir compte du facteur consommation qui n'est pas franchement en faveur du deux temps qui consomme pratiquement deux fois plus. En fait, l'intérêt d'un deux temps moderne réside dans le fait qu'il se comporte, sous certains aspects, comme un moteur suralimenté. Cet effet de suralimentation est dû à une série de phénomènes parmi lesquels la résonance qui se produit dans le collecteur et le carter. Il est surtout la conséquence d'un système d'échappement efficace qui, en plus d'aider à l'extraction des gaz brûlés, facilite l'aspiration du mélange frais dans le cylindre tout en empêchant à ce même mélange d'être évacué directement à l'extérieur sans avoir été brûlé. Ces phénomènes ne durant que quelques millièmes de secondes, on imagine aisément le degré de difficulté d'une intervention.

Aujourd'hui, un monocylindre 125 cm³ de série atteint facilement 30 à 35 ch. soit une puissance spécifique de 280 ch./l. Par comparaison, un moteur de compétition similaire revendique 420 ch. Sachant qu'un deux temps autorise une explosion à chaque tour contre une explosion tous les deux tours pour un quatre temps, le rendement « comparé » d'un deux temps retombe à 420/2 = 210 ch/l. Et lorsque l'on rapproche ce chiffre des puissances spécifiques revendiquées aujourd'hui par les F1, on se rend alors compte que la comparaison n'est vraiment pas favorable aux deux temps.

En enduro et en motocross, où les quatre temps gagnent de plus en plus souvent contre les deux temps, les puissances sont équivalentes avec l'avantage d'une courbe de puissance beaucoup plus utilisable, même si les quatre temps doivent prendre plus de tours. Enfin, si le quatre temps est plus coûteux et complexe, sa longévité est supérieure et il nécessite moins d'entretien, ce qui permet de faire une saison quasi complète sans intervention majeure.

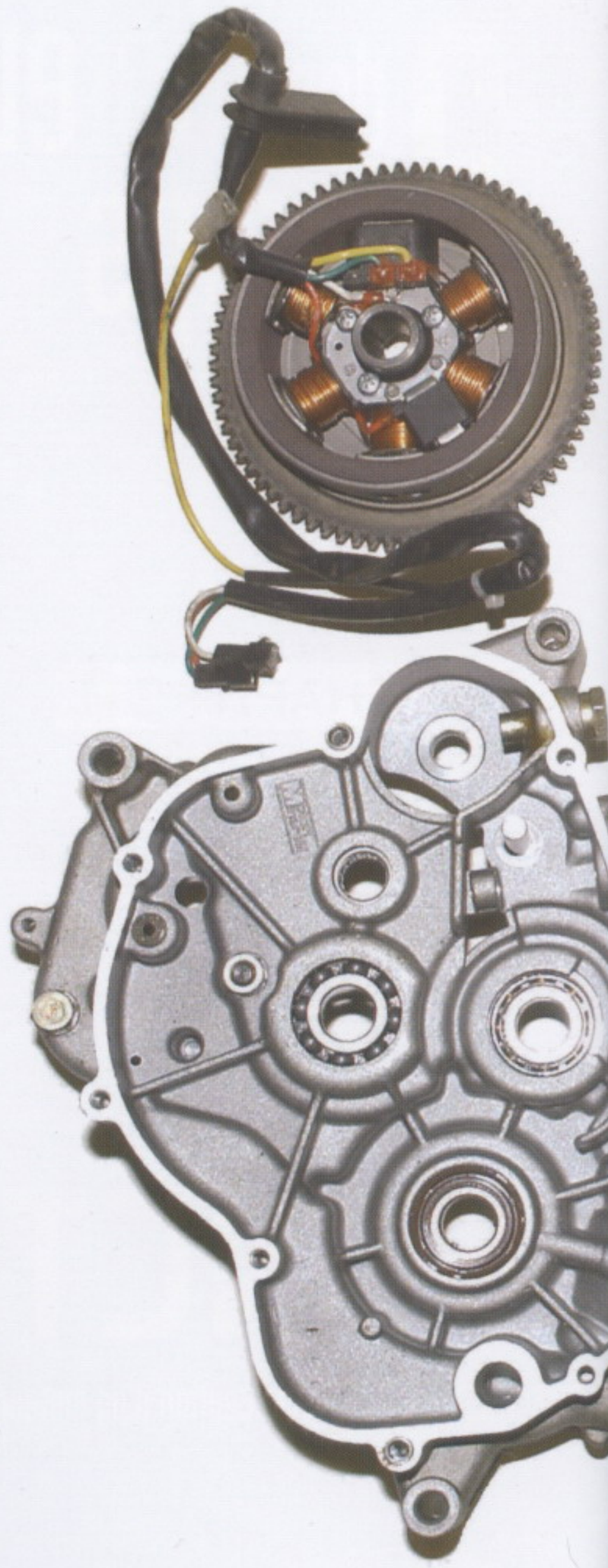
LA CONCEPTION D'UN MOTEUR DEUX TEMPS

À ce stade, on comprend déjà que la conception et la mise au point d'un deux temps ne sont pas exactement la tâche simple à laquelle on s'attendait. Si des années de pratique et beaucoup d'intuition peuvent parfois suppléer les connaissances physiques et mécaniques les plus élémentaires, elles ne sont malheureusement pas suffisantes lorsque l'on s'attaque à des moteurs poussés.

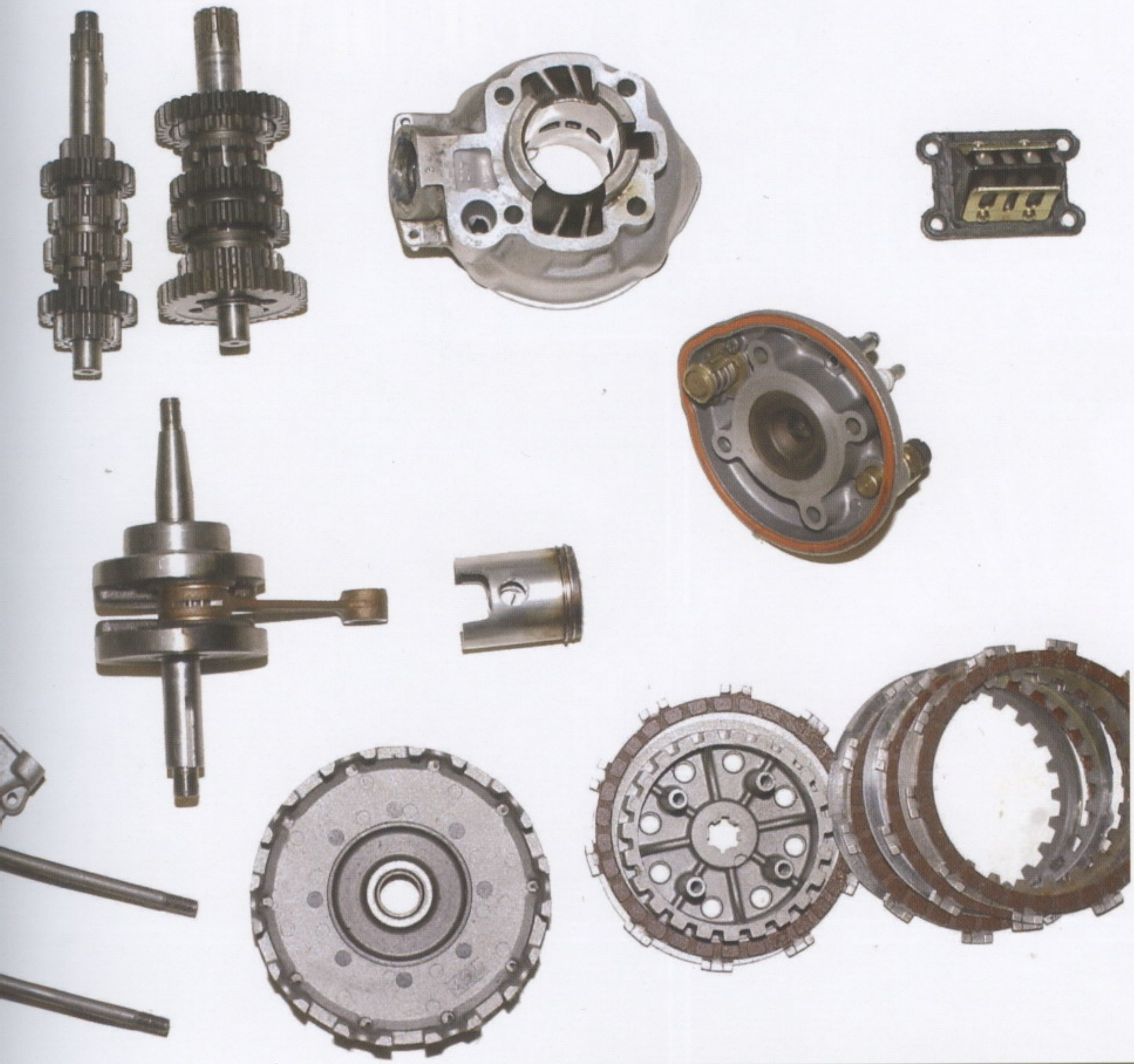
Même à ceux qui ont une bonne pratique, quelques connaissances en plus ne feront pas de mal. Comme d'habitude, nous tenterons de les traduire dans le langage le plus simple possible.

La conception d'un moteur se résume à deux paramètres fondamentaux : la recherche de puissance et la recherche de fiabilité, le but étant de parvenir à un juste compromis.

La fiabilité peut être notamment obtenue par un assemblage particulièrement soigné, après ajustage, rectification et contrôle des pièces dans le respect des tolérances et des jeux. Évidemment, ceci n'est valable que dans le cas d'un dimensionnement correct des composants, lui-même dépendant des contraintes de fonctionnement et de la qualité des pièces que le budget permet d'acquérir. On peut donc dire que la limite supérieure de la puissance est directement liée aux matériaux utilisés, donc au budget.



La différence entre les écuries privées et les usines résulte en grande partie de ce dernier point. Les grandes équipes ont les moyens de pousser très loin l'analyse et le développement de chaque composant – du plus essentiel au plus insignifiant (en apparence) - afin d'éliminer pratiquement toute probabilité de rupture. En analysant aussi bien la forme que la composition des éléments, les grandes écuries peuvent ainsi définir la durée de vie optimale de chaque pièce et les changer avant que n'apparaissent les premiers signes de fatigue ou d'usure. La majeure partie des travaux effectués pour améliorer la fiabilité a aussi une influence positive sur la puissance puisqu'elle aboutit à la réduction de certains frottements.



COMPOSANTS PRINCIPAUX D'UN MONOCYLINDRES 2 TEMPS

UN GAIN EN PUISSANCE PURE SUPPOSE :

1 L'introduction d'une plus grande quantité de mélange air-essence dans le cylindre à chaque phase d'aspiration.

2 Une homogénéité optimale de ce même mélange à l'intérieur de la chambre de combustion.

3 Une combustion optimale du mélange de façon à produire la pression la plus élevée et la plus utile possible.

4 Une autre méthode d'augmentation de la puissance consiste à accroître le régime moteur. Le but est le même puisqu'en augmentant le nombre de phases d'aspiration pour une même durée, on augmente la quantité d'air introduite. Cette solution peut sembler plus facile, mais elle n'est pas sans risques : la courbe de puissance est généralement plus difficile à gérer et elle ne favorise pas la fiabilité.

Quelle que soit la méthode choisie, un contrôle rigoureux de chaque composant du moteur s'impose car aucun constructeur n'a le temps de le faire. En effet, il ne faut pas oublier que les usines font souvent appel à des sous-traitants et limitent souvent leur rôle à l'assemblage des éléments qu'elles ont dessiné. Ainsi, si une tolérance de quelques centièmes peut s'avérer suffisante dans la plupart des cas, elle n'est pas admissible lorsque l'on touche à la mise au point poussée.

Si le contrôle devait être total, il générerait des coûts incompatibles avec une production en grande série. L teurs préfèrent donc intégrer sins certaines tolérances géor dimensionnelles de façon conjonction d'erreurs. Ce qui pas qu'une pièce hors tolér faire partie d'un moteur, la ga en partie pour cette raison moteur fonctionnera sans pr donnera jamais le meilleur de La préparation ne se limite limer par-ci par-là, elle ir contrôle maniaque des cote ces de chaque composant, q d'un moteur de grande sé moteur « compétition client » que soit l'origine du moteur il est toujours possible d'obt de puissance en insistant sur et l'appariement des pièces.

La préparation des moteurs 2 temps

CHAPITRE 2

DE ROTATION

Rendement
Rendement thermique
Rendement mécanique
Rendement volumétrique

Vitesse
pme et
rendement

3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16

Nous avons vu dans le chapitre précédent que la puissance plus élevée d'un moteur deux temps peut surtout résulter de la capacité qu'il possède à prendre des tours pour atteindre une vitesse de rotation très importante.

POUR RAPPEL :

- **Point Mort Haut (PMH) :** piston au maximum de sa course vers le haut.
- **Point Mort Bas (PMB) :** piston au maximum de sa course vers le bas.

Au PMB, l'effort exercé sur la tête de bielle et causé par l'inertie due au poids du piston est partiellement limité par la compression qui existe dans le carter. À l'inverse, au PMH la compression et l'explosion de la charge de mélange empêchent l'allongement de la bielle suivi d'un raccourcissement.
On comprend ainsi que la bielle d'un deux temps est moins sollicitée que celle d'un quatre temps. Elle peut donc être plus simple de conception et plus légère, ce qui autorise des régimes de rotation élevés sans avoir nécessairement recourt à des matériaux plus nobles et donc plus chers.
Quel que soit le moteur, la puissance résulte de la force issue de la pression exercée sur la face supérieure du piston transmise par la bielle au maneton et au vilebrequin après l'explosion.
Si l'on ne peut ou ne veut modifier le bras de levier, c'est-à-dire la course et donc la cylindrée, les seuls facteurs que l'on peut faire varier pour augmenter la puissance sont donc la pression sur le piston et le régime moteur. La pression au-dessus du piston passe d'un minimum lorsque le piston se trouve en fond de course et que les lumières d'échappement et d'admission sont ouvertes en même temps, à un maximum que l'on observe 10 à 20 degrés après le PMH et après l'explosion.
C'est en effet à cet instant que tout le mélange brûle et que la détente des gaz qui appuient sur la face supérieure du piston est maximale.
La pression diminue ensuite puisque le piston descend et que le volume contenant les gaz en expansion augmente.
Au moment du calcul, on prendra soin de ne pas tenir compte uniquement de la pression maximale, mais aussi de la pression- ou plutôt de la somme des pressions- qui existent tant que le piston ne découvre pas les lumières d'échappement. Il suffira de calculer la moyenne de toutes les pressions qui s'exercent sur la surface du piston, instant par instant.
Simultanément, il faut déduire le travail que fournit le piston pour déplacer la charge fraîche du carter au cylindre, et celui qui sert à comprimer ce mélange car les deux constituent une résultante de travail négative.
Après avoir fait la somme des pressions instant par instant, de laquelle on déduit le négatif, on obtient la pression moyenne effective, la fameuse PME
En la multipliant par la surface du piston, par la course et par le nombre de tours par seconde, on obtient la puissance.

PME:

- PME=F/S : la pression moyenne effective en Pascal (Pa) est égale à une force en Newton (N) divisée par une surface en mètres carrés (m^2).
Ici on utilise P xs=F.

- P=fxv: la puissance en Watt (W) est égale à une force (N) multipliée par une vitesse en mètre par seconde (m/s). Ici c'est exactement cette formule qui est utilisée.

Comme nous l'avons déjà dit, si on n'intervient pas sur la cylindrée par augmentation de l'alésage ou de la course, il n'est possible d'obtenir une hausse de la puissance qu'en augmentant la PME ou le nombre de tours/minute.
Toutefois, il faut garder présent à l'esprit que la PME augmente de l'ordre de l'unité, alors que, dans le même temps, le régime peut grimper de quelques milliers de tours/minute. On peut considérer qu'un moteur ayant une faible PME mais un régime de 20 000 tr/min est plus puissant qu'un moteur ayant une forte PME mais un régime de 10 000 tr/min.
Une fois encore, cela pourrait passer pour la solution de facilité. C'est sans compter que pour accroître le régime, il faut étendre les phases du cycle moteur, ce qui réduit d'autant sa plage d'utilisation. Et comme il ne se passe donc plus rien sous un certain régime, on doit multiplier les rapports de boîte pour rester dans la bonne plage de régime... Autre détail à prendre en compte, la hausse du régime qui s'accompagne d'une hausse des sollicitations des matériaux, d'une augmentation des accélérations de l'équipage mobile et des frottements sur le cylindre et les coussinets. Le tout au détriment de la fiabilité.
Sans oublier qu'une augmentation du régime pose aussi des problèmes pour faire passer la charge fraîche dans le carter et dans le cylindre, compte tenu du très faible temps d'ouverture des lumières et des transferts. Idem pour l'élimination des gaz brûlés.
Enfin, la moto permettant la pratique de disciplines très variées et exigeant des caractéristiques spécifiques en matière de plage d'utilisation et de courbe de puissance, chaque cas devra être étudié en tenant compte de l'utilisation et du type de sport pratiqué. Par exemple, le cas d'une moto de trial est très différent de celui d'une moto de cross, d'enduro ou de vitesse.
Chacun choisira donc la méthode la plus opportune en fonction des exigences auxquelles il sera confronté.

RENDEMENT

Plusieurs paramètres influencent la puissance d'un moteur. Les rapports entre leur valeur théorique et leur mesure réelle sont appelés "rendements".

Rendement thermique

Le premier rendement est celui qui concerne la partie thermique du moteur. C'est le rapport entre la quantité de chaleur que devrait produire la combustion d'une charge de carburant et celle effectivement transformée en travail utile.
Il faut savoir que le rendement thermique est peu modifiable. Toutefois, les zones de squish de la chambre de combustion et le rapport de compression sont les facteurs sur lesquels il est possible d'intervenir pour améliorer ce rendement thermique. En considérant les marges de manœuvre toujours plus réduites qui reste aujourd'hui au préparateur, la modification du rendement thermique, nous le verrons plus loin, s'avère être un des points d'intervention les plus intéressants car une petite variation peut donner de bons résultats.

Rendement mécanique

Le rendement mécanique est le rapport entre le travail utile effectivement fourni par le moteur et celui qu'il devrait théoriquement produire en l'absence totale de frottement et sans qu'une partie de ce travail ne soit utilisée par les accessoires du moteur.
Le rendement mécanique est directement conditionné par le frottement du piston et des segments sur la paroi du cylindre, par le frottement des coussinets de bielles et de vilebrequin et par la puissance requise pour actionner les organes auxiliaires comme la pompe à eau (aujourd'hui, la quasi-totalité des moteurs deux temps sont refroidis par eau). Le travail d'admission, de transfert et surtout de compression du mélange est le dernier paramètre lié à ce rendement mais pas le moindre.
On aura compris que le rendement mécanique peut donc être optimisé en diminuant les frottements. C'est l'une des raisons pour laquelle les pistons des moteurs de compétition sont équipés d'un segment unique de très faible épaisseur et d'une cage à aiguille à faible coefficient de frottement. Réduire les frottements favorise également la fiabilité et la longévité du moteur.
Pour donner un autre exemple, une grande partie des moteurs deux temps de série est équipée d'un embrayage en bain d'huile. La rotation de la cloche d'embrayage immergée dans l'huile constitue un frein hydrodynamique non négligeable. C'est ainsi que sur les motos de compétition, où l'embrayage sert principalement au départ, l'embrayage est à sec et refroidi par air.

Statistiques : 7500 / 10500 Tr/min

Nom	Temps(s)	Pmoy(Ch)	Pmax(Ch)	à V (Tr/min)	Cmax(mkgF)	à V (Tr/min)
echapp.98	--	101,5	131,4	10691	8,910	10507
echapp.98'	--	99,86	130,4	10743	8,813	10473
echapp.97	--	104,1	132,6	10568	9,154	10237
echap.97'	--	109,1	136,6	10558	9,468	10142

Courbes caractéristiques de passage au banc d'un moteur V2 500 cm³ 2 Temps Honda.

Rendement volumétrique

Ce dernier rendement est le plus important aux yeux du préparateur car c'est essentiellement sur celui-ci qu'il travaille pour accroître la puissance du moteur. Que l'on augmente la vitesse de rotation ou la quantité de mélange air/essence admise à chaque cycle, on travaille dans les deux cas sur le rendement volumétrique.

Il s'agit du rapport entre la quantité de mélange effectivement admise dans le cylindre et celle qui pourrait théoriquement y entrer dans des conditions optimales, c'est-à-dire en l'absence de résistance au déplacement de la charge et avec des temps de remplissage, de transfert et d'échappement plus longs.

Si vous tournez le moteur à la main, l'air entre lentement de telle sorte qu'à la fin du cycle de remplissage, la pression à l'intérieur et à l'extérieur du cylindre est équilibrée et égale à la pression atmosphérique.

Cela signifie que le volume d'air entré est exactement équivalent à celui que l'on aurait dans un cylindre de mêmes dimensions placé à l'extérieur du moteur. Dans ce cas, le rapport volumétrique est de 100 %.

À l'inverse, lorsque le moteur fonctionne, l'air doit faire face à de fortes résistances pour entrer, d'une part à cause des frottements le long des parois, d'autre part à cause du temps très court dont il dispose pour voyager le long de ces parois.

Dès 1000 tours/minute, alors que le cycle complet d'un deux temps (admission, compression, combustion et échappement) dure 6/100ème de seconde, le rapport volumétrique chute déjà de façon sensible.

À 10 000 tours/minute, l'admission ne dure que 3/1000ème de seconde environ. Intuitivement, il semble absolument impossible que quoi que ce soit puisse entrer dans le carter avec un laps de temps si court. Diminuer les temps d'admission et de transfert revient à augmenter la vitesse de l'air et donc à accroître les résistances et les turbulences.

C'est pourquoi la majorité des modifications qui seront détaillées plus loin visent essentiellement à augmenter ce rapport volumétrique, soit en allongeant les phases d'admission et de transfert, soit en modifiant les conduits. □

La préparation des moteurs 2 temps

CHAPITRE 3

LES PHASES

Phase d'admission
Distribution contrôlée par le piston
Distribution par disque rotatif
Distribution à clapets
Phase de transfert
Phase de compression
Explosion et détente
Phase d'échappement
Phase de balayage
Le moteur deux temps et la physique
Termes techniques
Perte de charge
Turbulence
Ram-jet, résonance et interférence

3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16

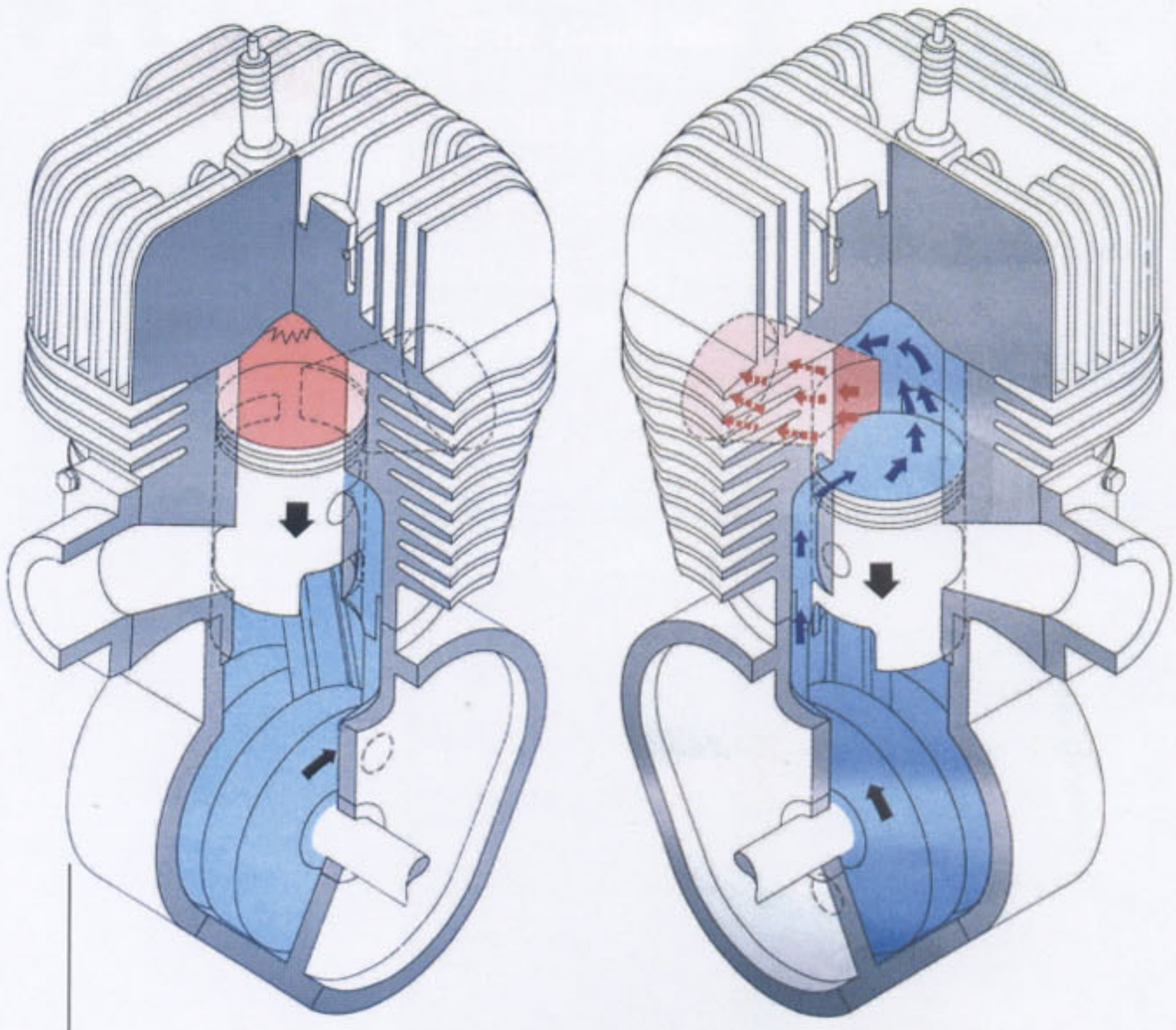
Sur les moteurs deux temps, les différentes phases se superposent partiellement car elles doivent se succéder en un seul tour de vilebrequin. Transfert et échappement sont quasiment simultanés et symétriques par rapport au PMB puisque le piston, en se déplaçant à l'intérieur du cylindre, découvre les lumières d'échappement et les transferts quand il descend et les referme en remontant.
En revanche, l'admission est proche du PMH et sa régulation dépend du système utilisé. Cette phase se déroule en même temps que la séquence qui englobe la compression, l'allumage et la détente. C'est d'ailleurs cette superposition de phases qui est à l'origine de la simplicité mécanique des moteurs deux temps.
Ce chapitre traitera de ces opérations et des phénomènes physiques mis en œuvre.

PHASE D'ADMISSION

L'air est aspiré dans le carter principalement grâce à la montée du piston et à une série de phénomènes que nous expliciterons plus loin. La durée de la phase d'admission dépend du système utilisé sur le moteur pour la contrôler.
L'avance dans cette phase est importante car il faut du temps pour mettre en mouvement la colonne d'air en provenance du carburateur. Une fois lancée, cette colonne progresse sans problème particulier. Néanmoins, il est important de maintenir ce flux le plus longtemps possible pour convoyer le plus de mélange possible, jusqu'à passer en surpression par rapport à l'air ambiant.
Le système de régulation des différentes phases s'appelle la "distribution". Pour les deux temps, le terme de distribution ne s'applique que pour la phase d'admission, vu que l'échappement n'est régulé que par le mouvement alternatif du piston dans le cylindre.

DISTRIBUTION CONTROLEE PAR LE PISTON

Le type de distribution le plus élémentaire est constitué par le piston et son mouvement. Il y a quelques dizaines d'années, il équipait encore tous les moteurs sous le nom de "piston-port".
Ici, c'est le piston qui ouvre le conduit l'admission lors de la montée, comme s'il s'agissait d'une lumière, et qui le ferme pendant la descente (fig 1/3).
Durant cette phase ascendante, une dépression se crée progressivement dans le carter dans la mesure ou l'air passe des transferts dans le cylindre en créant un vide derrière lui. Le mouvement du piston vers le haut ne fait qu'accentuer cet effet de succion.
Logiquement, l'air extérieur à la pression atmosphérique, se déplace vers la zone de dépression.
Si ce système a le mérite d'être très simple, il présente malgré tout des limites.
Tout d'abord, l'intervalle de temps durant lequel la lumière d'admission demeure ouverte ne doit pas être trop long, sous peine d'engendrer un phénomène de refoulement à certains régimes. Ensuite, cette lumière d'admission est limitée dans ses dimensions car directement dépendante de la course du piston et du diamètre du cylindre. Une lumière trop grande fait chuter la vitesse du flux et donc le rendement volumétrique. L'efficacité du moteur s'en ressent et sa plage d'utilisation se limite aux hauts régimes.
Dans sa descente, le piston doit comprimer et déplacer le mélange se trouvant dans le carter tout en fermant la lumière d'admission avant l'ouverture des transferts. Le cas échéant, la compression issue de ce mouvement chercherait à se détendre de la façon la plus simple, c'est-à-dire par le conduit d'admission, occasionnant ainsi un refoulement au niveau du carburateur.
On peut alors penser qu'il suffirait de fermer la lumière d'admission juste avant l'ouverture des transferts, ce qui serait une erreur. En effet, dans la pratique, cette fermeture est beaucoup plus anticipée.
La raison en est que la compression du piston commence à se faire sentir dans le carter dès le premier centimètre de descente, ce qui impose une fermeture très rapide du conduit d'admission.
Heureusement, la colonne d'air profite d'une bonne pression dynamique qui lui permet de contrer cette compression. Plus sa vitesse est importante, plus longue est la durée pendant laquelle elle contrarie la compression en envoyant de l'air dans le carter.
Plus le régime de rotation est élevé, plus la pression dynamique est importante et plus longue est la phase d'admission.
Mais une fois le moteur en marche, on observe des conditions nettement différentes. Effectivement, si les hauts régimes tolèrent un retard de fermeture, ce dernier est fatal aux bas régimes car le carburateur refoule le mélange et la puissance obtenue n'est même pas suffisante pour maintenir le régime de ralenti.
Avec ce type de distribution, la phase d'admission ne peut-être que symétrique par rapport au PMB et toute tentative d'allongement de durée aboutit au scénario ci-dessus.
La seule façon d'obtenir un gain de puissance sur ce type de moteurs consiste à augmenter le nombre de tours. Il en résulte une plage d'utilisation réduite et un couple inexistant à bas régimes.
Même en utilisation intensive sur piste, cette solution n'était pas satisfaisante et imposait un nombre très élevé de rapports de boîte, de façon à maintenir le moteur dans sa plage d'utilisation efficace.



Dans un 2 Temps, le mélange est comprimé dans le carter pompe et envoyé dans le cylindre par le canal de transfert. Il chasse alors les gaz brûlés avant d'être comprimé.
Le cycle complet s'effectue sur une rotation de vilebrequin.

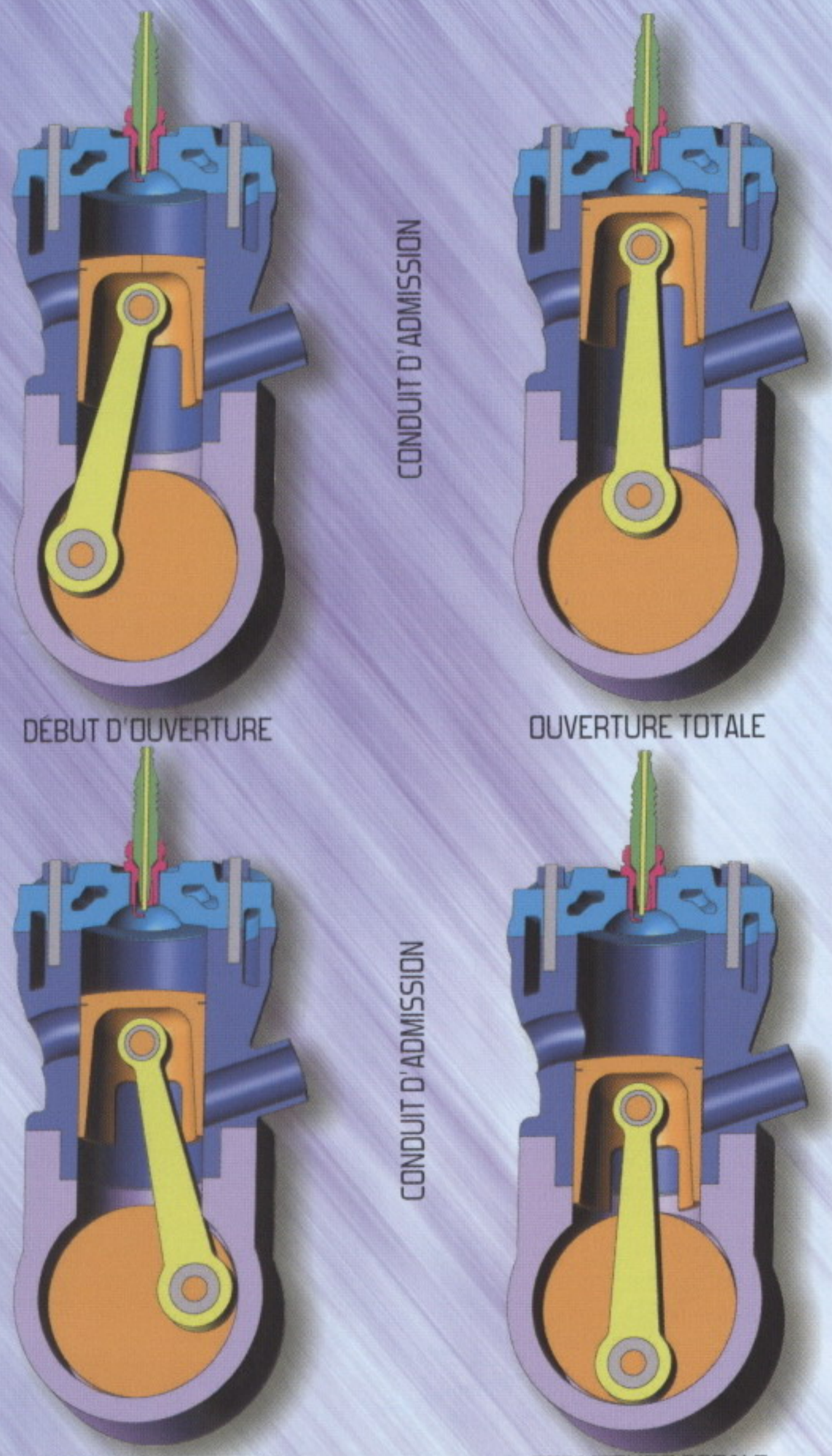


FIG 1/3 **DISTRIBUTION CONTRÔLÉE PAR LE PISTON**

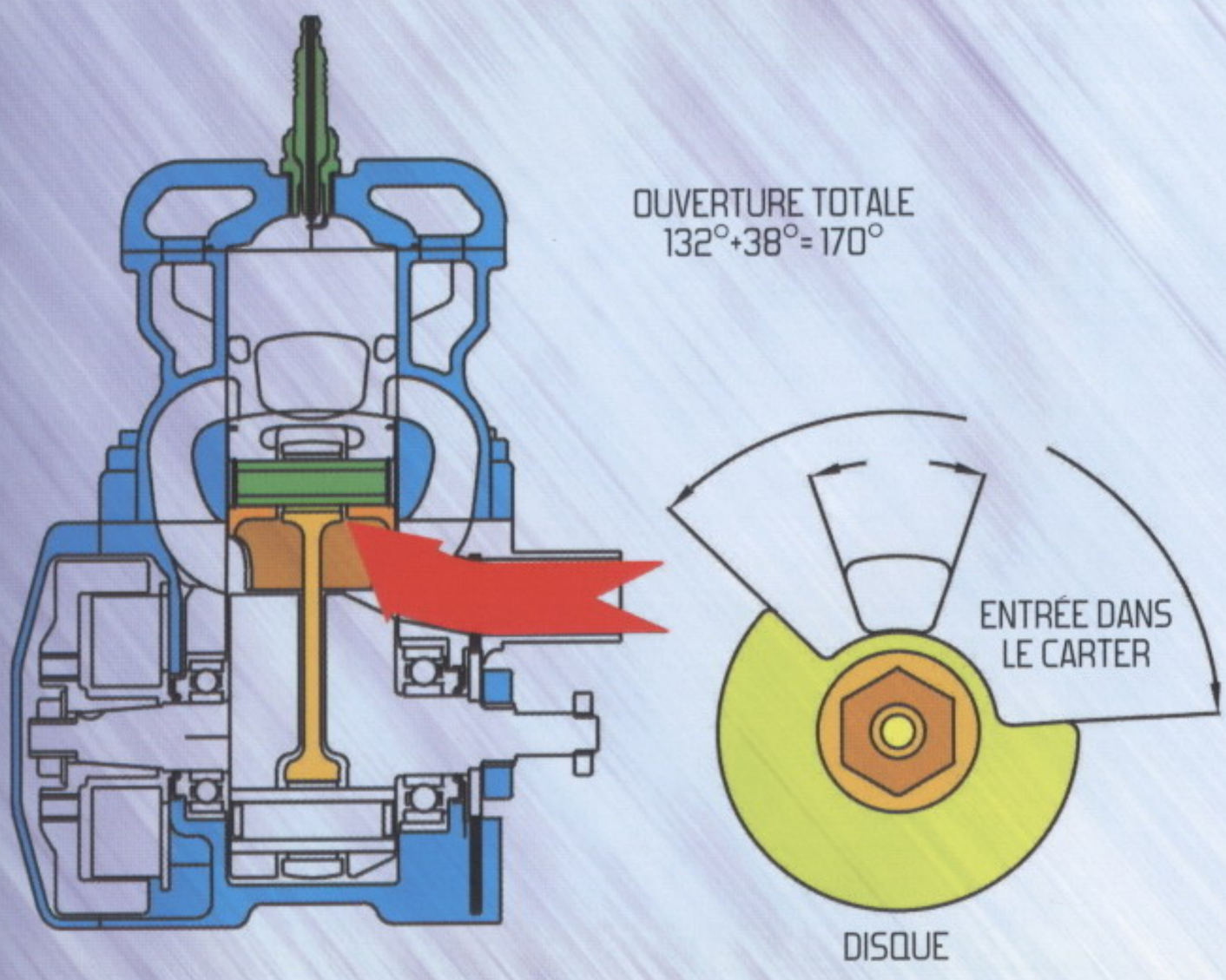


FIG 2/3 **DISTRIBUTION PAR DISQUE ROTATIF**

DISTRIBUTION PAR DISQUE ROTATIF

La distribution par le piston étant incompatible avec les exigences de pilotes qui désiraient plus de puissance et une plage d'utilisation plus étendue, les motoristes se sont mis à utiliser un système de distribution composé d'un disque monté sur le vilebrequin et sur lequel est pratiquée une ouverture. À chaque tour, ce disque ouvre et ferme le conduit d'admission interrompant alors le flux entrant et le refoulement en phase de compression dans le carter (fig 2/3).

En faisant varier la largeur de l'ouverture, il est possible d'augmenter la durée d'admission dans le carter. Mais surtout, en la déplaçant latéralement, on augmente l'avance ou le retard. Cette solution technique offre une phase d'aspiration plus étendue mais aussi asymétrique, ce qui permet une hausse sensible de l'avance.

Le conduit d'admission peut alors s'ouvrir dès que les transferts sont quasiment fermés (la dépression dans le carter est maximale) et se fermer après le PMH, juste avant que la compression provoquée par le piston dans le carter provoque un refoulement. On obtient ainsi une puissance optimale haut dans les tours sans trop pénaliser les bas régimes.

Toutefois, ce système n'a pas répondu aux attentes des motards qui désiraient une puissance importante en bas sans pénaliser la puissance à hauts régimes. C'est pourquoi la distribution par disque rotatif n'est guère plus utilisée aujourd'hui que sur les monocylindres de kart et quelques motos de vitesse. Après avoir été utilisé sur quelques machines « exotiques » (Suzuki RG500 de 1984 par exemple), il a donc complètement disparu de la production de série.

DISTRIBUTION A CLAPETS

En 1972, Yamaha ressuscite une technique née avant le siècle et qui semblait limitée aux moteurs de karts et de hors-bord : la boîte à clapet. Sur ces motorisations particulières, un clapet lamellaire contrôlait l'admission dans le carter en s'ouvrant alors que la pression dans le bas moteur avait déjà baissé et que le piston avait fermé les transferts. La seule dépression engendrée dans le carter par la montée du piston suffisait alors à ouvrir le clapet.

La problématique de l 'époque se résumait à l'unique matériau disponible pour la fabrication des clapets : de la fine tôle d'acier ou clinquant. En effet, une lamelle trop fine avait une faible durée de vie et entrait rapidement en résonance, ce qui la rendait inadaptée aux hauts régimes. À peine un peu plus épaisse, cette lamelle devenait trop rigide et ne s'écartait plus suffisamment.

Par ailleurs, en comptant sur la seule dépression créée dans le carter, le temps d'admission était trop retardé. En effet, les clapets ne s'ouvraient pas instantanément, mais demandaient au moins un millième de seconde pour le faire. C'est peu, mais il faut considérer qu'à 10 000 tr/min, un tour de vilebrequin ne dure que 6 millièmes de seconde. De ce fait, le pic d'admission maximale est retardé après le PMH.
Les ingénieurs de chez Yamaha découvrirent alors que la seule façon d'ouvrir les clapets plus tôt était de tirer profit des ondes de résonance, des ondes qui apparaissent dans le bas moteur et dans le cylindre lorsque les lumières d'échappement, de transferts et d'admission s'ouvrent en même temps. Les motoristes japonais pratiquèrent alors un autre transfert (une troisième lumière) en aval de la boîte à clapets débouchant directement en face de l'échappement (fig 3/3). Les résultats ne se firent pas attendre : le moteur se remplissait en bas et gagnait en puissance maxi en haut.
Plus tard, le matériau des clapets évolua et l'on passa du métal à la fibre de verre puis, plus récemment, au carbone. La durée de vie des clapets a donc gagné en longévité mais surtout, les clapets ont désormais un module d'élasticité supérieur.
Cette technique est employée par tous les constructeurs sans exception, même si d'autres solutions sont utilisées dans des cas plus spécifiques.

Le principal avantage de la distribution par clapets est de s'autoréguler au niveau de l'avance et de la durée par rapport au régime de rotation car elle est dépendante des dépressions du carter et du cylindre, lesquelles varient en durée et en intensité en fonction du régime et de l'ouverture du boisseau du carburateur. En définitive, plus le régime est élevé plus la durée d'admission s'allonge, tant à l'avance qu'au retard.
Quant à la hausse de puissance, elle n'est pas uniquement due au fait que les clapets autorisent une plus grande quantité de mélange à l'admission. Ce gain de puissance résulte aussi de l'apparition de ce troisième transfert en face de l'échappement. Grâce à lui, la durée d'ouverture des clapets d'admission est automatiquement allongée proportionnellement au régime moteur.
On profite d'abord de la dépression engendrée par l'évacuation rapide des gaz de combustion puis de l'effet ramjet dans le conduit d'admission.
La colonne de mélange en mouvement continue de passer à travers le collecteur jusqu'à ce que la pression, dans le cylindre d'abord et dans le carter ensuite, dépasse la pression dynamique dans le conduit.
Les progrès dans l'utilisation des matériaux, les divers types de fibres de carbone et autres composants modernes, l'apparition de clapets à section différenciée et les revêtements de boîte type VITON pour amortir la fermeture des clapets, présentent de gros avantages en termes de robustesse et de régimes autorisés.

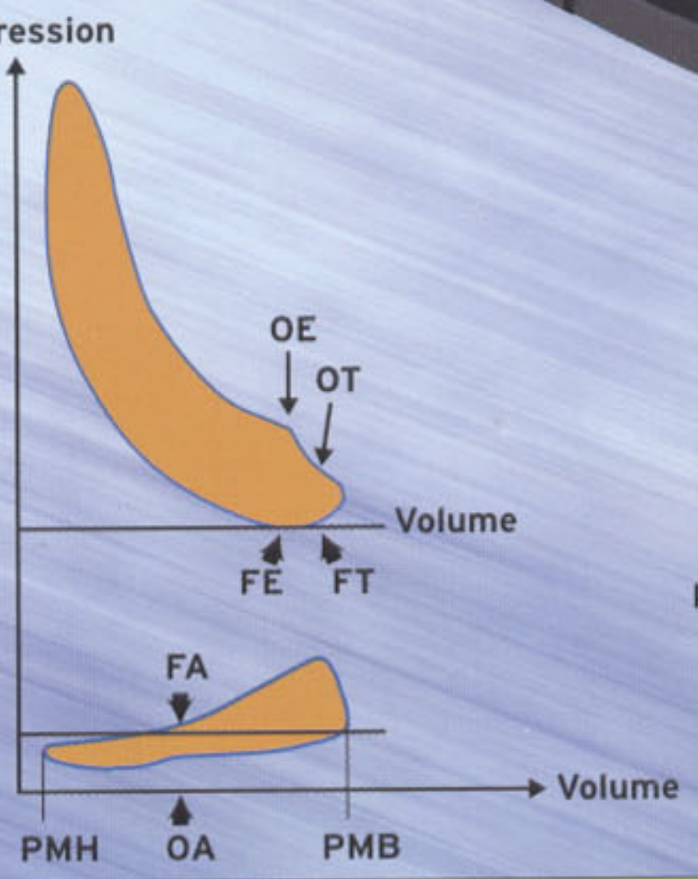
PHASE DE TRANSFERT

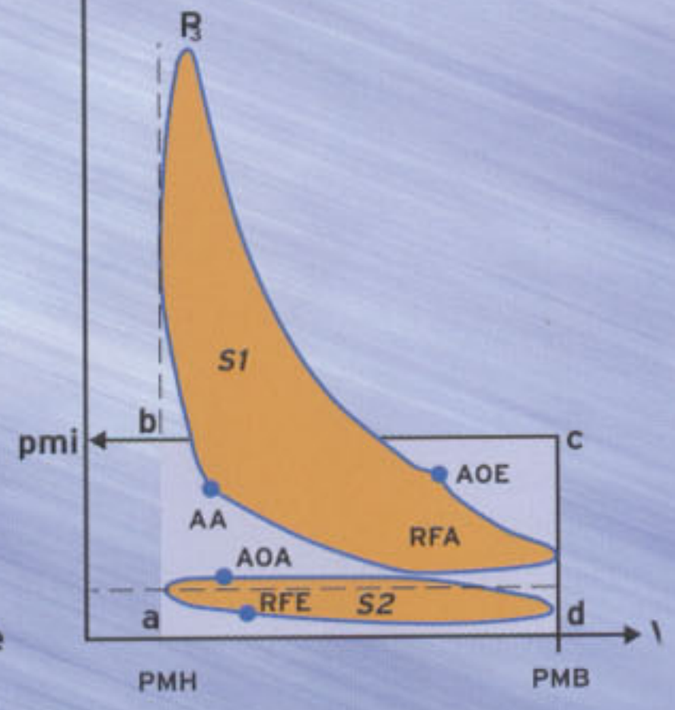
La phase de transfert correspond au moment où le mélange contenu dans le bas moteur est poussé à l'intérieur du cylindre par la pression générée lors de la descente du piston. Le mélange est transféré dans une autre partie du moteur, d'où le nom de "transfert" pour cette phase et les passages par lesquels il passe.
Cette étape du cycle deux temps ne peut être que symétrique. Le piston découvre les lumières de transfert lors de sa descente puis les referme en remontant (fig 4/3). Les paramètres déterminants sont la forme des transferts, leur dimension, leur nombre et la forme des lumières. La hauteur de ces dernières fixe la durée de cette phase.

UNE BOÎTE À CLAPETS

Tout l'art du motoriste consiste à accorder le raideur et la masse des lamelles avec la plage d'utilisation moteur souhaitée.

Fig 3/3 SYSTÈME D'ADMISSION PAR CLAPETS





CYCLE RÉEL À 4 TEMPS/ CYCLE RÉEL À 2 TEMPS

Le travail moteur réalisé pendant le cycle est donné par la surface de la grande boucle, diminuée de celle de la petite boucle, qui représente les résistances (S2).

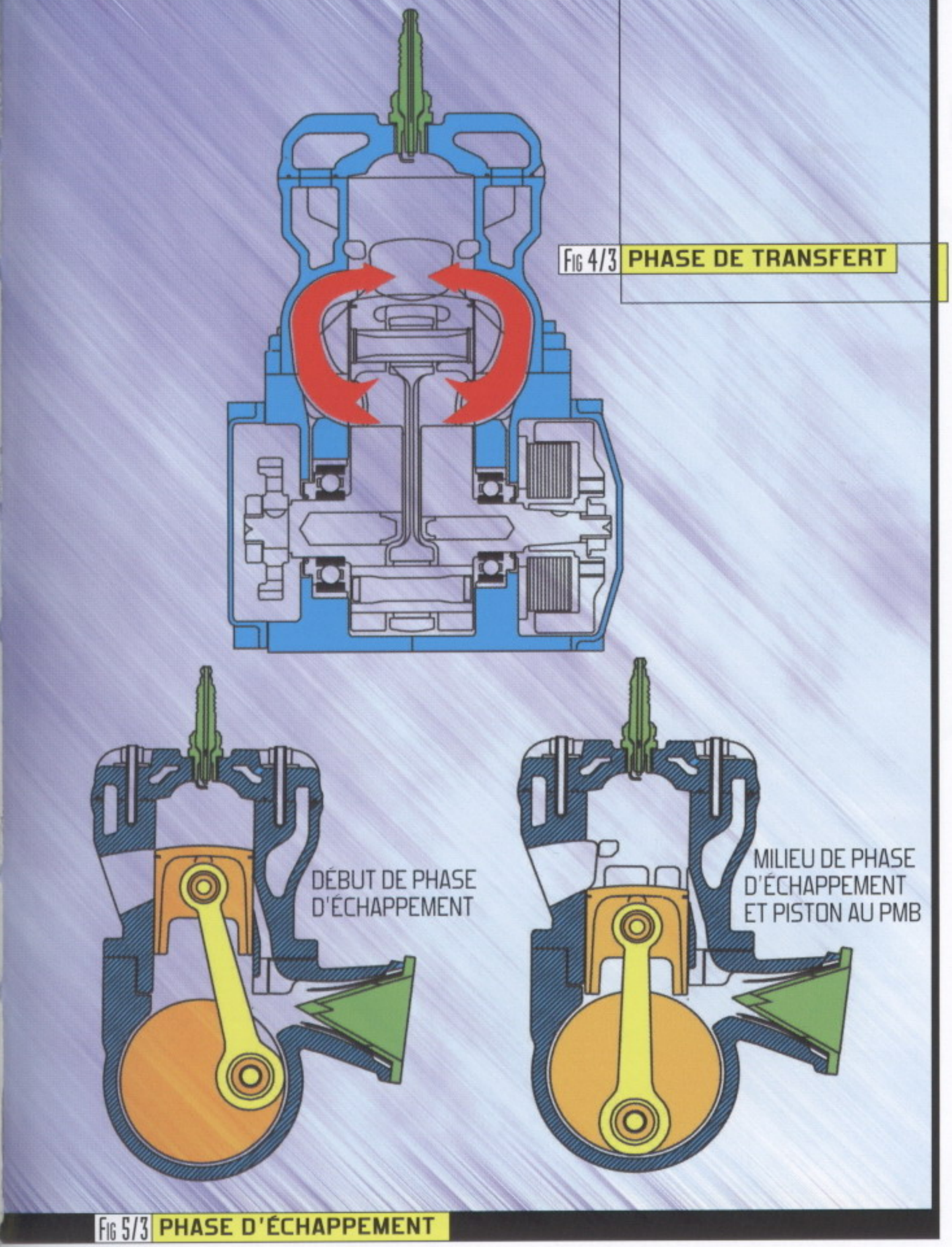


FIG 4/3 PHASE DE TRANSFERT

FIG 5/3 PHASE D'ÉCHAPPEMENT

Il est primordial de garder à l'esprit que le remplissage du cylindre n'est pas seulement dû à la compression de la descente du piston mais par-dessus tout à la dépression élevée présente dans le cylindre après l'échappement. Cette fonction est d'ailleurs très importante et, comme nous le verrons par la suite, commence avant la phase de transfert.
Une fois que le piston a atteint son point le plus bas, le transfert de mélange ne cesse pas pour autant. En effet, les diverses colonnes d'air mises en mouvement ne s'arrêtent pas instantanément, le ram-jet et la résonance participant au travail. Le transfert continue donc même lors de la remontée du piston et ne prend fin qu'à la fermeture complète des lumières.

PHASE DE COMPRESSION

À partir du moment où toutes les lumières d'admission sont fermées, la phase de compression commence. En théorie, cette étape commencerait une fois la lumière d'échappement recouverte par le piston. Mais dans les moteurs modernes où la détente a un rôle essentiel dans la création d'une onde de pression positive au moment où la lumière d'échappement se ferme, la compression commence dès la fermeture des lumières d'admission, voire un peu avant.
La compression est une phase importante car sans elle point d'explosion, tout juste un petit incendie dans le meilleur des cas ! En revanche, lorsque le mélange est bien comprimé, les molécules d'air et de carburant sont plus proches et la température croît très rapidement. Ce n'est que sous ces conditions que l'étincelle de la bougie pourra allumer le mélange. Retirez le segment du piston pour s'affranchir de la compression et même avec une étincelle d'un centimètre de long, vous n'aurez jamais d'explosion. C'est d'ailleurs la raison pour laquelle les moteurs usés ont tant de mal à démarrer, même bien réglés.

EXPLOSION ET DETENTE

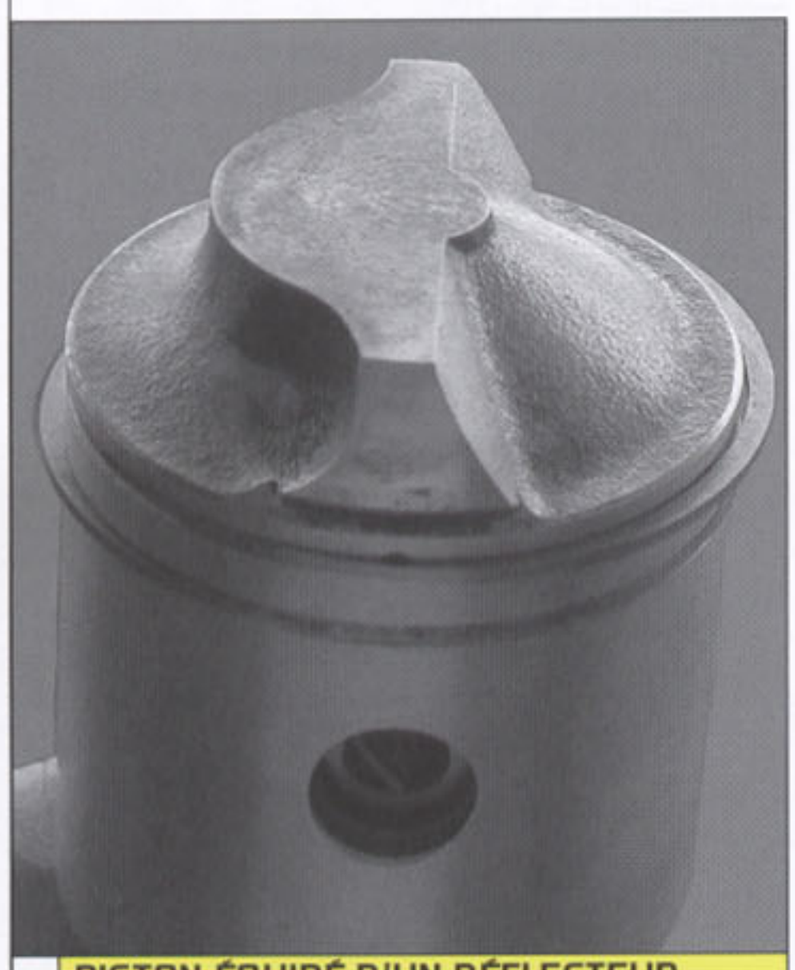
La bougie allume le mélange avant le PMH. L'explosion commence et se poursuivra après le PMH. Elle continuera durant la première partie de la descente du piston accompagnée d'une détente progressive des gaz brûlés.
L'explosion et la détente doivent être contrôlées et progressives de façon à exercer sur le piston une poussée continue, au moins jusqu'à l'ouverture de la lumière d'échappement.
Si l'explosion se produit trop tôt, elle s'opposera à la rotation du vilebrequin. Si, à l'inverse, elle survient trop tard, la combustion et la détente se poursuivront jusque dans l'échappement, entraînant un gaspillage de mélange qui ne servira pas au travail efficace.

PHASE D'ECHAPPEMENT

Cette phase commence après l'explosion et la détente des gaz. Vu la conformation de la lumière sur la face interne du cylindre, l'échappement ne peut être que symétrique par rapport au PMB.
En effet, la lumière s'ouvre lors de la descente du piston et se referme à la montée (fig.5/3).
C'est la plus longue des phases et elle se déroule en même temps que la phase de transfert, interagissant donc avec lui. Sa durée influence largement les caractéristiques de fonctionnement et la plage de régime utile du moteur.
Les dispositifs inventés pour modifier la durée de la phase d'échappement ont conduit à des progrès inimaginables. Tout en conservant les dimensions « physiques » de la lumière d'échappement, ces systèmes jouent sur la forme et les dimensions « instantanées » de la lumière. C'est ainsi que certains moteurs sont équipés d'une valve rotative, sorte de vanne de régulation, qui ferme partiellement la lumière à bas régimes et s'ouvre progressivement à mesure que le régime croît. Dans d'autres, cette soupape s'ouvre sur une chambre de résonance le long du conduit d'échappement. La réponse du système est alors modifiée et s'accorde sur des fréquences plus basses, afin d'obtenir une meilleure extraction des gaz, même aux régimes les plus bas.
Dans le cas du fameux moteur EXP-2 Honda, la valve est également synchronisée avec le régime moteur, mais d'une façon particulière : après un allumage classique par bougie, le moteur fonctionne en auto-allumage grâce à une toute petite partie des gaz d'échappement restée enfermée dans la chambre de combustion. Astucieux et novateur, ce système, qui nécessite un nombre très élevé de capteurs et une gestion électronique hyper sophistiquée, offre un niveau d'émissions polluantes très réduit tout en offrant une bonne puissance. Le seul problème, c'est que ce moteur est devenu du coup aussi complexe qu'un quatre temps.

PHASE DE BALAYAGE

Le fait que les phases d'échappement et de transfert aient lieu en même temps engendre une phase intermédiaire dite de balayage. Les gaz frais entrant balayent la chambre de combustion et éliminent les gaz de combustion résultants de l'explosion précédente. Par le passé, ce balayage revêtait une importance toute particulière car le rendement des systèmes d'échappement était trop faible. Pour éliminer totalement les gaz de combustion, on avait donc recourt à de véritables compresseurs qui, en injectant la charge fraîche, poussaient effectivement les gaz brûlés vers l'extérieur. Aujourd'hui, l'importance de cette phase est toute relative car la détente engendre un effet de succion optimal et suffisant pour extraire ces gaz de la chambre de combustion. Seuls certains moteurs hors-bord, plus simples de conception, ne bénéficient pas de véritable détente et nécessitent un bon balayage. Pour favoriser cette phase et éviter le calage, ces moteurs sont équipés de pistons d'une forme particulière (voir photo).



PISTON ÉQUIPÉ D'UN DÉFLECTEUR POUR MOTEUR 2 TEMPS DE HORS-BORD

LE MOTEUR DEUX TEMPS ET LA PHYSIQUE

Lors de l'étude des phases de fonctionnement du moteur deux temps, il nous arrivera de parler de résonance ou autres phénomènes physiques peu connus. Avant de poursuivre, quelques rappels de physique et de mécanique des fluides s'imposent.

Termes techniques

Pression statique :
On appelle pression statique la pression présente à l'intérieur d'un certain milieu, répartie uniformément (intensité égale dans toutes les directions) dans un fluide et agissant suivant la normale en chaque point d'une surface.

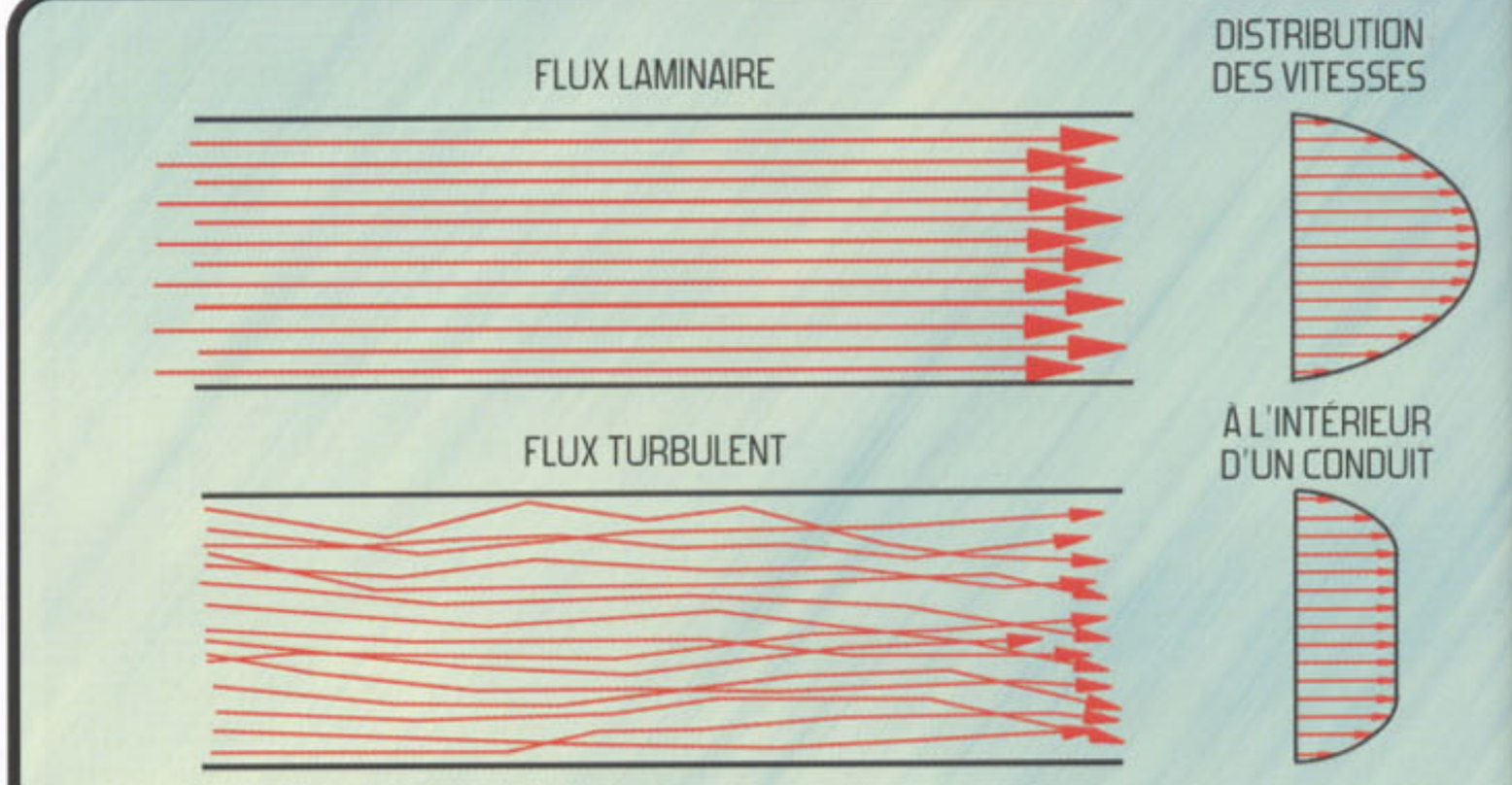


FIG 6/3 TYPES DE FLUX A L'INTÉRIEUR D'UN CONDUIT

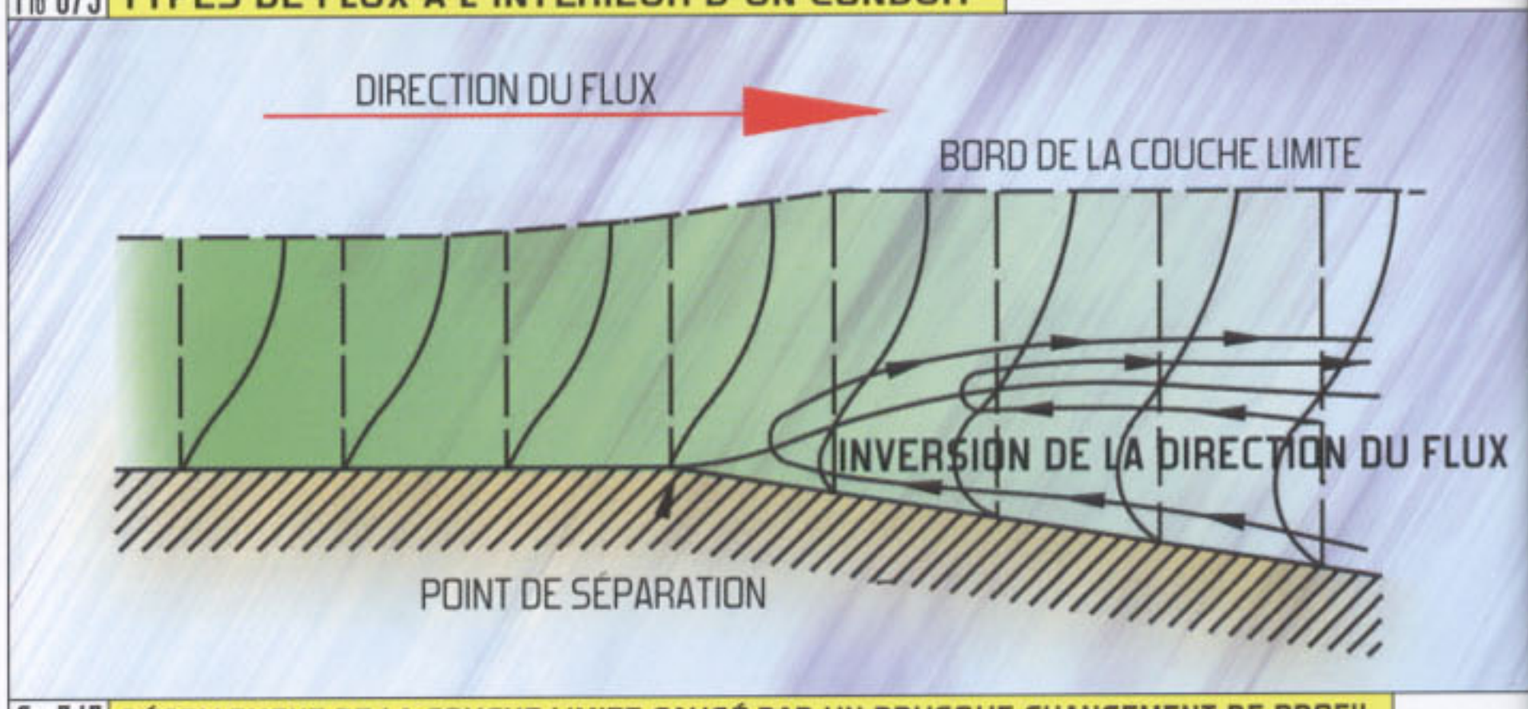


FIG 7/3 DÉCOLLEMENT DE LA COUCHE LIMITE CAUSÉ PAR UN BRUSQUE CHANGEMENT DE PROFIL

On l'exprime comme un rapport de masse sur une surface (on gonfle ses pneus à 2.5 kg/cm^2 par exemple). En réalité, la dimension physique d'une pression est le rapport d'une force par unité de surface. C'est pourquoi les scientifiques l'expriment en Newton/m^2.

Pression dynamique :
Elle se définis comme la moitié du produit de la densité de masse du fluide par la vitesse de ce fluide au carré.

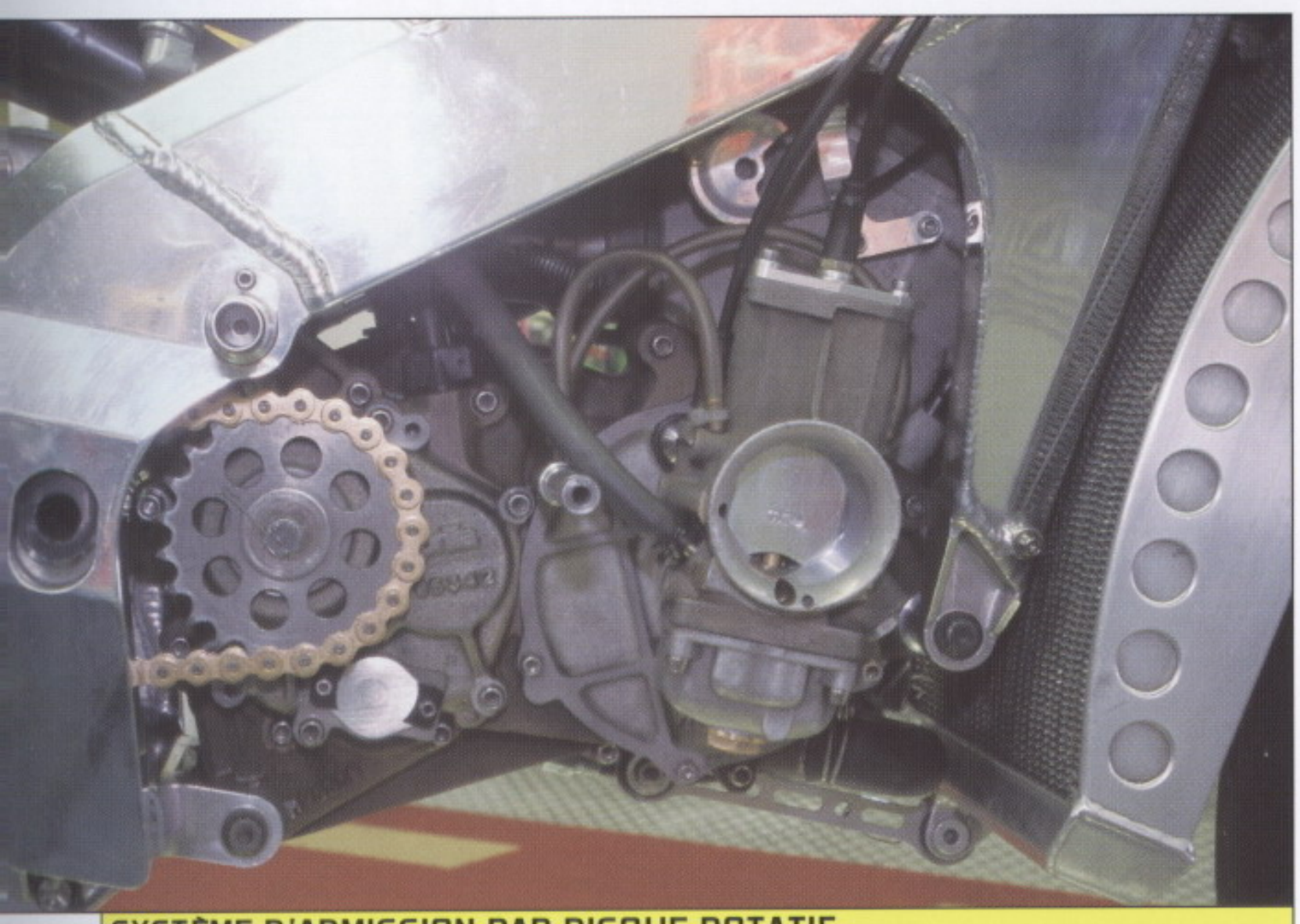
Perturbations de pression :
Elles se propagent sous forme d'ondes se déplaçant à la même vitesse que le son dans ce fluide.

Perte de charge :
Une perte de charge se traduit par la chute du gradient de pression. Elle quantifie la résistance à l'avancement du fluide dans un conduit. Cette résistance est fonction de la section du conduit, de la longueur à parcourir, des accidents géométriques (coude, Y, rétrécissement...) et de la rugosité de la surface interne. Elle dépend également du fluide même, c'est-à-dire de sa viscosité, sa densité et sa vitesse.

Viscosite :
Tous les fluides sont caractérisés par leur viscosité qui génère les frottements. Pour les liquides, cette viscosité diminue quand la température augmente (par exemple l'huile). C'est le contraire dans les gaz: plus ils chauffent et plus ils deviennent visqueux.

Flux laminaire:
C'est l'état d'un écoulement dans lequel les filets composant le flux sont parallèles entre eux sans se mélanger.
La distribution des vitesses dans l'écoulement suit une loi parabolique, avec un maximum au centre de la section du conduit, ou de l'écoulement. Ce maximum est égal au double de la vitesse moyenne (fig.6/3).

Flux turbulent:
L'écoulement est laminaire jusqu'à une certaine valeur critique de la vitesse. Passé cette vitesse, il devient turbulent. Les molécules de fluide avancent de façon désordonnée en créant des vortex. La distribution des vitesses est plus uniforme à cause du mélange continu des différents filets du flux. En règle générale, étant données la longueur des conduits, les vitesses, les accélérations et décélérations subies par le fluide, on considère que l'écoulement est presque toujours de nature « turbulente ».



SYSTÈME D'ADMISSION PAR DISQUE ROTATIF.
Ce dispositif est utilisé sur les Aprilia 250 cm³.

Couche limite :
C'est la fine couche entre la paroi du conduit et le fluide gazeux en mouvement dans laquelle prédomine l'action de la viscosité et des turbulences. Toutes les pertes par frottement entre le fluide et les parois ont lieu dans cette couche. Dans le cas d'un écoulement turbulent, cette couche est plus épaisse et donc la perte de charge est plus importante.
Tant que cette couche reste en contact avec la paroi, elle se comporte comme une sorte de lubrifiant facilitant le passage dans la partie centrale du conduit.
Si par contre elle se décroche de la paroi à cause d'un changement de direction trop accentué, d'une longueur excessive, ou d'une brusque variation de diamètre, la perte de charge du conduit augmente de façon démesurée.
Le phénomène de « couche limite » est l'un des plus intéressants pour un préparateur dans la mesure ou le polissage des conduits d'admission permet de réduire cette couche et la perte de charge qui en résulte. En revanche, ne pas tenir compte du phénomène de « couche limite » peut conduire à faire plus de mal que de bien à un moteur initialement performant.

PERTE DE CHARGE

Rappelons que quel que soit le fluide, la perte de charge se traduit par une chute du gradient de pression et qu'elle mesure la résistance à l'avancement du fluide dans le conduit.
Dans les conduits d'admission, outre les pertes d'énergie par frottement, on observe des pertes causées par :
1) Un décollement du flux de la paroi
2) La présence d'un flux secondaire au niveau des courbes et la force centrifuge.
Cependant, ce flux secondaire peut aider à réduire les pertes par décollement.

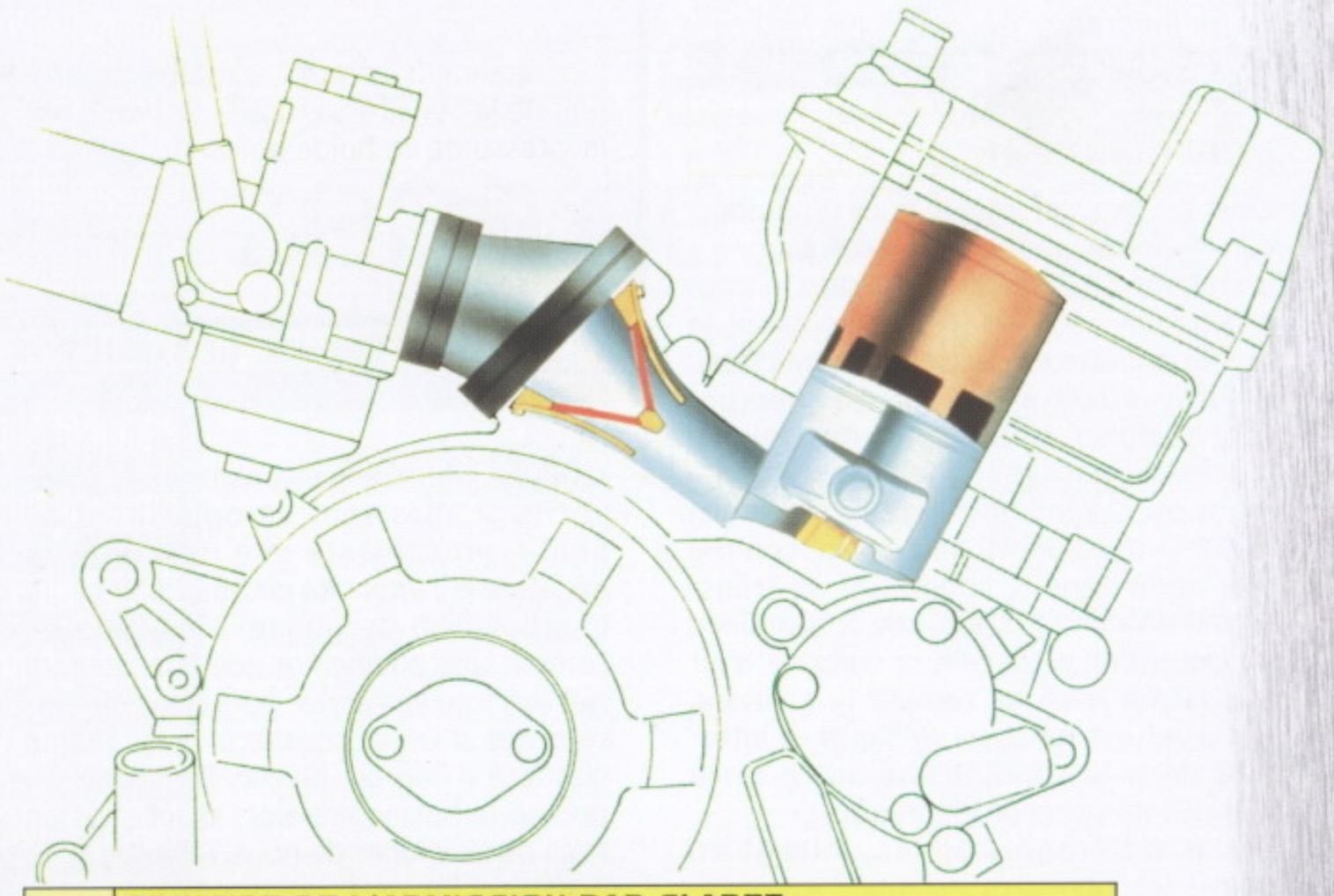
TURBULENCE

Comme nous l'avons déjà dit, à basse vitesse, l'écoulement peut être considéré comme laminaire. Les turbulences sont pratiquement inexistantes, tout comme les différences de vitesse et de pression dans les diverses zones d'un conduit.
Dans les conduits d'un moteur, l'écoulement de l'air est extrêmement turbulent.
Lorsqu'un conduit d'admission est fermé, l'air y est relativement calme. Ce sont les phénomènes de Ram-jet, de résonance et d'interférence qui agissent.
Mais en quelques millisecondes, ce flux d'air subit une violente accélération et sa vitesse passe de 70 à 120 m/s. Il se forme une colonne d'air qui est à nouveau bloquée quelques millisecondes plus tard et la vitesse retombe quasiment à zéro.

Durant ce bref instant de mouvement, l'air tend à suivre le chemin de moindre résistance et instantanément, des turbulences se forment dans les zones adjacentes au flux. Là, la direction du flux s'inverse purement et simplement.
Ces turbulences ont bien évidemment des effets négatifs en empêchant un écoulement homogène du flux à l'intérieur du conduit. Même si ces turbulences sont parfois volontairement créées et utilisées pour dévier le flux et lui faire suivre un chemin bien défini, le bilan reste tout de même négatif.
La turbulence la plus élémentaire se forme par le décollement de la couche limite après une variation de vitesse et donc de pression, ou bien à cause d'un brusque changement d'inclinaison du plan de parcours (fig. 7/3).

RAM JET, RESONANCE ET INTERFERENCE

Si ces trois phénomènes n'existaient pas, aucun moteur deux ou quatre temps ne pourrait fonctionner en dehors d'un certain régime, à moins d'être équipés d'un compresseur. Nous avons déjà fait état des temps très courts disponibles pour la mise en mouvement de la charge gazeuse. Intuitivement, on imagine facilement que mettre en mouvement une colonne d'air, même de gaz et sur un court trajet, demande un peu plus de temps que quelques millisecondes.
Dans la phase d'admission, on a une masse de gaz en mouvement qui se déplace puis est arrêtée suivant une séquence déterminée et avec une fréquence dépendante du nombre de tr/min.
Le Ram-jet n'est autre que le fameux coup de bélier bien connu des hydrauliciens et des plombiers qui tentent de l'éviter au maximum.



PRINCIPE DE L'ADMISSION PAR CLAPET
Les paramètres principaux sont l'étanchéité et la rigidité

En revanche, les motoristes font tout pour en utiliser les effets dans la mesure ou ce phénomène est prévisible : il se produit spontanément à chaque fois qu'un conduit se ferme (admission, échappement, transfert).
Considérons un conduit d'admission fermé par une boîte à clapets : la charge fraîche est brusquement arrêtée après avoir atteint une certaine vitesse et l'air se densifie à proximité immédiate des clapets fermés en créant une surpression localisée. Puis, arrivée à une valeur limite, la pression décroît (fig. 8/3).
Lors de la première oscillation du flux (aller-retour), on peut considérer que la pression ne perd quasiment pas en intensité. Si les clapets s'ouvrent à ce moment là, un jet intense entre dans le carter sans que la colonne d'air entière n'ait besoin d'être encore accélérée. Par contre, si l'on attend la seconde ou la troisième oscillation, la pression sera moindre.
C'est pourquoi en compétition, on tente d'utiliser la première ou la seconde oscillation en les faisant coïncider avec le régime de puissance maxi, d'où des conduits d'admission les plus courts possibles. Un rapide calcul nous permet de savoir que la charge s'exerçant sur une boîte à six clapets de 6 cm^2, pour un conduit de 30 mm de diamètre et une vitesse moyenne de l'air de 80 m/s, est d'environ deux kilos, ce qui n'est pas négligeable pour une colonne d'air de 30 mm de diamètre.

p=0.120 c=330 v=50 aire = 0.0007068
p x c x v x aire = F
0.120 x 330 x 80 x 0.0007068 = 2.239 kg

Ce chiffre correspond à la pression s'exerçant derrière les clapets dont l'onde se déplace avec un temps d'aller-retour de :

$$s = 2 \times \frac{\text{longueur du conduit en m}}{\text{(vitesse de l'onde de pression)}}$$

En supposant un conduit de 35 cm et une vitesse de propagation de 330 m/s, on obtiendrait :

$$s = 2 \times \frac{0.35}{330} = 0.0021212$$

c'est-à-dire 471 cycles/s.

C'est un peu trop rapide pour un moteur conventionnel car ce chiffre correspond à un régime de 28 285 tours/min. On s'approche des régimes réels en prenant la moitié de cette valeur, soit la demi-onde.
D'autres effets existent et se superposent à celui-ci. À l'ouverture des clapets, la pression dans le conduit chute rapidement en créant une dépression quasi instantanée. Celle-ci se déplace comme une onde dans le conduit et se transforme en compression une fois arrivée au bout. Elle intensifie la colonne d'air qui est en train de remplir le cylindre. Cet effet est lui aussi cyclique et introduit dans le conduit une autre série d'ondes de pression/dépression.
Si ces différentes ondes entrent en phase, les intensités s'ajoutent en générant une interférence constructive. À l'inverse, si elles sont en opposition de phase, on constate une interférence négative et l'intensité chute (fig. 9/3).
L'opposition de phase, c'est un peu comme une balançoire que l'on pousserait alors qu'elle arrive vers soi : elle s'arrête net si on la pousse avec la même quantité d'énergie qu'elle. En phase, on pousse la balançoire alors qu'elle est en train de s'éloigner de nous. Résultat : elle accélère. En bref, les ondes en phase voient leur intensité s'ajouter à la principale et l'on parle de résonance constructive. Globalement, le principe de la résonance est utilisé dans les collecteurs d'admission et d'échappement. Bien souvent, on l'utilise aussi dans les conduits servant à alimenter la boîte à air.
Malheureusement, on ne peut pas vraiment tirer profit de ces phénomènes sur les moteurs de série à cause de leurs limites structurelles mais aussi et surtout des contraintes imposées par la réglementation. □

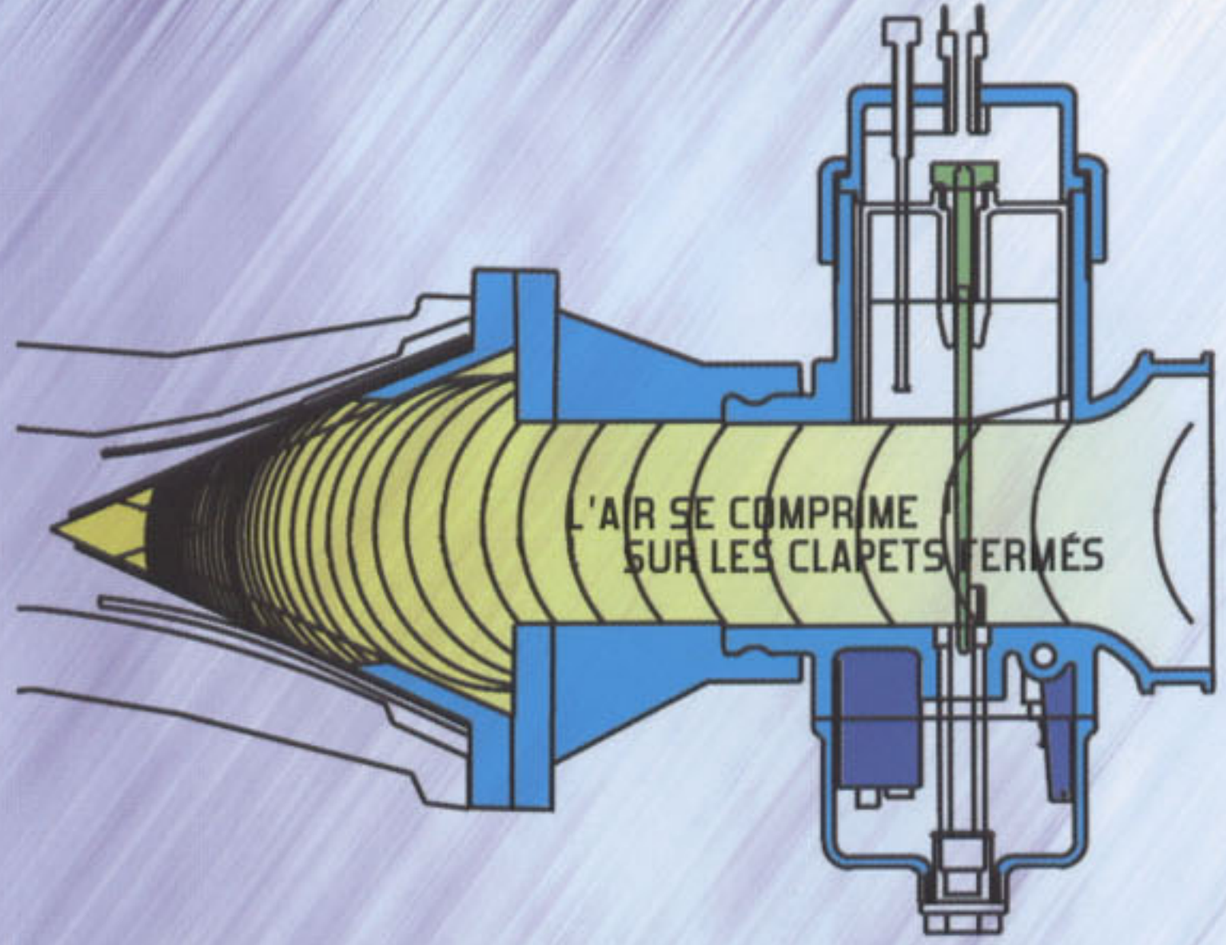
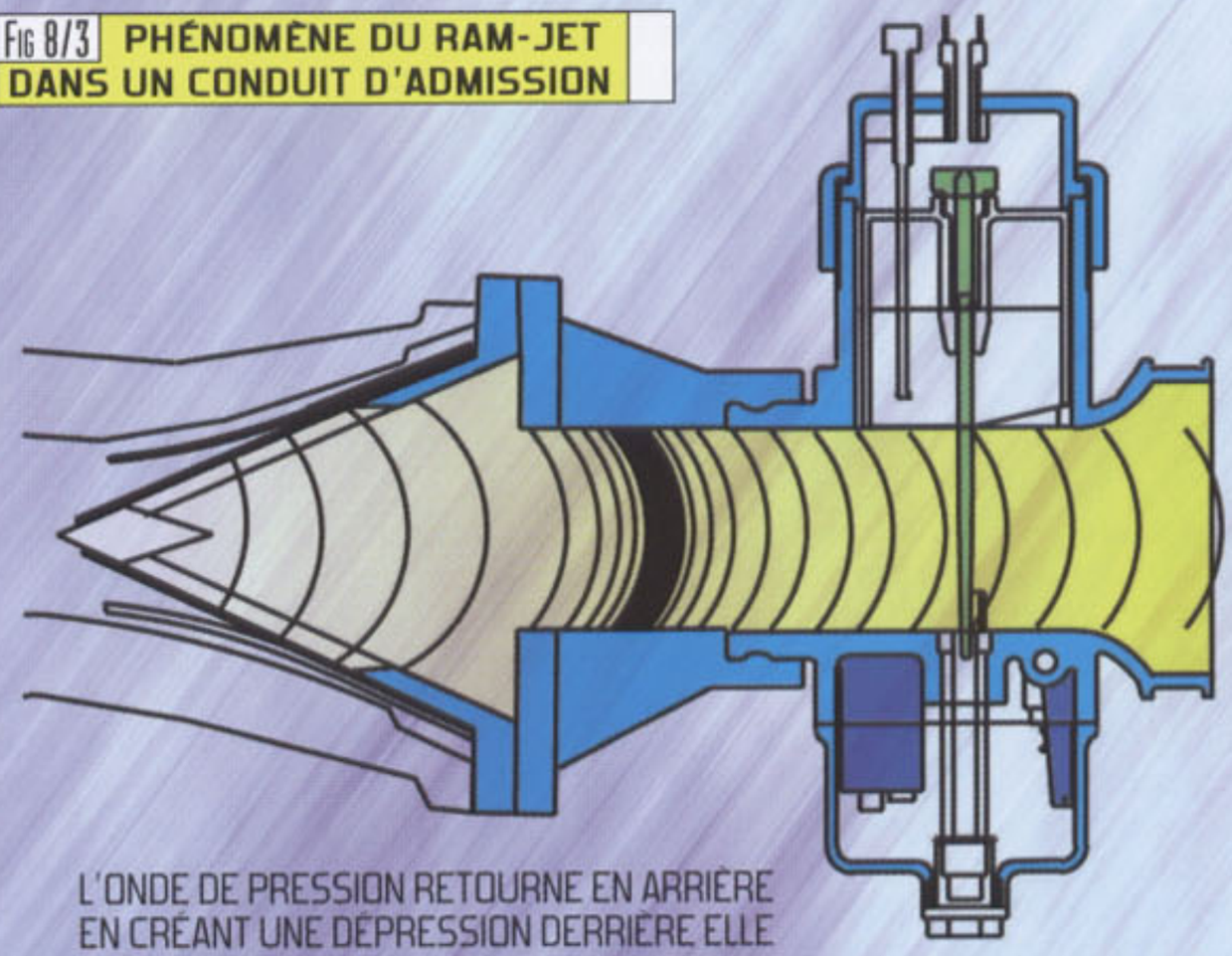


FIG 8/3 PHÉNOMÈNE DU RAM-JET DANS UN CONDUIT D'ADMISSION



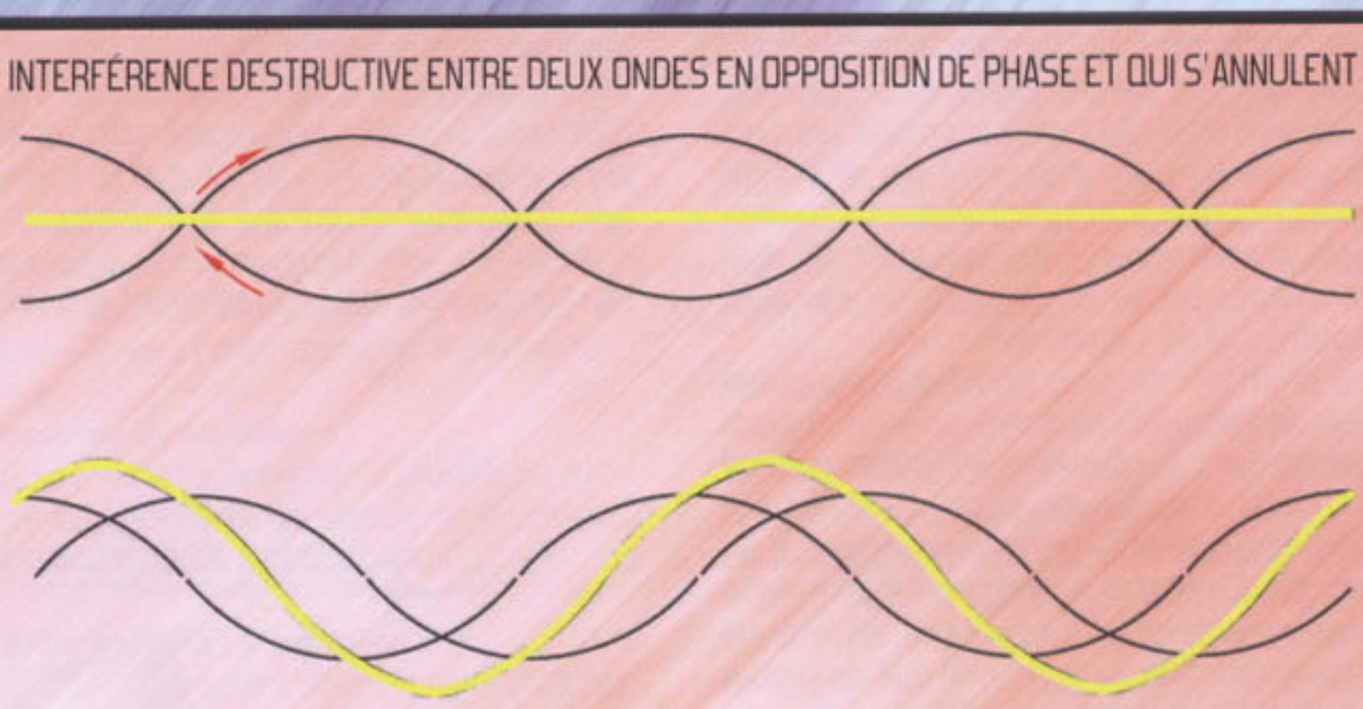


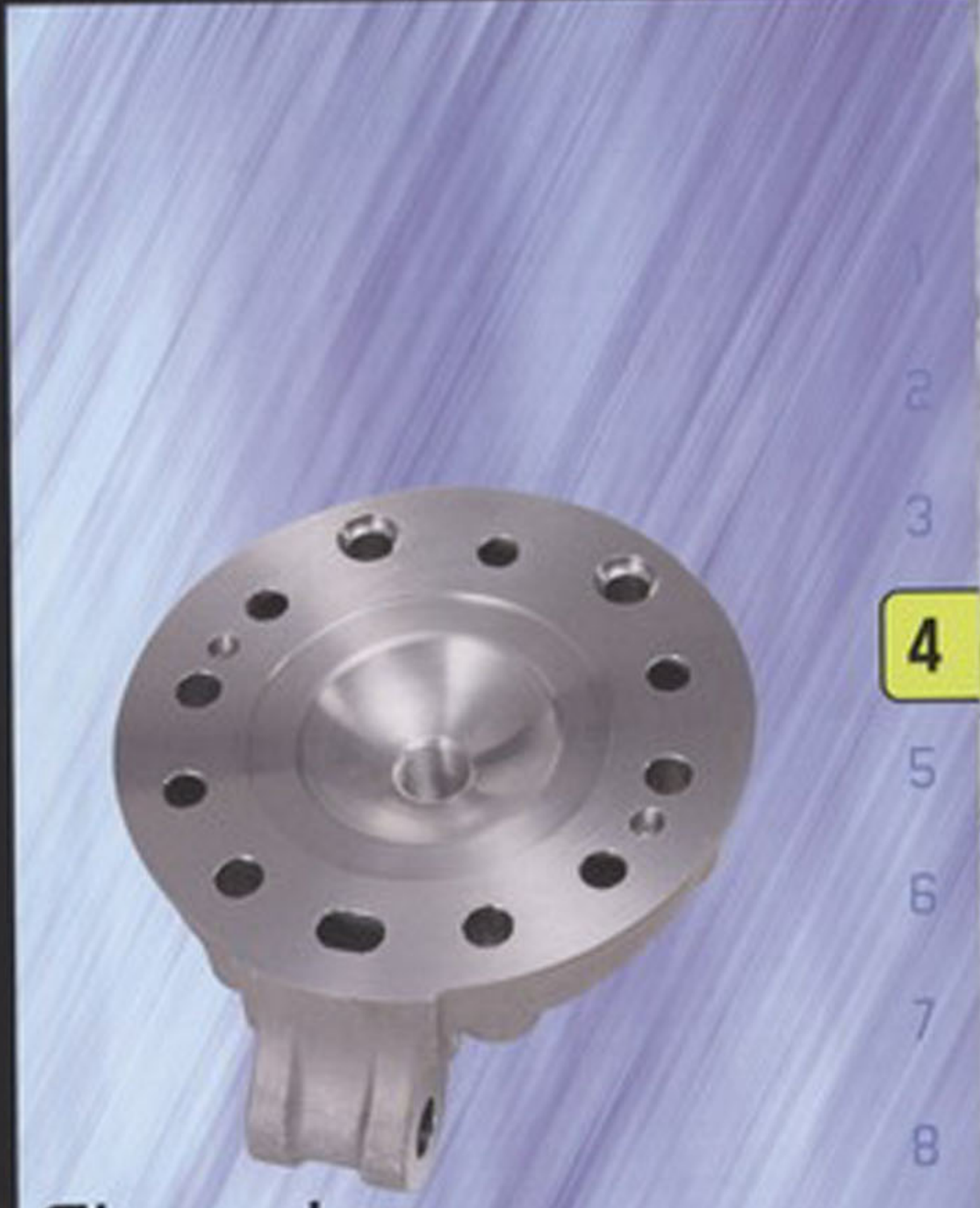
FIG 9/3 INTERFÉRENCE DESTRUCTIVE ET CONSTRUCTIVE

La préparation des moteurs 2 temps

CHAPITRE 4

de COMBUSTION

Chambre de combustion, rapport de compression et squish
Les types de chambres de combustion
Forme idéale de la chambre de combustion
Combustion/Avance à l'allumage/La détonation
Qu'est ce que le rapport volumétrique ?
Comparaison avec le rapport de compression effectif
Rapport volumétrique japonais
Les effets du taux de compression
Squish/Épaisseur et Surface du squish
Direction du squish
Corrélation entre taux de compression et aire de squish
Rapport de compression et HSLM
La bougie



Chambre de COMBUSTION rapport de compression et zone de squish

3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16

Comme nous l'avons vu au cours du second chapitre, le rendement thermique est l'un des rares points sur lequel il est possible d'intervenir, surtout lorsque les règlements techniques limitent les modifications autorisées au niveau de la distribution, du carburateur ou des diverses brides. Quant à la chambre de combustion, elle est au centre de la conception d'un moteur. Outre le fait qu'elle soit la terminaison de l'admission et le point de départ de l'échappement, elle est surtout le lieu où se déroule la combustion. Tous les tests confirment l'influence de la forme de cette chambre dans le déroulement de cette séquence. Bien souvent, cette importance est sous-évaluée dans la bibliographie traitant des deux temps, tout spécialement ceux qui sont consacrés à la consommation et à la pollution. Ces mêmes ouvrages ne font que rarement part de sa capacité à offrir plus ou moins de puissance et, de plus, disent beaucoup sur le rapport de compression et ses fonctions mais peu sur le squish et son importance. Du coup, on a trop tendance à se concentrer sur la notion de rapport de compression. L'expérience montre pourtant que ce rapport est souvent surévalué au détriment d'autres paramètres très importants tels le squish ou la forme de la chambre de combustion.
On constate d'ailleurs que les chambres de combustion très efficaces sur route avec de faibles émissions polluantes, sont plus que médiocres dans le cadre d'une utilisation en compétition.

LES TYPES DE CHAMBRE DE COMBUSTION

Les principales formes de chambre peuvent être classées en trois catégories :

Hémisphérique :
C'est la forme choisie depuis longtemps par le monde de la compétition qui lui trouve pratiquement tous les avantages, dont celui de la simplicité.

Tronconique :
Parce qu'elle provoque une variation de pression trop importante doublée d'une transition trop rapide aussi bien en phase de compression que de détente, cette forme a rapidement été délaissée par les bureaux d'étude. On ne la rencontre plus guère aujourd'hui malgré l'avantage théorique d'une meilleure maîtrise de l'orientation des ondes de pression.

En casquette :
La chambre en casquette permet un meilleur brassage du mélange lors de l'explosion grâce à une zone de squish étendue. Il en résulte une consommation et un taux d'émissions polluantes moindres. Il est donc logique de la retrouver essentiellement sur les moteurs routiers.

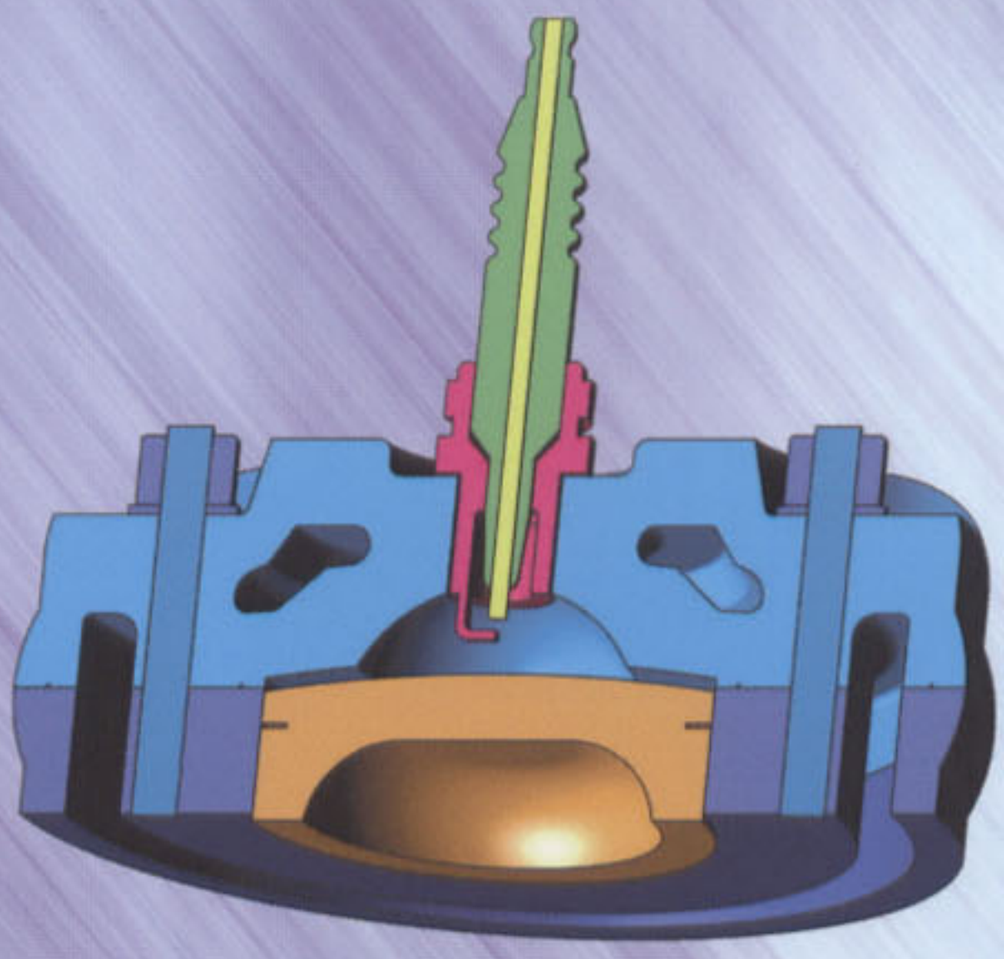


FIG 1/4 CHAMBRE DE COMBUSTION HÉMISPHÉRIQUE

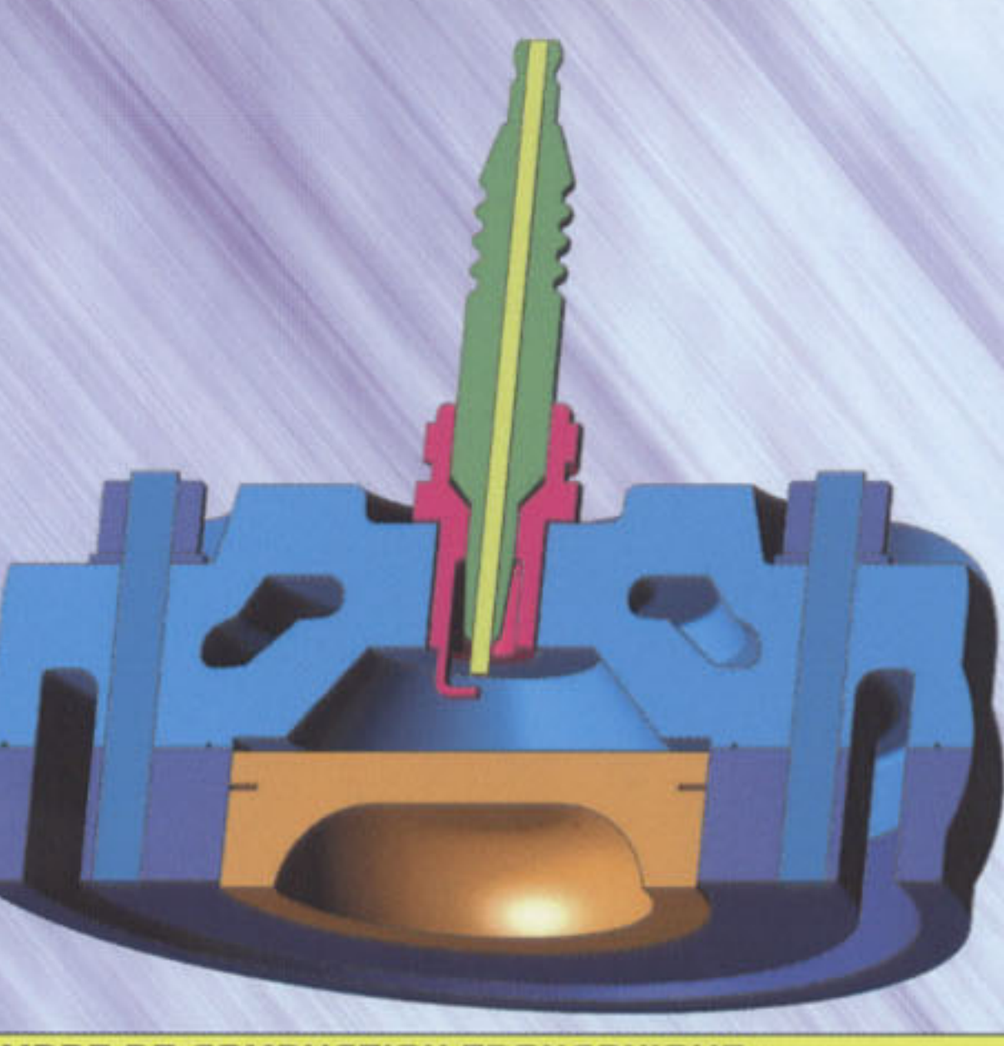


FIG 2/4 CHAMBRE DE COMBUSTION TRONCONIQUE

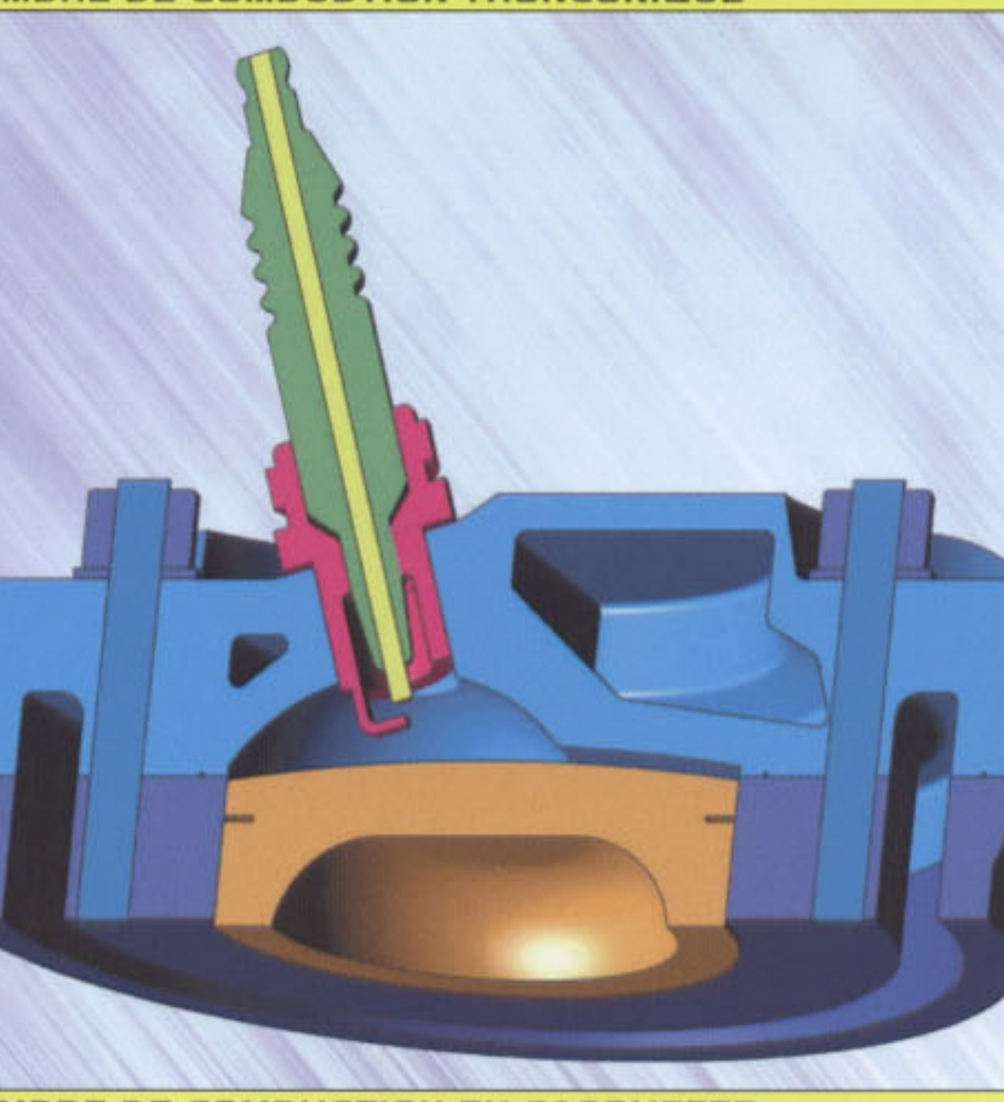


FIG 3/4 CHAMBRE DE COMBUSTION EN CASQUETTE

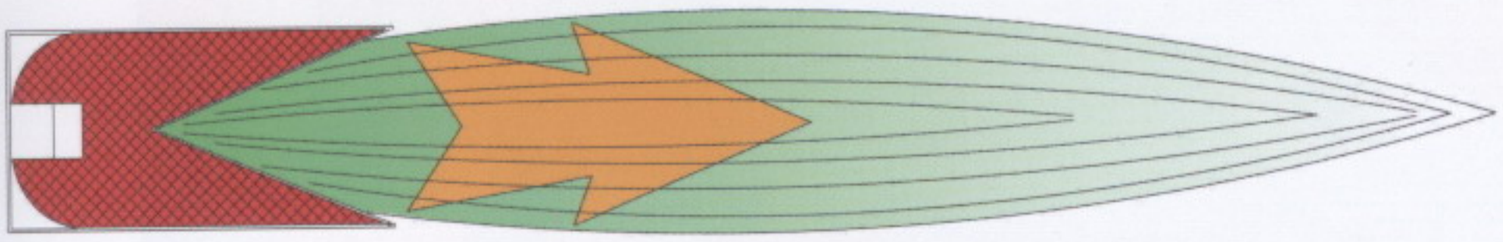


Fig 4/4 **FIG 4/4 CHARGE CREUSE ET ORIENTATION DE L'EXPLOSION**

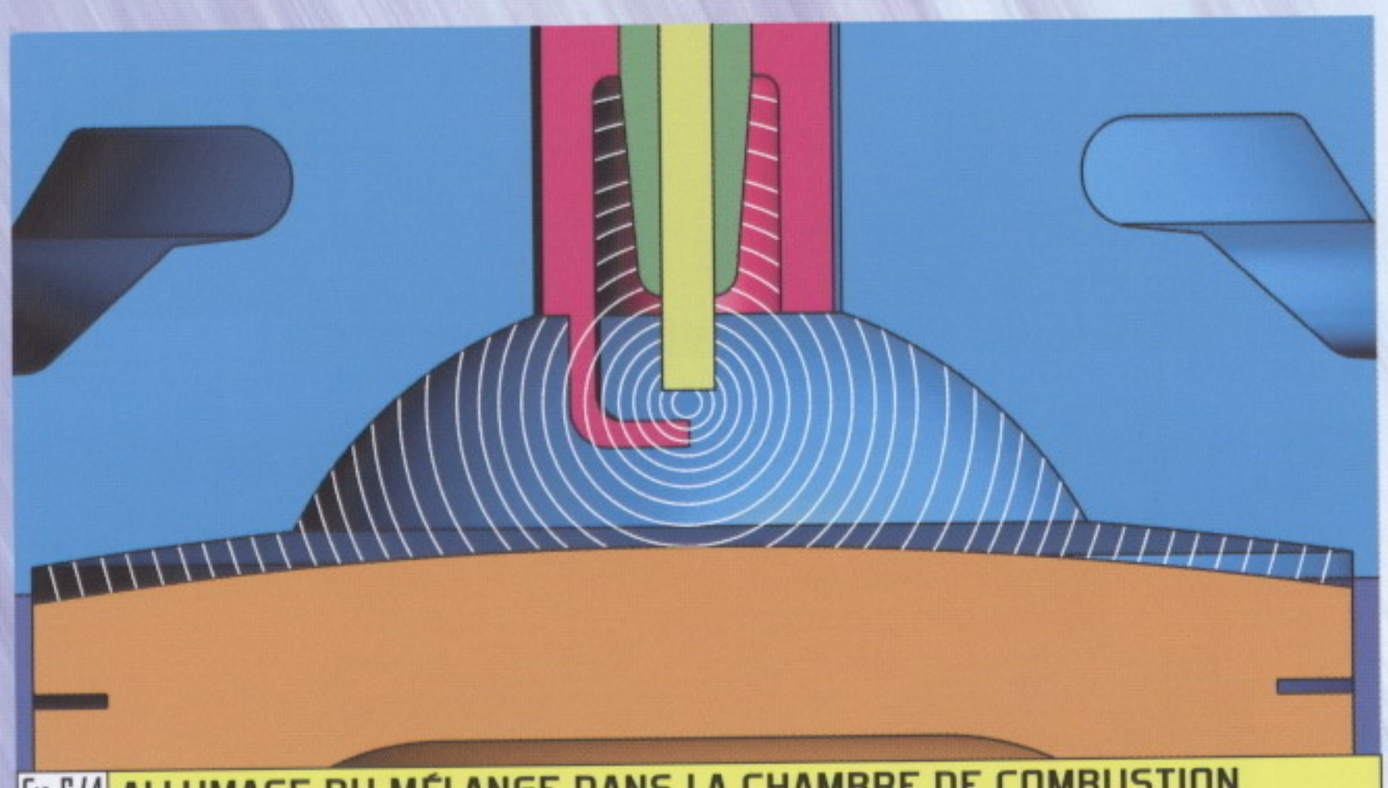


Fig 5/4 **ALLUMAGE DU MÉLANGE DANS LA CHAMBRE DE COMBUSTION**

FORME IDEALE DE LA CHAMBRE DE COMBUSTION

En premier lieu, la chambre de combustion doit être compacte et sa surface limitée afin de concentrer le volume au plus près de la bougie.
Compte tenu des temps de combustion réduits, on peut penser à tort que la pression s'exerce de façon uniforme dans toutes les directions. C'est passer outre le fait que l'explosion à une composante dynamique de pression prépondérante suivant l'axe du cylindre, sans parler des ondes réfléchies par le ciel de piston. D'ailleurs, bon nombre de motoristes et de préparateurs sous-estiment ce phénomène de réflexion.
Ces ondes qui possèdent une vitesse très élevée, traversant même la combustion et à l'origine de la détonation, peuvent servir à accroître la poussée sur le piston si elles sont correctement utilisées et dirigées.
Ce principe est bien connu des militaires qui s'en servent dans les obus creux pour perforer les blindages des chars. Dans ce cas, l'explosion est canalisée par la concavité de l'explosif et par la forme de l'enveloppe. L'inclinaison importante des faces focalise littéralement l'énergie de l'explosion sur un point central et permet ainsi capable de perforer des épaisseurs de métal de plus de 10 cm (fig. 4/4).

On exploite donc le même principe dans notre chambre de combustion : les parois orientent la combustion et donc l'onde de pression vers le bas, au centre du piston. En théorie, on pourrait presque observer une réflexion continue si l'on avait une chambre hémisphérique et un piston dont le ciel serait lui aussi hémisphérique, mais en creux. Cependant, la nécessité de réduire les dimensions de la chambre et la volonté de simplifier la forme des pistons ont eu raison de cette astuce technique qui n'a jamais été développée en série, malgré des essais encourageants.
La forme ellipsoïdale de la chambre dans la culasse sert à contrôler la hausse de pression opérée par le piston avant le PMH puis la hausse de pression en phase de détente.

COMBUSTION

Au moment de l'allumage, le mélange autour de la bougie subit une réaction en chaîne qui s'étend progressivement sous forme lenticulaire, en fonction du dessin de la chambre (fig. 5/4).
Au fur et à mesure que la réaction avance, des ondes de pression compriment le mélange dans des zones éloignées de la bougie et accroissent la température, facilitant ainsi la combustion. Du coup, plus le mélange est homogène, plus la combustion est rapide et complète. En revanche, s'il existe des zones remplies d'air, d'essence en grosses gouttes ou des poches de gaz brûlés, la réaction accélère ou ralentit sans être optimale. Dans le pire des cas, il y a détonation.

AVANCE A L'ALLUMAGE

Il est important pour comprendre d'imaginer visuellement comment se déroule une combustion. En effet, ce déroulement conditionne les hausses de pression en chambre de combustion, donc le rendement thermique, donc la puissance.
Si une explosion induit une notion de violence et de rapidité, la combustion est plutôt lente en comparaison des standards « explosifs » : quelques millièmes de secondes.
La réaction de combustion a lieu entre l'hydrogène et le carbone qui composent le carburant, et l'oxygène apporté par la charge d'air frais (le comburant).
La combustion débute généralement entre 10 et 30 degrés avant le PMH, en fonction du type de moteur et de la vitesse de rotation. À bas régimes, l'avance requise est faible puisque l'efficacité est suffisante. Mais au fur et à mesure que le régime augmente, le temps alloué à la combustion diminue. À hauts régimes, l'avance doit donc être plus importante puisque la combustion se déroule toujours autour du PMH et dans un volume constant mais avec un temps réduit.
Les turbulences dans les conduits, le Ram-Jet, la résonance, sans oublier les variations de charges générées par les mouvements du boisseau du carburateur obligent à un ajustement continuel de l'avance à l'allumage. Grâce à leur puissance de calcul et à l'analyse de nombreux paramètres, les boîtiers électroniques modernes sont capables de gérer l'allumage en temps réel. L'avance varie donc continuellement afin d'optimiser la consommation ou la puissance, suivant le type d'utilisation.
Plus la chambre de combustion est compacte, plus l'avance à l'allumage est faible. À l'inverse, plus la chambre de combustion est vaste et plus l'avance doit être importante. Le risque de détonation secondaire est également un facteur important.
Dans le cas de moteurs très évolués sur lesquels la chambre de combustion est fortement optimisée, l'avance peut être très réduite. Parfois même, et c'est le cas pour les karting, ces moteurs peuvent fonctionner avec une avance fixe puisque la chambre de combustion a été conçue dans ce but.

LA DETONATION

C'est la conséquence directe d'une mauvaise combustion et c'est le pire des phénomènes qui puisse survenir à l'intérieur du groupe thermique.

Si la hausse de pression dans la zone d'ombre de la chambre devient trop élevée, le mélange qui s'y trouve se comportera comme un explosif (fig. 6/4). Généralement, une détonation cause pas mal de dégâts : surchauffe, serrage, détérioration de la bougie et, plus impressionnant, piston fondu.
Lorsque la détonation survient, il se crée de très rapides pics de pression se déplaçant sous forme d'ondes. Ils font détoner d'autres poches de mélanges en un temps très bref, avant même le PMH, avec des effets destructeurs pour le ciel de piston qui n'est pas conçu pour résister à de telles hausses localisées de température et de pression. La détonation éprouve également l'ensemble de l'embiellage.

QU'EST-CE QUE LE RAPPORT VOLUMÉTRIQUE ?

C'est un indice qui quantifie la compression théorique au PMH d'un volume de mélange air/essence contenu dans le cylindre au PMB (fig.7/4). À cylindrée égale, plus le volume de la chambre de combustion est faible, plus le rapport volumétrique est grand. On parle de rapport volumétrique, de rapport de compression et de taux de compression pour dire la même chose.

COMPARAISON AVEC LE TAUX DE COMPRESSION EFFECTIF

Le rapport de compression peut aisément se déduire de mesures directes sur le moteur : il suffit d'une burette graduée ou d'une seringue qui servira à introduire une certaine quantité d'huile dans le cylindre par le puits de bougie. Utiliser d'ailleurs une huile très fluide de type hydraulique qui trouvera facilement son chemin vers le bas moteur une fois la mesure effectuée. Si l'on utilise une huile moteur, plus visqueuse, celle-ci nécessitera le démontage du moteur pour ne pas risquer de coller la segmentation une fois brûlée.

Dans le détail, le processus est simple : on amène le piston au PMH à l'aide d'un comparateur placé dans le trou de bougie. On évitera tout autre méthode, en particulier de se fier aux éventuels repères du volant moteur. Puis on incline le moteur afin d'éviter de piéger d'éventuelles bulles d'air. Ensuite, avec la seringue, on emplit la chambre de combustion jusqu'à à la base du trou fileté de bougie. Une fois la chambre de combustion remplie, vous en connaîtrez le volume. Ajouter le volume du cylindre (la cylindrée unitaire), puis diviser le tout par le volume de la chambre de combustion : vous avez votre rapport de compression.
Dans la pratique, il faut souvent déposer le moteur du cadre pour positionner les cylindres verticalement.
Si l'opération se déroule moteur en

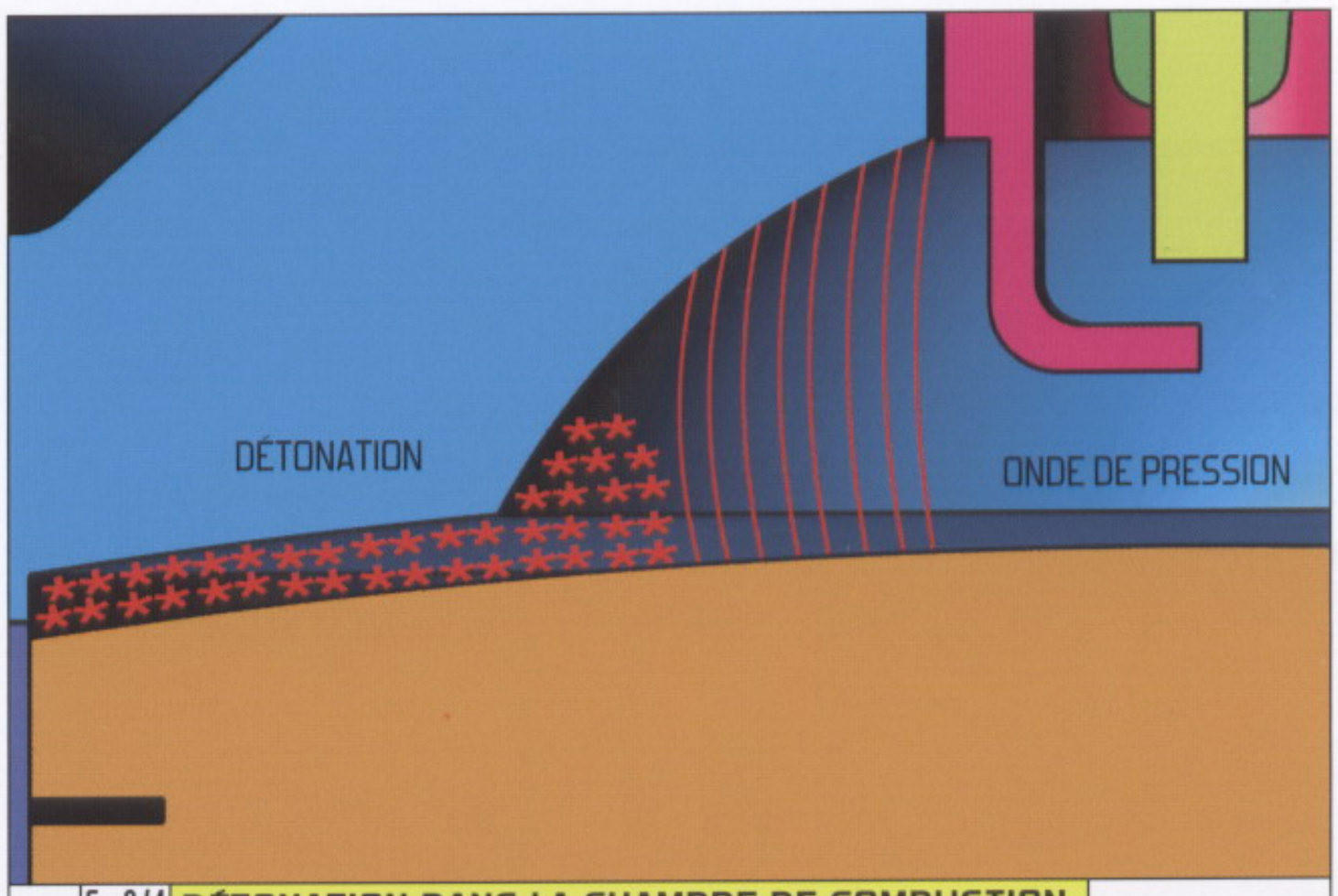


FIG 6/4 DÉTONATION DANS LA CHAMBRE DE COMBUSTION

FIG 7/4 RAPPORT DE COMPRESSION

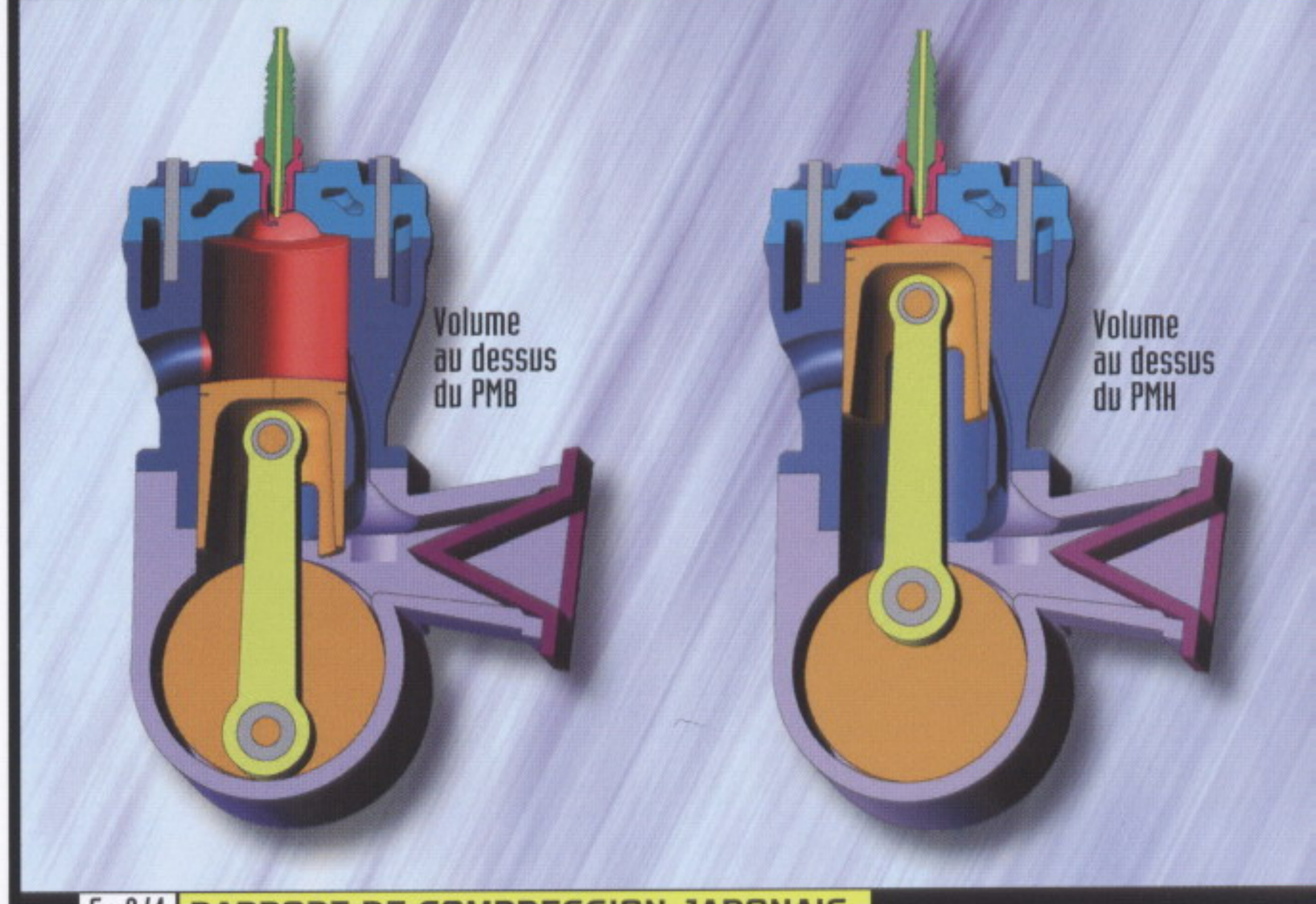
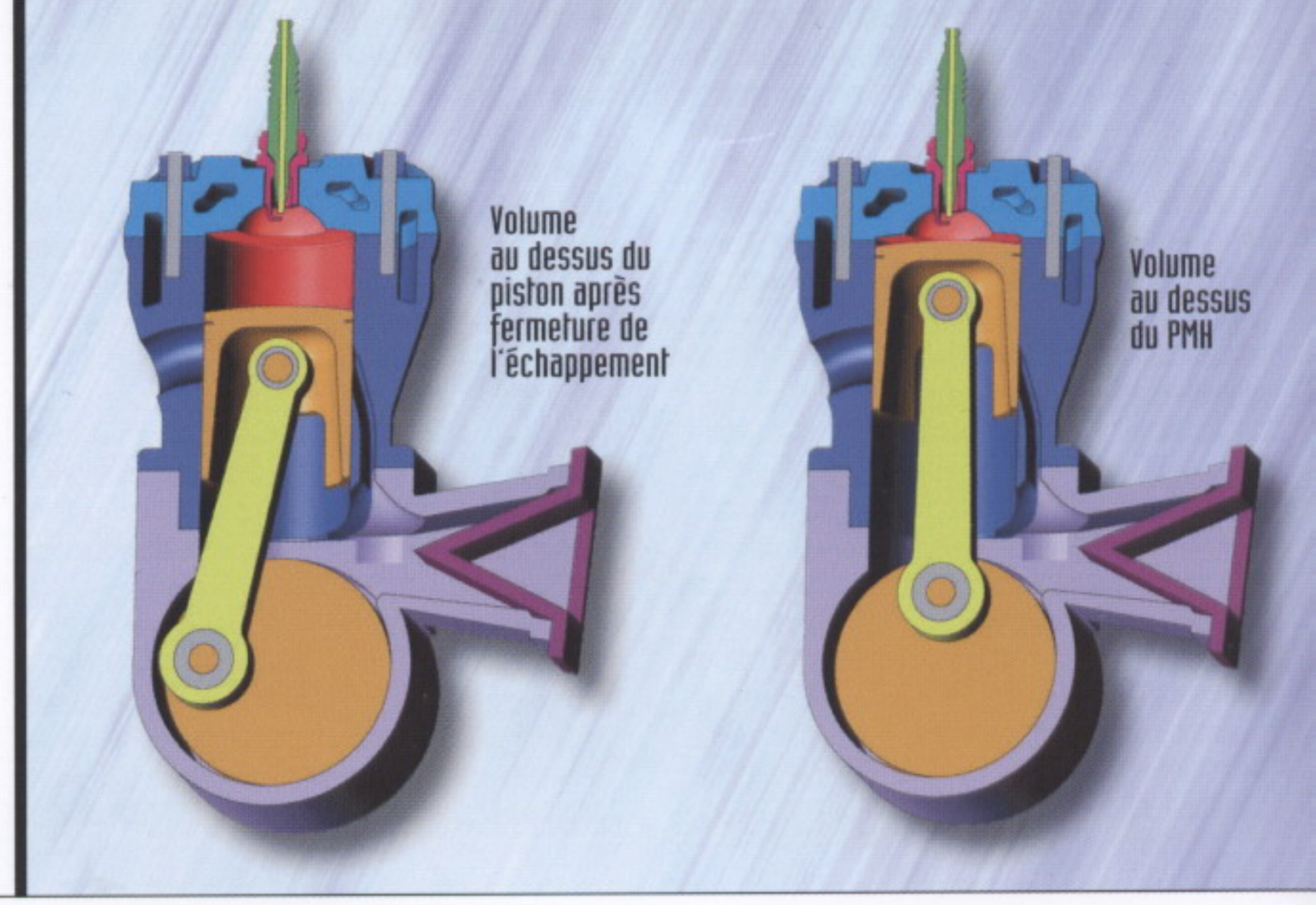


FIG 8/4 RAPPORT DE COMPRESSION JAPONAIS



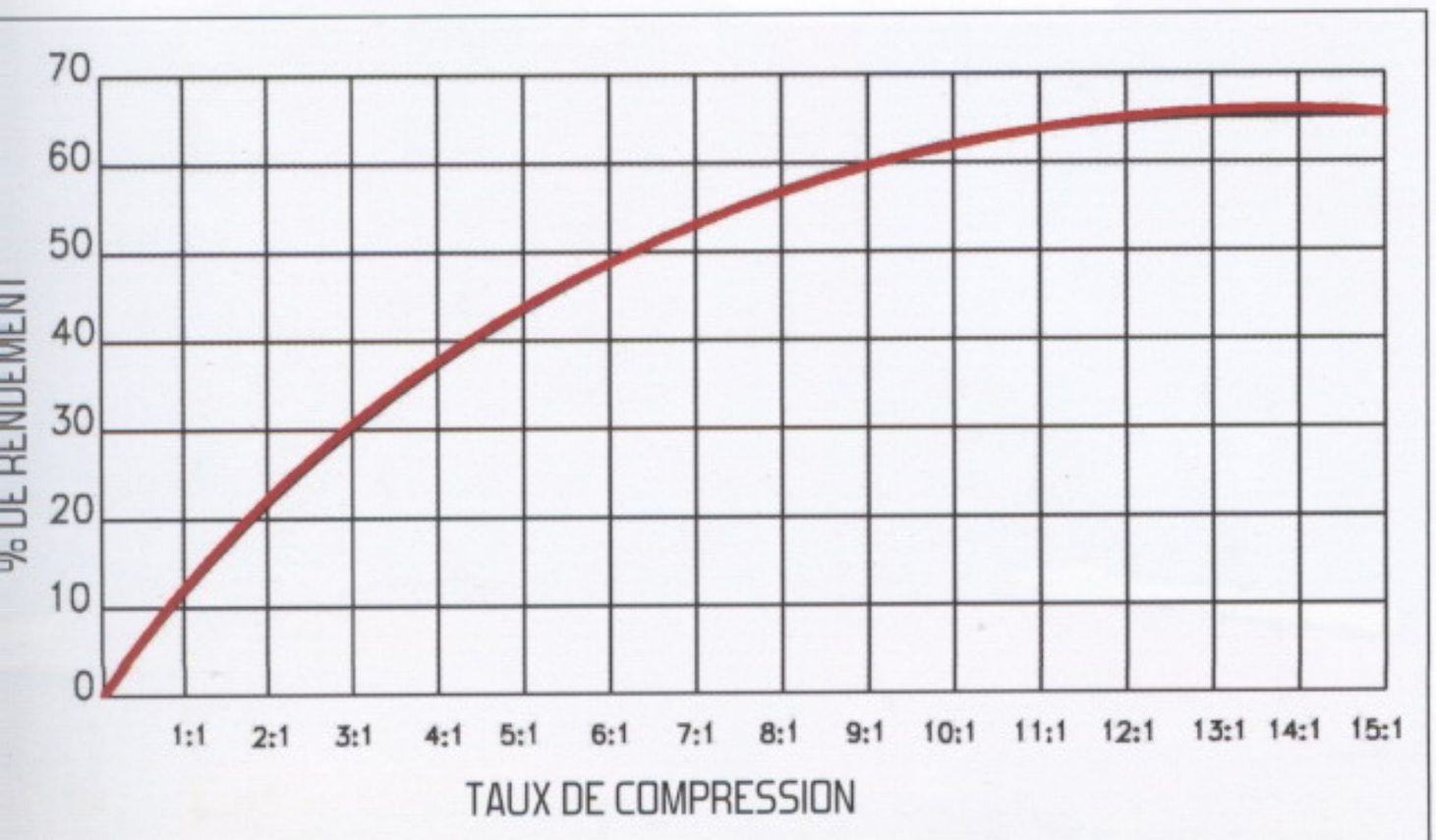


FIG 9/4 **VARIATION DU RENDEMENT EN FONCTION DU TAUX DE COMPRESSION**

lace, il faut tout d'abord déposer l'échappement et incliner la moto pour mettre les cylindres à la verticale. Ainsi, vidange de l'huile ne salira pas le collecteur d'échappement du cylindre mesuré.

e rapport volumétrique est donc égal à :
volume chambre de combustion + ylindrée unitaire)/volume chambre de ombustion
ar exemple, si vous remplissez la hambre de combustion d'un monocyndre 125 cm³ avec 10,5 cm³ d'huile, le apport sera de :

$$\frac{125 + 10.5}{10.5} = 12{,}90$$

a méthode décrite ici donne le rapport olumétrique classique. Toutefois, il xiste une autre méthode venue tout roit du Japon et que nous allons voir ici.

RAPPORT VOLUMÉTRIQUE JAPONAIS

u lieu de tenir compte du volume au essus du piston au PMB, ce principe se éfère au volume au dessus du piston près fermeture complète de la lumière échappement (fig.8/4).
our obtenir un rapport de compression made in Japan », il faut donc au préable déculasser et mesurer avec préciion la hauteur entre le plan de joint du ylindre (en tenant compte de l'épaisur du joint serré au couple) et le haut e la lumière d'échappement. Cette mesure peut se faire de façon suffisamment précise à l'aide d'une jauge de profondeur. Si la course du comparateur ous le permet, mesurez la hauteur ntre la fermeture de l'échappement et e PMH. Cette façon de procéder est plus isée et la mesure plus fiable. On calcule nsuite le volume que cette hauteur eprésente. Si l'on applique cette néthode à notre moteur, sachant que la umière d'échappement ferme 2.73 cm avant le PMH pour un alésage de 54 mm, le volume sera de :
0,7854 x 5.42 x 2.73 = 62.52 cm³

On utilise ici la formule classique du calcul d'un volume d'un cylindre, connaissant le diamètre et la hauteur :
p x D2/4 x H.

Tout le monde connaît cette formule mais on veillera tout de même à vérifier les unités utilisées. Dans notre exemple, le rapport japonais sera donc de :

$$\frac{62.52 + 10.5}{10.5} = 6.954$$

Comme vous le remarquez, la valeur obtenue est sensiblement plus basse.
Ce rapport est assez bizarre, parce que si on rehausse la lumière d'échappement de 1 mm, le volume initial sera plus petit et égal à :

0,7854 x 5.42 x 2.63 = 60.23 cm³

Et le rapport sera :

$$\frac{60.23 + 10.5}{10.5} = 6.73$$

Donc le rapport diminue alors qu'il devrait croître avec un volume initial plus faible.
Cette formule japonaise s'appuie sur l'hypothèse qu'il n'y a pas de compression du mélange avant la fermeture complète de la lumière d'échappement. Il sortirait un volume de mélange fonction de la taille de cette lumière, c'est pourquoi le rapport de compression diminue quand on augmente la hauteur de celle-ci.
Ce raisonnement serait bon si les moteurs tournaient à un tour par minute et si l'on ne tenait pas compte des effets liés au fonctionnement des échappement modernes.
Dans la réalité, seule une infime portion de mélange s'échappe par l'échappement et la compression commence bien dès que le piston quitte le PMB.
D'un autre côté, notre rapport de compression ne caractérise pas non plus la réalité et n'est pas constant. Il ne sert que de valeur comparative.
Durant le fonctionnement, la quantité de mélange varie continuellement à l'intérieur du cylindre, en fonction de l'ouverture du boisseau du carburateur, de la résistance à l'avancement du flux, des phénomènes de ram-jet et des résonances.
À mi-régime, cette quantité reste faible et le rapport de compression effectif tourne autour de 5-6 : 1. Mais plus le régime s'élève, plus le rendement volumétrique augmente. Résultat, le rapport effectif peut dépasser les valeurs théoriquement admissibles pour atteindre 16-17 :1.
Ensuite, alors que les temps raccourcissent et que la résistance augmente, la quantité de mélange admis baisse en même temps que le rapport volumétrique. Ainsi le rapport de compression réel décroît également.
Plus sa valeur est élevée, plus le rendement thermique augmente. Autrement dit, le mélange brûle mieux après la compression initiale et surtout, l'effet qui résulte de cette combustion est plus significatif.
Sur la figure 9/4, on remarquera que jusqu'à un rapport de 6 : 1, l'accroissement du rendement par rapport à la hausse rapport de de compression est élevé. Jusqu'à 11 :1, la pente diminue pour devenir quasiment nulle au-delà de 13 :1, le tout pour un rapport volumétrique de 100 %.
L'amélioration du taux de compression a plus d'importance quand le rendement volumétrique est mauvais. En revanche, sur un moteur où ce paramètre est bon, le taux de compression peut être maintenu dans des valeurs standard.
Prenons un monocylindre 125 cm³ dont le rapport volumétrique est de 100 %. À la fin de la phase d'admission, il contiendra 125 cm³ de mélange. Avec un rapport de 70 %, il n'en aura que 87.5 cm³.
À 100 %, le rapport de compression est de 10 :1, c'est-à-dire que le moteur comprime 125 cm³ de mélange en 12.5 cm³ dans la chambre de combustion (environ).
À 70 %, ce sont seulement 87.5 cm³ qui sont comprimés en 12.5 cm³.
Le taux de compression théorique donnerait le même résultat. En revanche, le taux réel n'est que de 8 : 1.
Pour avoir le même rendement, il faudrait avoir un rapport de 15.3 : 1. Cela ne résoudrait pas le problème pour autant, compte tenu des risques de combustion anormale et le fait que la quantité d'essence est toujours inférieure de 30 %.
Tout cela en dit long sur la prépondérance du rapport volumique lors de la préparation d'un moteur deux temps.
Dès le début de la préparation, il faut définir la valeur théorique du taux de compression que l'on souhaite obtenir. Pour ce faire, il faut déterminer le volume final de la chambre de combustion et relever les zones éventuellement

modifiables. La formule servant à déterminer le volume de la chambre de combustion en fonction d'un rapport donné, est la suivante :

$$\frac{\text{Cylindrée unitaire}}{\text{taux de compression - 1}} = \text{volume de la chambre de combustion}$$

Ce rapport de compression peut atteindre des valeurs de 15:1 ou plus si le moteur et surtout le carburant le permettent. En effet, l'utilisation d'alcool méthylique (méthanol) permet d'atteindre, voire de dépasser cette valeur sans courir de risque. Avec l'essence classique, les risques liés à un taux de compression très élevé annulent les avantages que l'on peut en attendre. De plus, il est devenu très difficile d'augmenter le rapport de compression sans recourir à des formes complexes de chambre de combustion.
D'ailleurs, la majorité des culasses actuelles ne peuvent pas être rabotées, l'étanchéité étant assurée par un joint torique résistant à la chaleur (type VITON). Il faut donc se rabattre sur les tolérances de fabrication et les réduire au minimum. D'origine, sur la plupart des motorisations deux temps, la tête de piston atteint à peine le plan supérieur du cylindre au PMH, s'arrêtant quelques dixièmes de millimètres en dessous. Cet espace est volontairement aménagé par les constructeurs afin d'éviter que la somme des tolérances de fabrication (bielle, piston et cylindre) n'aboutissent au contact entre piston et culasse.
On peut également travailler l'épaisseur du joint de culasse. Il faut se souvenir que sur les petits deux temps, le volume occupé par ce joint est loin d'être négligeable par rapport à celui de la chambre de combustion. Pour un piston de 54 mm de diamètre et une épaisseur de joint de 0.5 mm, on obtient 1.14 cm^3. Cela peut paraître faible, mais dans le cas d'un monocylindre de 125 cm^3 avec un taux de compression de 13.5 :1, ce chiffre représente 10 % du volume total de la chambre. Passer l'épaisseur du joint de 0.5 à 0.25 mm se traduit par un taux de compression qui grimpe à 14.25 :1. Mais si l'on se lance dans cette opération, la mesure de la distance disponible au-dessus du piston au PMH doit être très précise.
Aujourd'hui, le taux de compression est le résultat secondaire d'un travail cherchant tout d'abord à créer des zones de squish capables d'engendrer une turbulence optimale lors de l'explosion.
Les constructeurs comptent beaucoup sur ce phénomène, puisqu'ils ne peuvent repousser sans risque les limites géométriques de leurs moteurs, sans parler des dépôts et de l'éventuelle déformation du piston. La mauvaise qualité des carburants du commerce et le recourt aux carburants verts ont conduit à diminuer le taux de compression. Seuls les moteurs de compétition autorisés à utiliser de l'essence d'indice d'octane 100 sont capables de dépasser certaines limites.

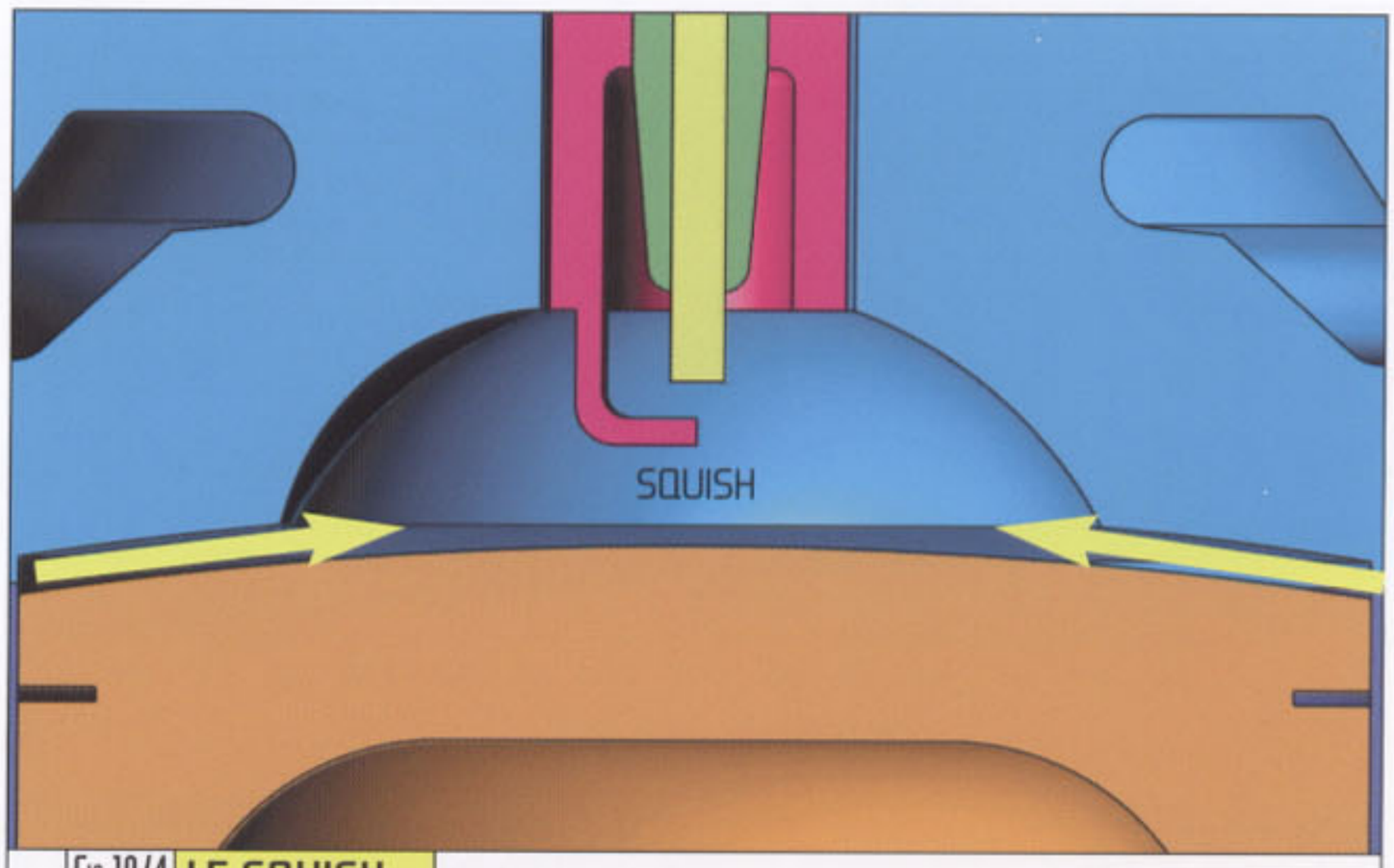
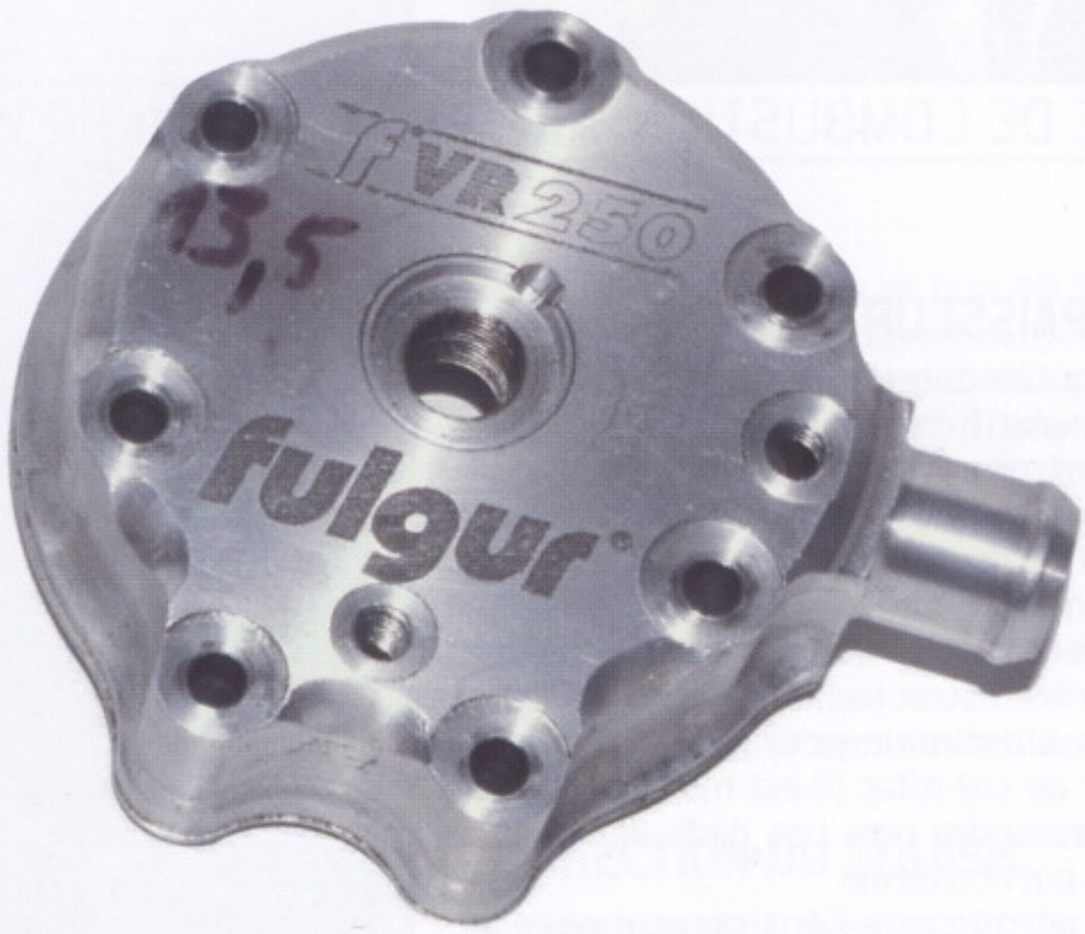


FIG 10/4 LE SQUISH

LES EFFETS DU TAUX DE COMPRESSION

Directement lié au rendement thermique, plus le taux de compression est élevé et plus la combustion est optimale, sans toutefois dépasser les valeurs limites. Plusieurs facteurs interviennent ici. Le premier est que plus le mélange est comprimé, plus il s'échauffe (faites le test avec une pompe à vélo). En considérant que la température accélère la réaction, un mélange plus chaud brûlera mieux. De plus, le mélange sera plus homogène et la combustion de meilleure qualité.
On pourrait alors penser que ce rapport doit être le plus élevé possible quel que soit le cas de figure. Or, ce n'est pas toujours le cas, du moins sur les deux temps. Cette considération est vraie seulement si l'on recherche un rendement élevé aux régimes intermédiaires. À ces régimes, le taux de remplissage n'est pas optimal et un taux de compression élevé participe à l'obtention d'un bon rendement thermique.
En revanche, à haut régime, il convient de limiter ce même rapport volumétrique si l'on veut obtenir un bon rendement thermique.
Sur un deux temps de compétition, le taux de remplissage est maximal à haut régime. Comprimer le mélange dans ces conditions consomme de la puissance car le rendement thermique n'augmente plus de façon significative avec le taux de compression.
Donc, pour avoir plus d'allonge ou un meilleur rendement à haut régime, le taux de compression doit être un peu plus faible.
Dans certaines catégories, une limitation de puissance est imposée via un diamètre de carburateur maxi ou par un restricteur placé dans le conduit d'admission. Ainsi, une fois un certain régime atteint, ces passages étranglent le flux d'air nécessaire à obtenir plus de puissance. Il faut alors tenter d'obtenir le meilleur rendement thermique possible.
Si le règlement l'autorise, l'astuce consiste à augmenter le rapport de compression jusqu'à un niveau proche de celui des moteurs Diesels. Ceci amenant toutefois à côtoyer des phénomènes potentiellement dangereux comme la détonation, le pré-allumage, la surchauffe...À titre d'exemple, les moteurs de karts 100 cm^3 revendiquent des rapports de compression de 15-16 :1 voire plus. Pour limiter ces risques, la seule solution est d'augmenter la quantité de mélange admis afin de refroidir la chambre de combustion. Par ailleurs, un mélange riche est naturellement antidétonant car la quantité d'essence imbrûlée, en plus de refroidir la chambre, ralentit la combustion.
L'excès d'essence sur les parois ne fait pas de dégât, au contraire. Mélangée à l'huile, elle améliore la lubrification et empêche un transfert excessif de chaleur vers la culasse, le piston et le cylindre. Mais cette essence se retrouve dans l'échappement, source de pollution, et sur les concurrents qui vous suivent.
Comme elle refroidit aussi les gaz d'échappement, il faut tenir compte de son effet sur la détente lors de la conception de l'échappement.
La plage du moteur est réduite en conséquence car si l'on descend sous le régime optimal, la bougie (à remplacer par une autre d'indice thermique supérieur) n'arrive pas à accomplir pleinement sa tâche et s'encrasse rapidement.
Dans les coupes de marques dont les règlements limitent les interventions, on se retrouve face à des choix délicats car l'unique intervention permise consiste souvent à modifier l'épaisseur du joint d'embase (carter/cylindre). Cela aboutit à des conséquences parfois



La culasse d'un moteur 2 Temps se résume à la chambre de combustion. Ici un ensemble interchangeable sur un modèle de compétition.

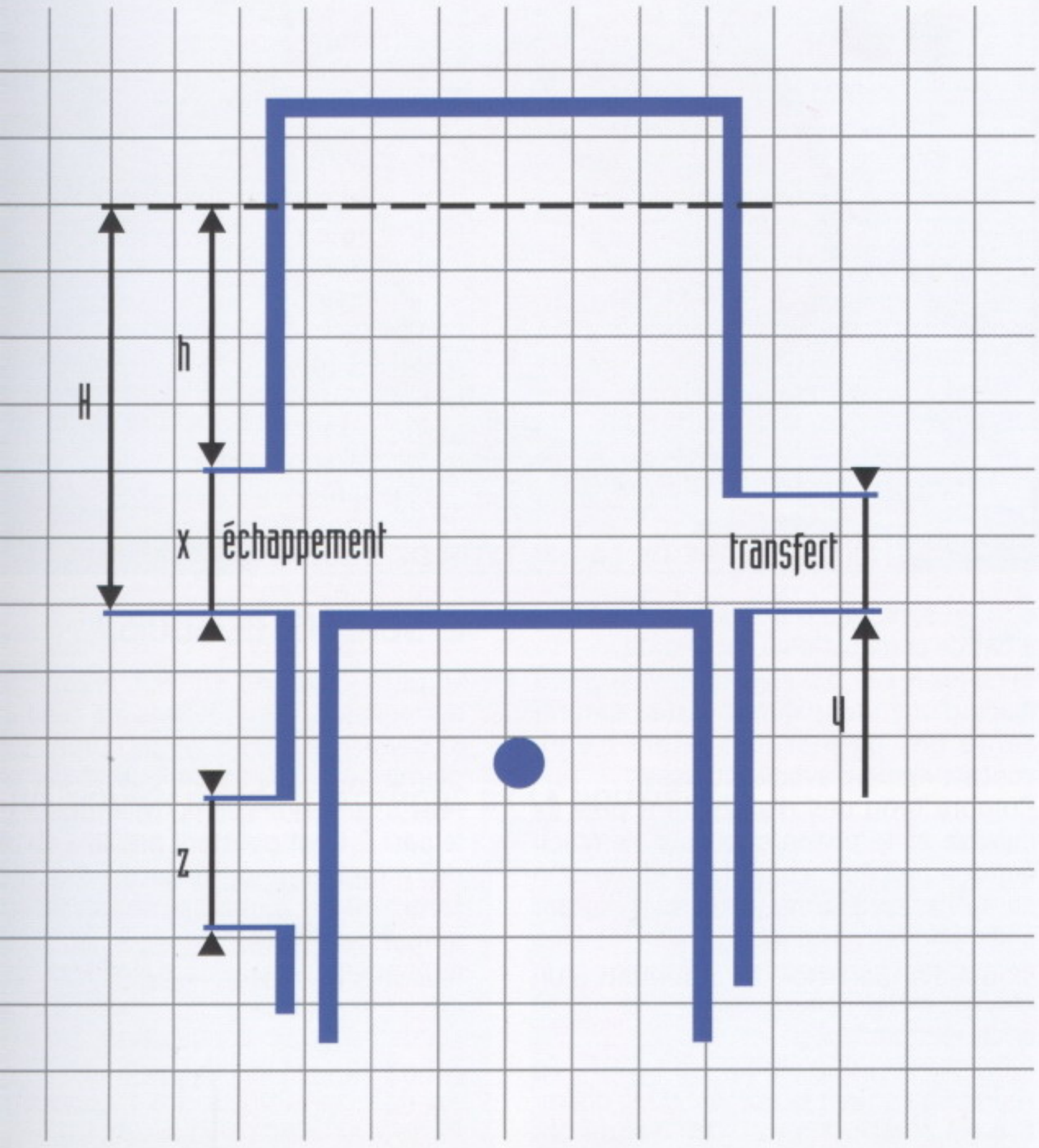


SCHÉMA DE BASE

e: Lumière d'échappement

t: Lumière de transfert

h: Course totale

h1: course utile

a: Alésage

Cylindrée théorique: A2 h

Cylindrée effective: A2h1

Il faut dans un deux Temps distinguer la cylindrée résiduelle, celle qui correspond à la compression effective lorsque les lumières sont fermées, de la cylindrée réelle. Elle explique sa consommation spécifique relativement élevée par rapport à un 4 Temps.

en contradiction. En effet, plus le joint est mince, plus le taux de compression est élevé, mais le squish diminue. D'autre part, plus on abaisse le cylindre et plus on réduit la phase d'échappement, ce qui limite le rendement à haut régime.

SQUISH

Mot anglais décrivant le bruit que fait le mélange se trouvant dans les zones d'ombre de la chambre de combustion lorsqu'il est redirigé vers la bougie par la compression du piston au voisinage du PMH (fig.10/4).
À cet instant, la combustion n'est qu'à moitié engagée et la portion redirigée se mélange rapidement aux gaz et contribue ainsi à l'accélération et à l'amélioration de la combustion totale. De cette façon, ces poches de mélange susceptibles d'alimenter une éventuelle détonation prennent activement part à la combustion normale. Simple de conception, le moteur deux temps ne laisse que peu de possibilités d'amélioration du squish et donc du rendement thermique.

Un bon squish offre les avantages suivants :

1) Optimisation de la combustion
2) Réduction de la sensibilité de l'avance à l'allumage
3) Réglage parfait de la carburation moins primordial
4) Bonnes performances malgré un faible indice d'octane

Pour mettre en œuvre ces avantages, le squish doit être très fin pour pouvoir lutter contre les ondes de pression. Le cas échéant, les zones de squish deviennent des zones de détonation.
Le squish est théoriquement mis en pratique dans tous les moteurs modernes. Théoriquement seulement car les tolérances des grandes séries aboutissent à des épaisseurs trop importantes avec un squish très faible voire contraire à ce que prévoit la théorie.

ÉPAISSEUR DU SQUISH

Le squish obtenu en grande série est tout relatif car les constructeurs prévoient généralement un espace de 0,3 mm par centimètre de diamètre de piston. Ce dernier se trouve donc à 1.5 mm du plan de joint pour un alésage de 54 mm alors qu'une valeur de 0,12 à 0,15 mm est actuellement considérée comme optimale pour profiter pleinement de cet effet (il est même possible de descendre plus bas dans des conditions particulières).

Il en résulte que l'épaisseur moyenne relevée sur la majorité des modèles routiers est excessive. Si vous regardez dans votre moteur, vous constaterez qu'il reste 1 mm entre le piston et le plan de joint. Ajoutez l'épaisseur du joint de culasse et le fait que la culasse n'épouse pas bien la forme du piston et vous arriverez facilement à deux millimètres.

Partant de cette donnée, d'une zone de squish égale à 40 % de la surface de piston, d'une cylindrée de 125 cm^3 pour un taux de compression de 13,5 :1 et d'une chambre de combustion de 10 cm^3, on constate que 17% de la chambre de combustion se trouve haute de quelques millimètres. Dans cette zone, même le bon mélange aura du mal à contribuer activement à la combustion. Il en résulte une baisse directe de 17 % du rendement thermique potentiel, sans compter que ce mélange peut être la source de détonation et de mauvaise combustion. Rappelons que ce mélange, s'il brûle, ne commence à le faire qu'une fois le piston redescendu de quelques millimètres.

Si on arrivait à faire brûler correctement 70 à 80 % de ces 17 % de mélange, il en résulterait une hausse de puissance proportionnelle ainsi qu'une réduction des émissions polluantes et des risques de détonation.

Le piston peut entrer en contact avec la culasse dans les cas suivants : il est trop lourd ; les coussinets ont trop de jeu ; les tolérances de montage ne sont pas bonnes ; le matériau de la bielle n'est pas adapté ou elle est trop allégée et fatiguée et donc subit un allongement excessif. Enfin, et c'est le cas le plus fréquent, le régime est trop élevé.

La mesure du squish peut être réalisée à l'aide de deux baguettes d'étain de 2 mm introduites dans le trou de bougie. Il faut les situer dans la zone supposée et diamétralement opposées pour éviter que le jeu du piston ne fausse la mesure en ne s'appuyant que d'un côté (fig.11/4). Une fois le piston placé près du PMH, il faut les introduire de sorte qu'elles touchent deux extrémités de la chambre de combustion. Une fois le PMH passé, extraire les deux baguettes écrasées: leur épaisseur est celle du squish.

Le squish idéal est atteint lorsque le piston frôle la zone de squish au régime maxi et à température de fonctionnement. Cette condition est vérifiée lorsque les couronnes de squish du piston et de la culasse sont bien propres, signe qu'il n'y a pas de combustion à cet endroit.

Si tel est le cas, il convient de s'assurer à l'aide d'une loupe que le piston ne présente pas de marques, traces d'un contact minime avec la culasse.

Compte tenu des risques tant pour la culasse et le piston que pour l'embiellage, on procédera plutôt par étapes. On se méfiera également des bielles usagées et des coussinets présentant trop de jeu, ceci pouvant être à l'origine d'un contact malgré des épaisseurs de squish encore importantes.

En réduisant l'épaisseur de squish, on réduit également le volume de la chambre de combustion et l'on augmente d'autant la valeur du taux de compression. Il sera nécessaire de travailler alors sur la forme de la chambre de combustion afin d'atteindre les valeurs désirées. En retirant un millimètre de hauteur à la culasse, le volume perd 2,3 cm^3 pour un alésage de 54 mm. Il est possible de retirer de la matière comme indiqué sur la figure 12/4 et d'obtenir une forme plus ou moins hémisphérique tout en préservant le plan de la bougie. Cette dernière devra être équipée d'une rondelle d'étanchéité en cuivre de plus forte épaisseur afin de compenser la suppression de matière autour du puit.

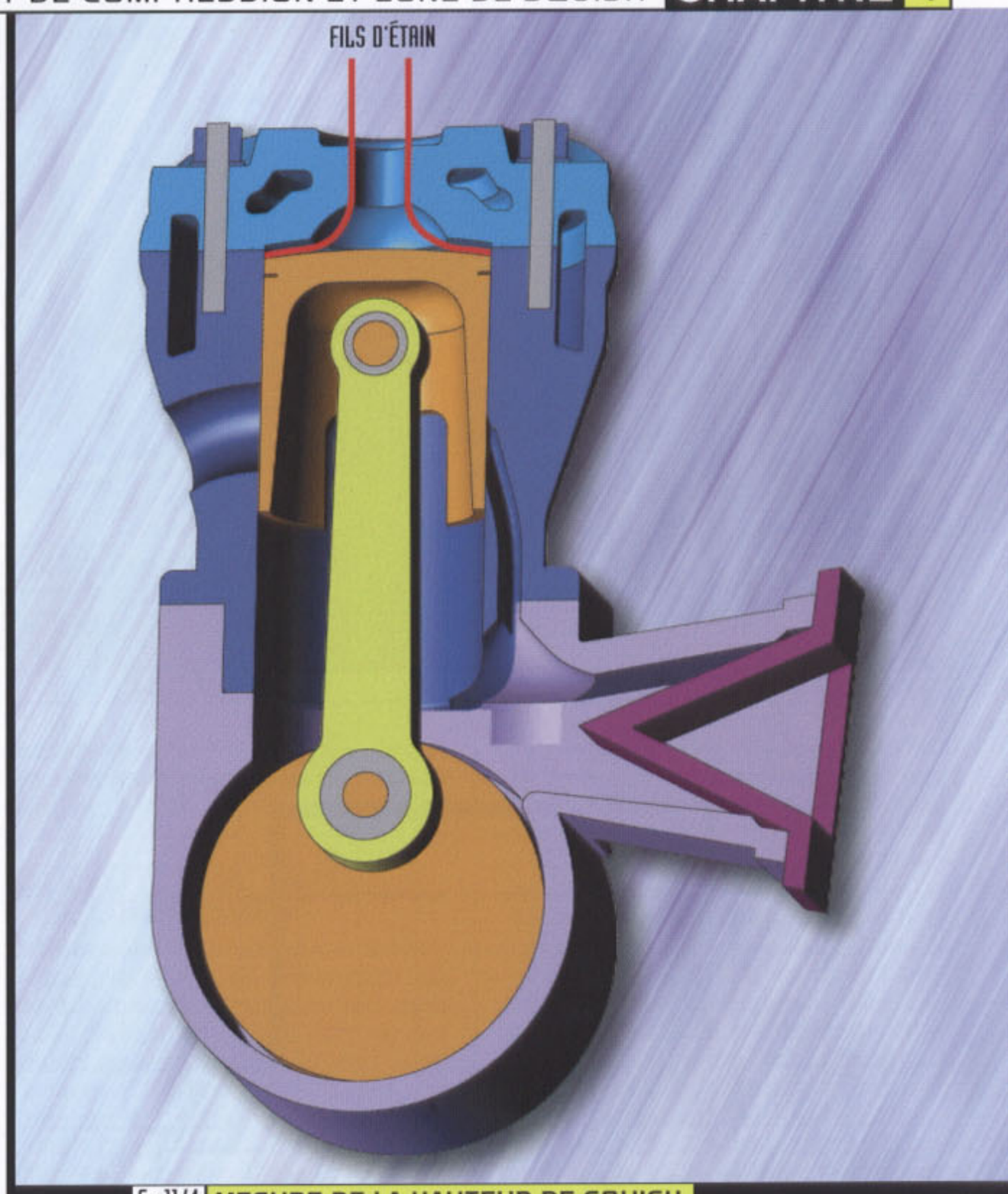


Fig 11/4 MESURE DE LA HAUTEUR DE SQUISH

SURFACE DE SQUISH

Depuis plusieurs années, les normes antipollution européennes ont conduit à la généralisation d'un carburant sans plomb de moins bonne qualité par rapport à celui que l'on pouvait utiliser par le passé. Il est pourtant possible de produire de l'essence verte d'indice d'octane 100 en modifiant simplement le système de production pour un surcoût industriel vraiment dérisoire. Mais il est bien plus rentable de vendre de l'essence "spéciale compétition" trois fois le prix du sans plomb standard !

Au final, le SP95 (indice théorique) ne convient pas forcément bien aux moteurs de série (pour une utilisation intensive s'entend...). Quand aux moteurs préparés, n'en parlons même pas ! La surface de squish pouvait atteindre 50% mais il est désormais nécessaire de la réduire car la vitesse de la combustion est excessive pour l'essence actuelle, surtout s'il n'est pas possible de modifier la courbe d'avance à l'allumage dans sa totalité.

40 % de la surface du piston semble être aujourd'hui une valeur optimale pour les moteurs de route. Avant de faire quelques calculs, rappelons qu'une surface de squish de 40 % représente 40 %

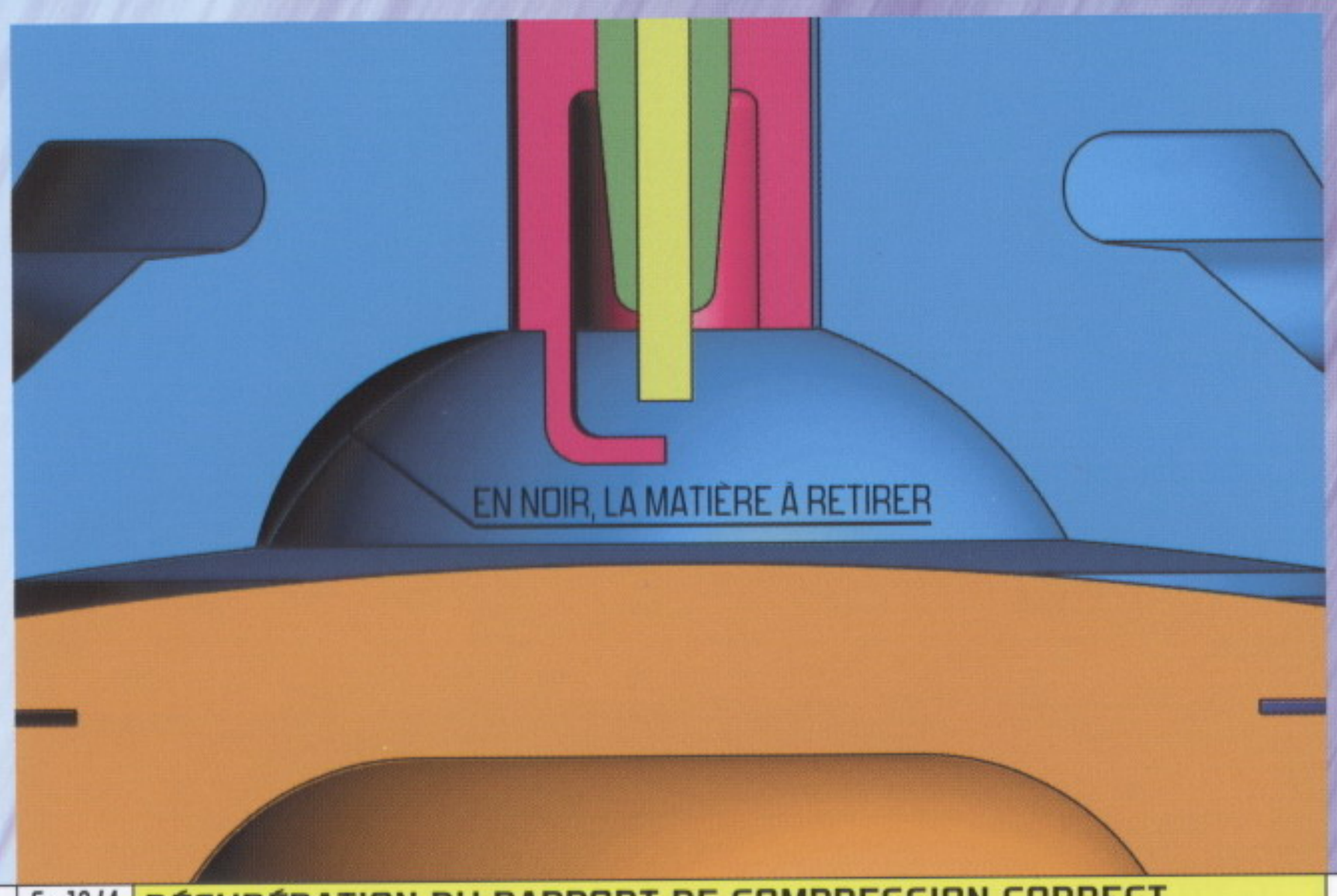


Fig 12/4 **RÉCUPÉRATION DU RAPPORT DE COMPRESSION CORRECT**

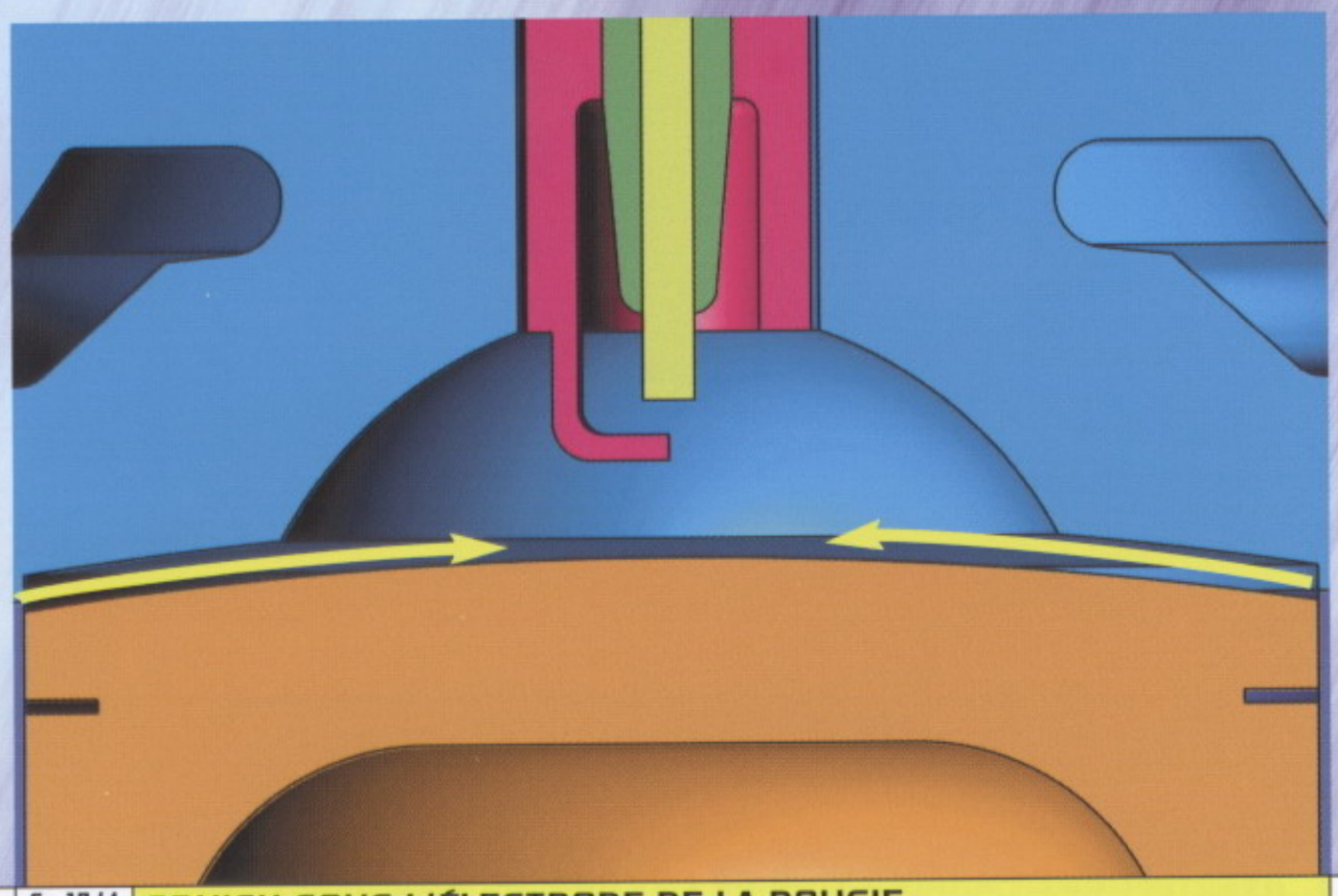


Fig 13/4 **SQUISH SOUS L'ÉLECTRODE DE LA BOUGIE**

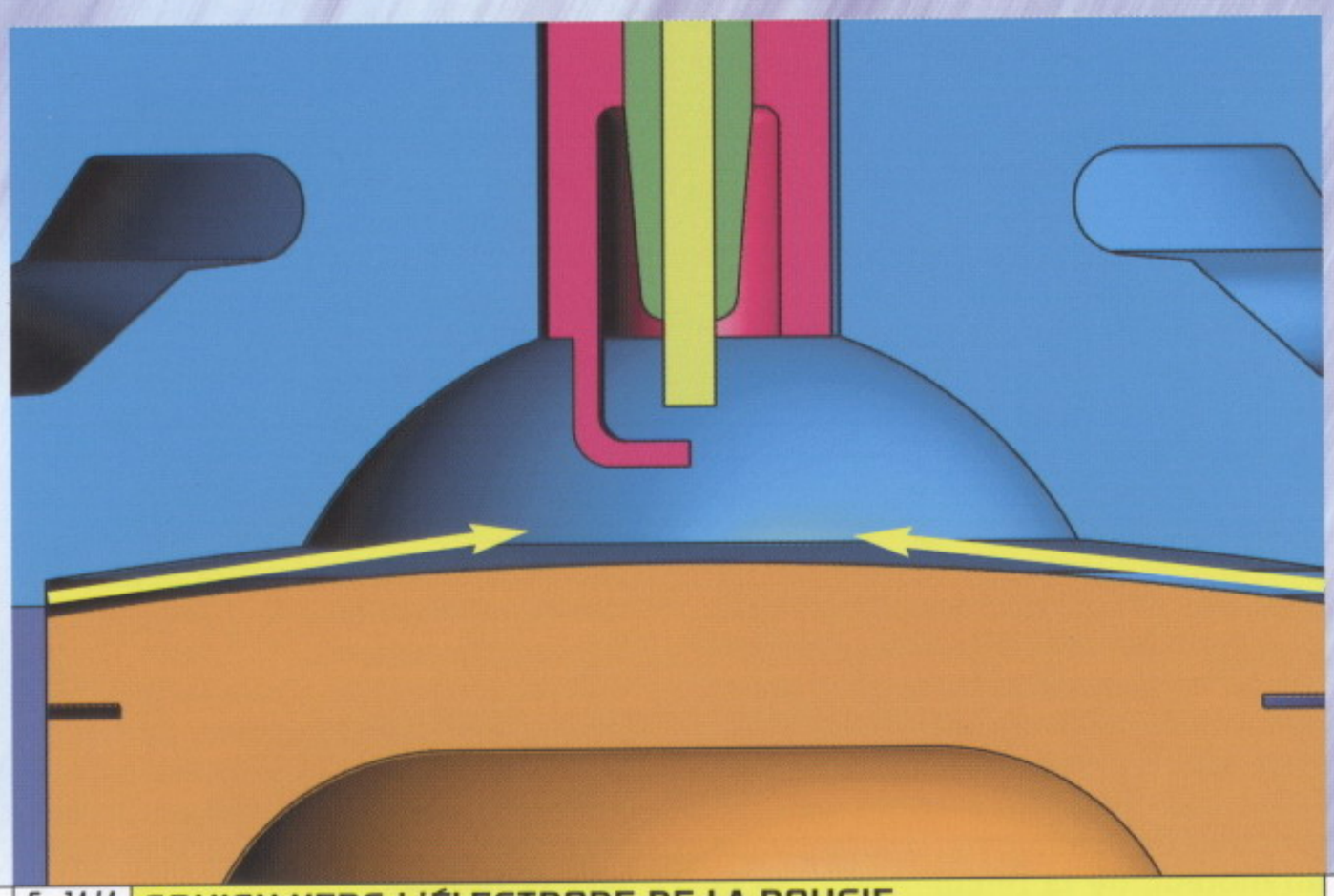


Fig 14/4 **SQUISH VERS L'ÉLECTRODE DE LA BOUGIE**

de la surface du piston et non 40 % de l'alésage, comme on l'entend souvent.
Sur un cylindre de 54 mm d'alésage, la surface du piston est d'environ 22,9 cm². Une surface de squish de 40 % équivaut à 9,16 cm². Celle-ci n'équivaut pas à un diamètre mais à un anneau de 6 mm de large.
Sur les moteurs de compétition, la surface de squish dépasse les 50 % dans des conditions optimales de combustion.

DIRECTION DU SQUISH

La direction du squish est un facteur très important pour la combustion, mais il est trop souvent ignoré par une grande partie des préparateurs.
En faisant varier astucieusement l'inclinaison ou les extrémités des plans opposés, on dirige le flux engendré par le squish dans la direction voulue. Mêmes des corrections infimes de 1 ou 2 degrés peuvent faire la différence dans le contrôle de la combustion.
L'avantage est évident sur les moteurs possédant une forte hauteur de chambre de combustion.
Des flux dirigés au niveau du piston prolongent l'intensité de la combustion après le PMH en dirigeant la charge principale sous la bougie. Il en résulte un couple supérieur sur une grande partie de la plage d'utilisation, mais aussi une limitation de la puissance au régime maxi (fig. 13/4).
Les flux orientés vers l'électrode de la bougie ont pour effet d'accélérer immédiatement la combustion, avec un pic de pression plus élevé mais aussi plus bref, convenant plus aux régimes élevés. Ce type d'orientation favorise donc la puissance à hauts régimes (fig.14/4).
En théorie, les surfaces de squish de la culasse et du piston ne devraient donc pas être parallèles entre elles. Lorsque les plans sont parallèles, le flux devient trop violent et provoque une turbulence plus élevée en sortie. La transition est trop violente, tant en phase de compression qu'en phase d'échappement/détente. L'architecture la plus basique consiste en une légère divergence comprise entre 2 et 4 degrés afin de diriger le flux vers le centre de la chambre de combustion (fig.15/4). Plus l'angle entre les deux plans est élevé, plus l'intensité du jet est faible et inversement.
Autre solution, une forme légèrement parabolique qui s'appuie sur une double inclinaison (fig. 16/4). Elle favorise ainsi flux jet direct vers le centre : le gain est minoré mais réparti sur toute la plage d'utilisation.
Quoi qu'il en soit, il est toujours nécessaire de relier les deux plans afin de réduire les turbulences et d'éviter les angles vifs. Ces derniers concentrent la chaleur et peuvent être la source de détonation. Il est difficile de vérifier l'angle de squish exact de la culasse et du piston.
En considérant que la majorité des culasses ont une bougie centrale, il est

possible de contrôler l'inclinaison de la zone de squish en les équipant d'une fausse bougie et en les fixant sur un tour. On contrôlera au préalable que cette bougie est bien perpendiculaire au plan de joint à l'aide d'un comparateur monté sur pied magnétique que l'on placera sur la tourelle ou sur le chariot. Il sera aussi possible de monter le comparateur sur le porte-outils). On effectue ensuite une prise de mesures radiales tous les millimètres en reportant les résultats sur un plan à l'échelle 1/20.
Ensuite, il ne restera plus qu'à définir la section du squish en répétant l'opération des baguettes d'étain décrite précédemment. Il faut mesurer l'épaisseur de ces baguettes à chaque millimètre et reporter les valeurs sur le schéma. Vous connaîtrez alors la forme et les dimensions de la bande de squish et vous pourrez ainsi envisager les éventuelles modifications à y apporter.
Pour intervenir sur l'inclinaison du jet de squish lorsque l'on a un piston à face plane (fig. 17/4) et si sa hauteur le permet, on peut l'usiner sur un tour. Pour incliner la face de la culasse et récupérer le bon rapport de compression, on peut procéder comme décrit figure 18/4 sur la chambre de combustion.
La fixation du piston sur le tour est délicate. Il est vital de le fixer préalablement à un support, même artisanal et de serrer ensuite le tout dans les mors. Si l'on procède différemment, le piston ne supportera pas la pression de serrage et se déformera ou bien l'empreinte des mors détruira irrémédiablement la jupe.
Enfin, il ne faudra jamais oublier qu'une intervention de quelques degrés d'inclinaison sur le plan de squish du piston représente une rectification de quelques dixièmes de millimètres seulement, toujours pour une bande de squish de 6 mm.
Toutefois, ces infimes variations peuvent donner de bons résultats, surtout à plus de 10 000 tr/min.

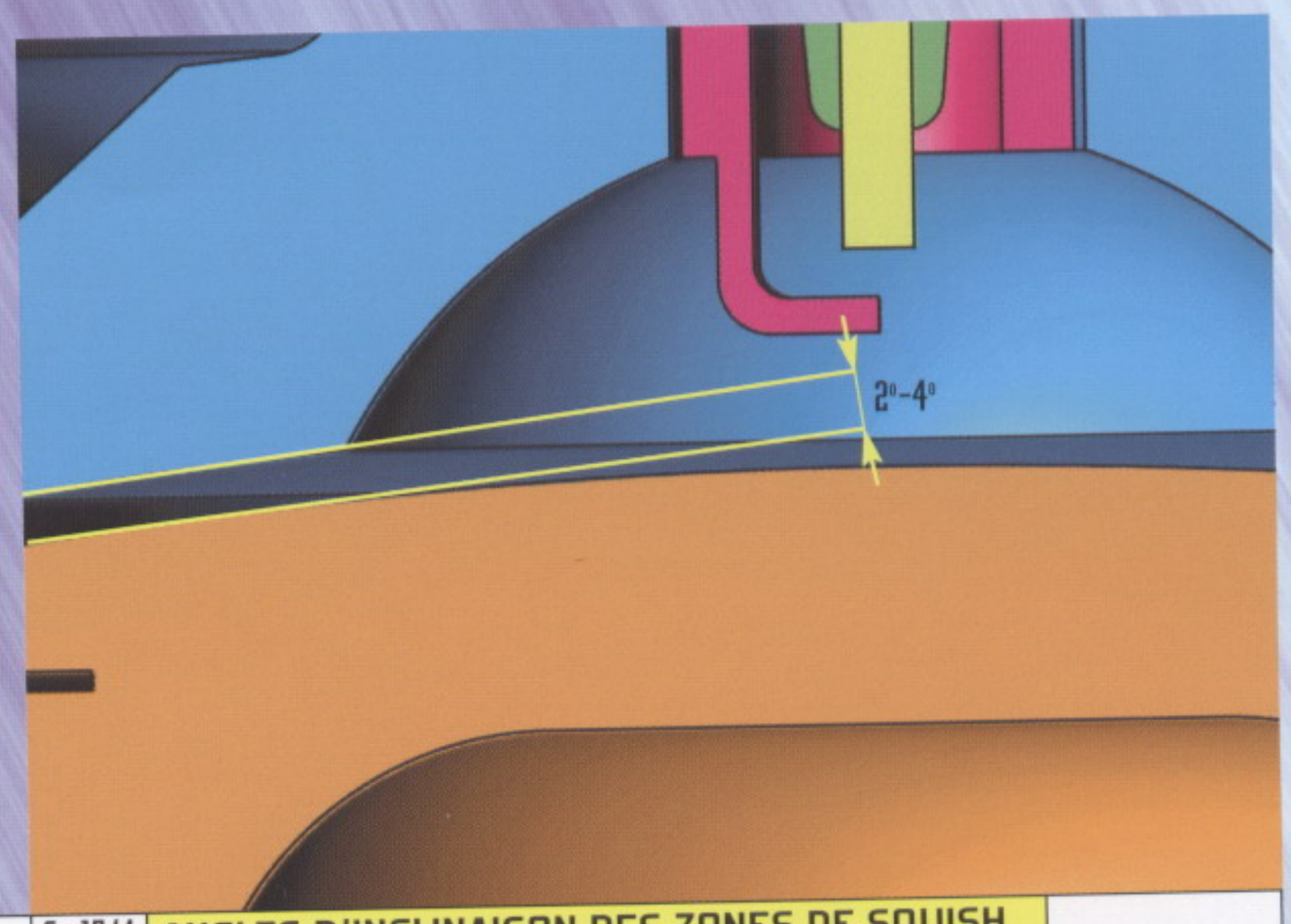


FIG 15/4 ANGLES D'INCLINAISON DES ZONES DE SQUISH

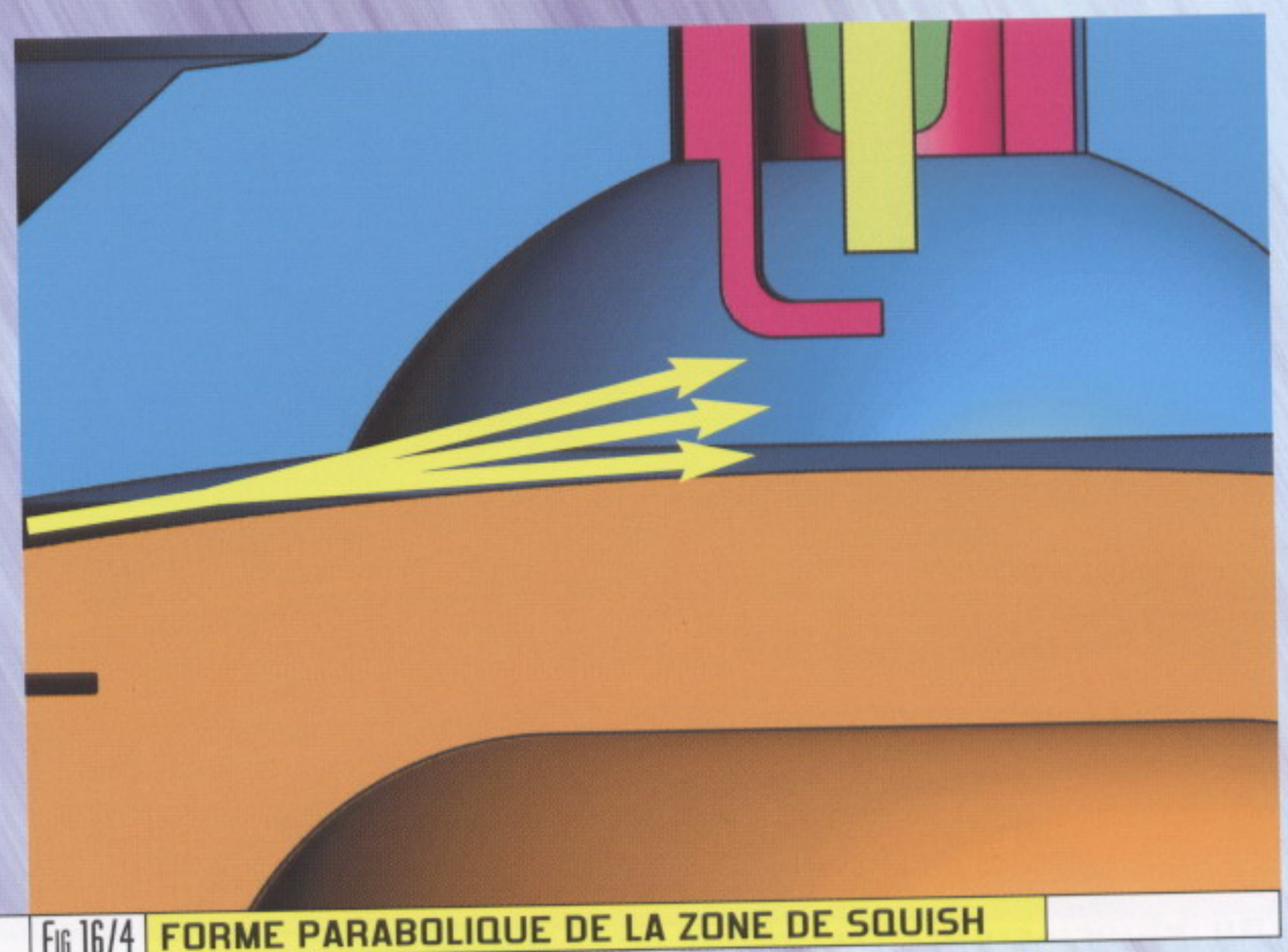


FIG 16/4 FORME PARABOLIQUE DE LA ZONE DE SQUISH

RELATION ENTRE TAUX DE COMPRESSION ET AIRE DE SQUISH

Pourquoi n'augmente-t-on pas le squish et le taux de compression au maximum? Il ne faut pas oublier que l'un des avantages d'un squish efficace est d'optimiser et d'accélérer la combustion pour laquelle l'avance sera moindre. Si le pic de pression après l'allumage n'arrive pas au bon moment après le PMH, cela revient à gaspiller de la puissance en essayant d'étirer la liaison culasse-piston puisque la bielle est quasiment verticale à cet instant du cycle.
Une augmentation excessive de l'aire de squish se traduit par une hausse trop rapide du taux de compression dans la chambre de combustion au moment où le piston atteint le PMH. L'effet obtenu peut alors être contraire à l'objectif souhaité.
Durant un intervalle angulaire réduit, on passe d'un volume équivalent à celui du cylindre plus celui de la chambre de combustion, à celui de la chambre seule. Si la compression a lieu de façon trop rapide -nous sommes toujours à un régime de 10 000 tr/min- on obtiendra une explosion trop rapide au lieu d'une combustion optimale.
Les études sur la question concluent qu'une optimisation efficace tourne autour des 2.25 kg/cm²/degré et qu'il ne faut pas dépasser les 3.5 kg/cm² par degré de rotation de vibrequin sous peine de rencontrer les problèmes de combustion décrits plus haut.
Il est très difficile pour les préparateurs de déterminer avec certitude ce rapport car on ne peut isoler théoriquement la quantité de mélange réellement introduite dans le cylindre, et donc la pression. Cette quantité varie constamment en fonction du rendement volumétrique du moteur, de la température, de la pression atmosphérique et du système d'alimentation adopté.
Les progrès réalisés ces dernières années, aussi bien sur les motorisations deux temps que quatre temps, découlent directement de la possibilité de mesurer en temps réel ces valeurs grâce à des capteurs de pression miniaturisés et au traitement informatique des informations ainsi obtenues... Avec l'inconvénient que ces systèmes, très complexes donc très chers, ne sont pas toujours accessibles aux privés. Quand aux logiciels informatiques qui existent, ils se basent sur la théorie pour élaborer des hypothèses qu'il faut ensuite vérifier au banc d'essais.
Enfin ne comptez pas sur les constructeurs pour obtenir des informations sur l'un des secrets les mieux gardés de leur département course, d'autant que ces valeurs varient suivant le lieu, la piste et les conditions du moment.
Il ne reste donc plus aux préparateurs

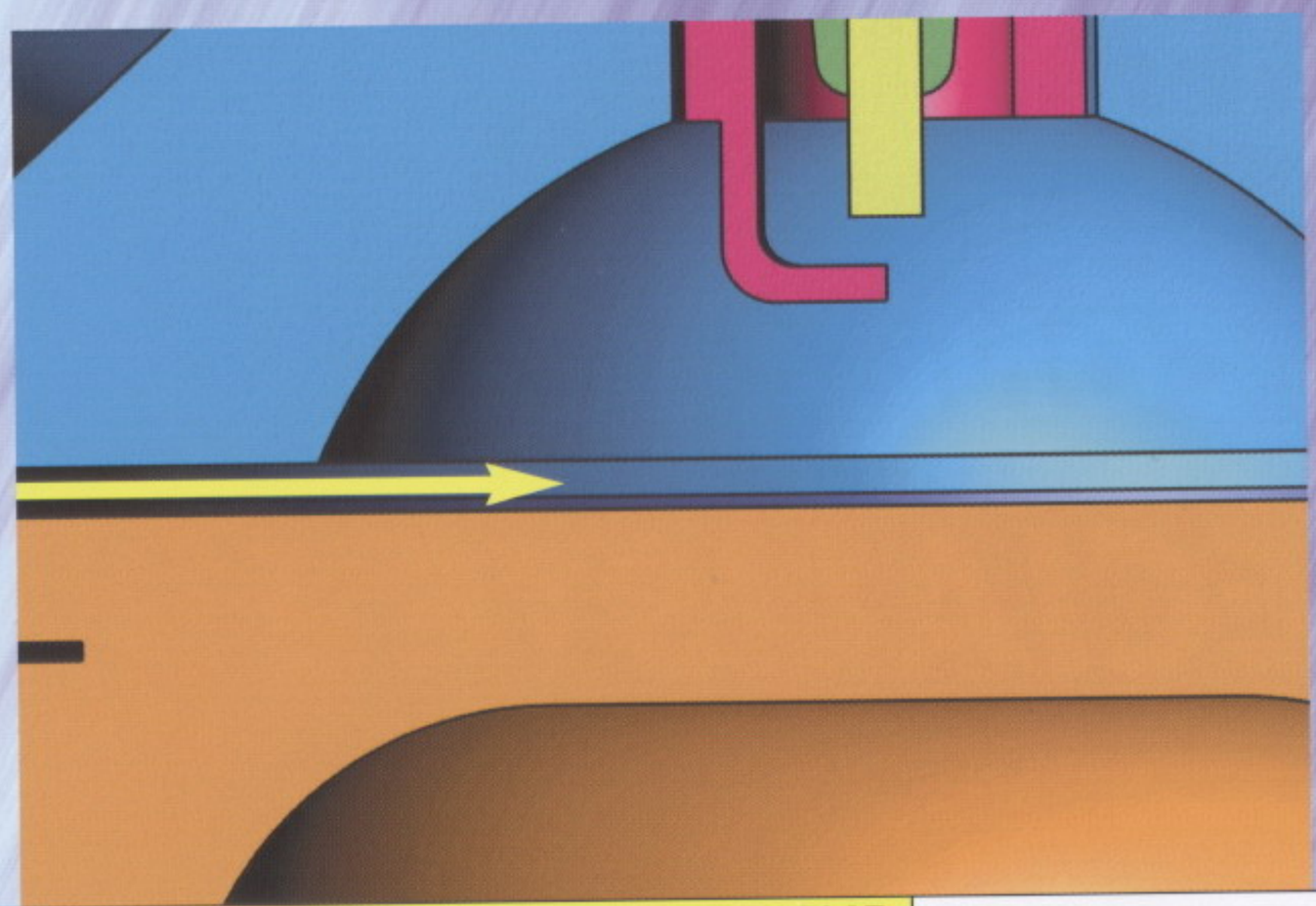


FIG 17/4 SQUISH DANS LE CAS D'UN PISTON PLAT

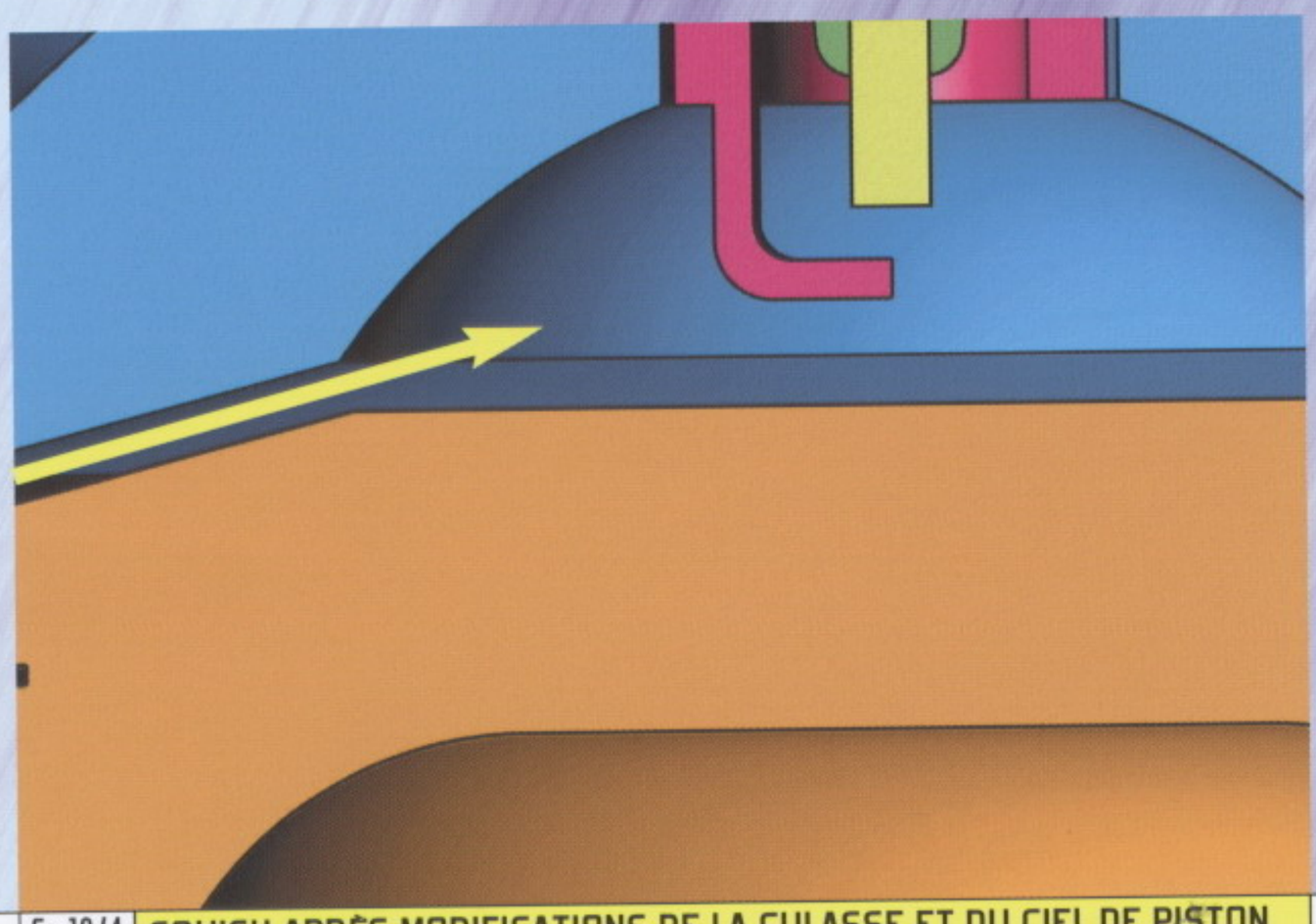


FIG 18/4 SQUISH APRÈS MODIFICATIONS DE LA CULASSE ET DU CIEL DE PISTON

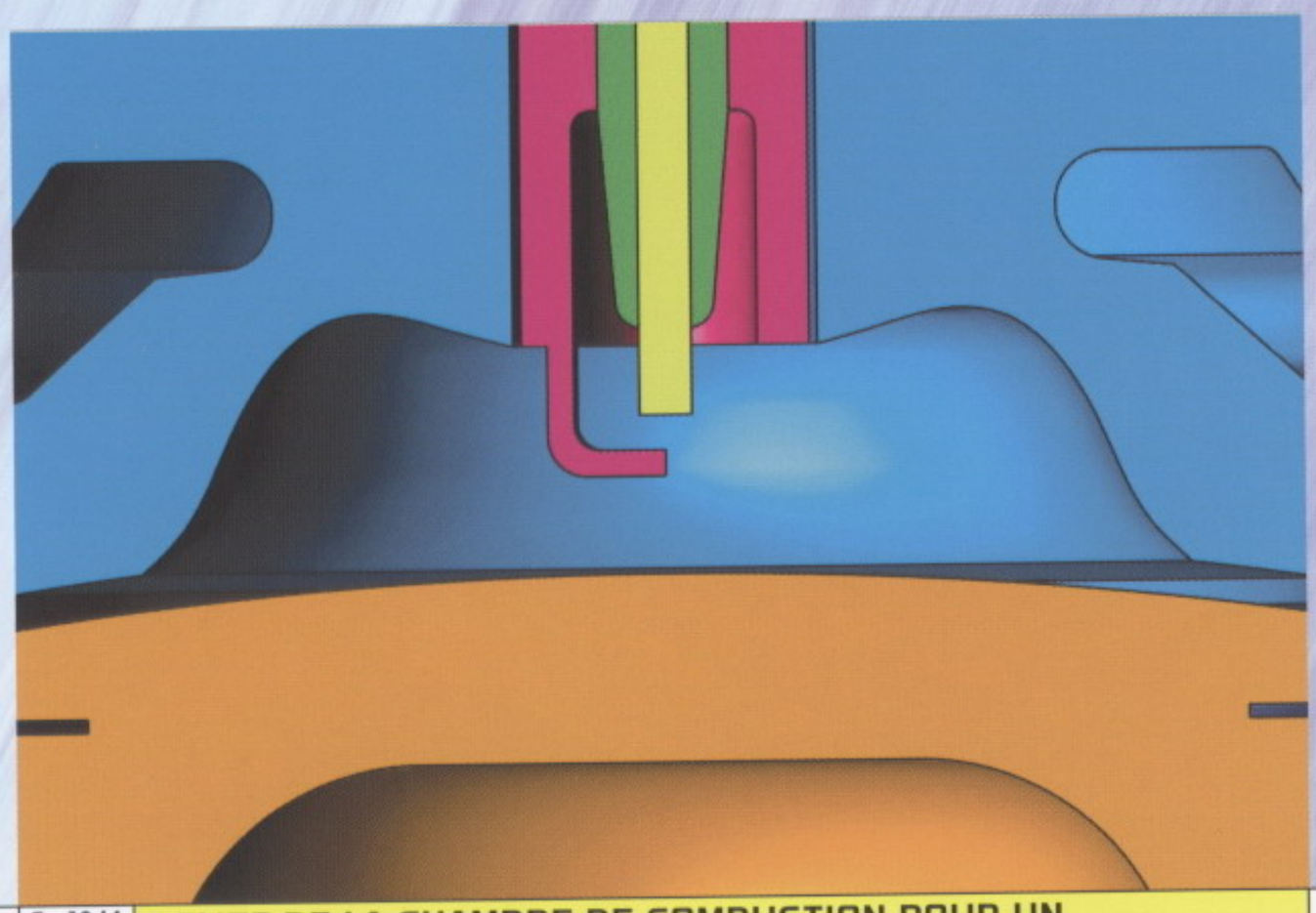


FIG 19/4 RELIEF DE LA CHAMBRE DE COMBUSTION POUR UN CENTRAGE VERTICAL DE L'ÉLECTRODE DE LA BOUGIE

désargentés plus qu'à faire des tentatives pour trouver le bon taux de compression, la bonne aire de squish, les bons angles et la bonne forme de chambre de combustion.

Il est possible d'augmenter sensiblement le rapport de compression si :

1. On augmente sensiblement la quantité de mélange de façon à l'utiliser comme auxiliaire de refroidissement ayant une fonction antidétonante. C'est pour cette raison qu'aujourd'hui, tous les moteurs de compétition sont assistés par un Power Jet électronique.
2. On est en possession d'un système de réglage de l'avance à l'allumage, programmable en fonction des conditions, qui évitent une combustion trop anticipée ou la détonation. Ou alors ce système est en mesure de la caractériser et de corriger la valeur pour les cycles suivants (capteur de pression sur la culasse qui identifie ou non une détonation).
3. On utilise toujours de l'essence spéciale
4. On réduit en conséquence l'aire de squish.

☐ RAPPORT VOLUMÉTRIQUE ET ALTITUDE

L'altitude est l'élévation d'un point à partir du niveau de la mer.

Plus cette hauteur augmente et moins l'air est dense. Moins d'air donc moins d'oxygène qui entre dans le moteur. Donc un rapport de compression qui diminue en conséquence. Si l'on est amené à travailler en altitude, il est alors judicieux d'augmenter ce taux de compression pour combler le manque inhérent à cette altitude. Il convient d'avoir à disposition plusieurs culasses donnant des rapports de compression différents pour adapter le moteur avec plus ou moins de bonheur à la situation géographique de la course.

Les scooters des neiges n'évoluant globalement chez nous qu'à partir de 1000 mètres, leur rapport de compression est plus élevé. Inversement, sur les scooters des mers étant toujours au niveau zéro où la pression atmosphérique est maximale, on ne touchera pas à ce paramètre.

☐ LA BOUGIE

Nous avons déjà expliqué que le lieu précis où se produit l'étincelle a une importance capitale. Les constructeurs donnent d'ailleurs toujours une forme particulière à la chambre de combustion (fig.19/4) afin de centrer verticalement l'électrode, surtout sur les moteurs à cylindrée unitaire importante. De plus, la partie ouverte de l'électrode est souvent dirigée vers l'échappement, ainsi est-elle refroidie par le flux en provenance des transferts favorisant une propagation uniforme de la flamme. Cela peut paraître insignifiant, mais peut générer des différences quant à la qualité de la combustion. ☐

La préparation des moteurs 2 temps

CHAPITRE 5

INJECTION

Carburateur et carburation

CARBURATEUR/CARBURATION
DIAMETRE DE CARBURATEUR
À LA RECHERCHE DE LA CARBURATION OPTIMALE
REGLAGE DU RALENTI/FORME DU BOISSEAU
CHOIX DE L'AIGUILLE
LE CIRCUIT D'ALIMENTATION
GICLEUR PRINCIPAL
SONDE DE TEMPERATURE DES GAZ D'ECHAPPEMENT
SYMPTÔMES/PRINCIPES GENERAUX
PANNES BENIGNES /PANNES GRAVES
MISES A L'AIR DU CARBURATEUR
LES MODIFICATIONS DU CARBURATEUR
LES CARBURATEURS POUR KARTS
PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT
D'UN CARBURATEUR DE KARTING
VIS DE REGLAGE/LE CARBURANT
L'HUILE POUR MELANGE 2 TEMPS
LES SYSTEMES D'INJECTION
LES AVANTAGES DES SYSTEMES D'INJECTION

Le carburateur et l'injection sont deux systèmes d'alimentation dont la fonction est de mélanger dans certaines proportions l'air et l'essence et d'en fournir une quantité précise à un instant t afin d'entretenir la combustion.
La réaction qui s'ensuit se développe dans un laps de temps relativement étendu de sorte que l'énergie de combustion soit facilement utilisable.
L'obtention d'une bonne réaction chimique est conditionnée par la quantité d'atomes d'hydrogène et de carbone contenus dans le carburant et la quantité d'atomes d'oxygène de l'air. La proportion théorique optimale donnant lieu à une combustion complète, le fameux " rapport stœchiométrique ", est de 14,3 volumes d'air pour 1 volume de carburant.

Or il existe une différence notable entre ce rapport théorique et ce qui est réellement nécessaire, car pour de nombreuses raisons, le carburant ne se combine jamais totalement avec l'oxygène de l'air. Une variation continue de ce rapport est donc nécessaire en fonction des conditions et du régime moteur. Dans le jargon, cet ajustement continu est appelée " carburation ".
La carburation est dite " pauvre " lorsque la quantité d'essence est inférieure à ce qui serait chimiquement nécessaire. Inversement, elle est dite " riche " lorsque la quantité d'essence est supérieure à ce qu'il faudrait.
On observe que le mélange aboutissant au meilleur rendement est obtenu pour 12,5 volumes d'air pour 1 volume d'essence, soit un mélange plutôt riche. Cependant, une carburation riche n'offre pas que des avantages : la plage de puissance est réduite, spécialement à froid, et il existe des risques de noyer la bougie. Par contre, une carburation riche ne peut provoquer aucun dégât grave et offrira toujours une puissance plus élevée.
La première raison est que l'essence portée par un écoulement turbulent a tendance à se déposer sur les parois. Cette essence qui ne participe pas à la combustion refroidit donc la chambre de combustion en protégeant des zones métalliques particulièrement exposées et en prévenant la détonation. La seconde raison est que l'essence en excès à tendance à brûler plus lentement et à plus basse température, ce qui prolonge la durée de vie du moteur. Enfin, un mélange riche comporte plus de lubrifiant, ce qui réduit logiquement les risques de surchauffe et de serrage.

En fait, si l'on voulait obtenir un moteur " parfait ", la carburation ne devrait être pauvre que sur une plage limitée, au régime de ralenti.
En effet, si l'on souhaite (et c'est généralement le cas...) que le moteur fasse preuve de reprise " en bas ", il vaut mieux qu'un faible volume d'essence entre alors que l'on est au ralenti, en particulier au moment d'une coupure brutale des gaz. Si ce n'est pas le cas, lors de la réouverture des gaz, le moteur devra brûler une quantité d'essence trop importante, d'où une sensation d'étouffement.
C'est là une règle générale qui ne vaut toutefois pas pour les karts sur lesquels, du fait des caractéristiques de lubrification et des carburateurs employés, c'est exactement le contraire qui se produit : : la main du pilote bouche l'entrée d'air puis qui l'enlève tout en accélérant.
Une carburation pauvre est souvent liée au phénomène de la détonation dans la mesure où une combustion avec un excès d'oxygène engendre toujours une très nette élévation de température. Très réactif à ces températures, l'oxygène en excès finit par se combiner avec les composants qui lui reste, notamment l'aluminium de la culasse et du piston. L'oxydation de l'aluminium produit à son tour une température extrêmement élevée et aboutit à la corrosion de la chambre de combustion et au perçage du piston. Ce n'est pas une surprise si les lances thermiques utilisent justement ces deux composants...
Pour résumer, une carburation pauvre offre un petit avantage à froid, mais si on la maintient, la puissance s'écroule rapidement et les problèmes commencent lorsque le moteur atteint sa température de fonctionnement. Ce type de carburation est donc à proscrire.

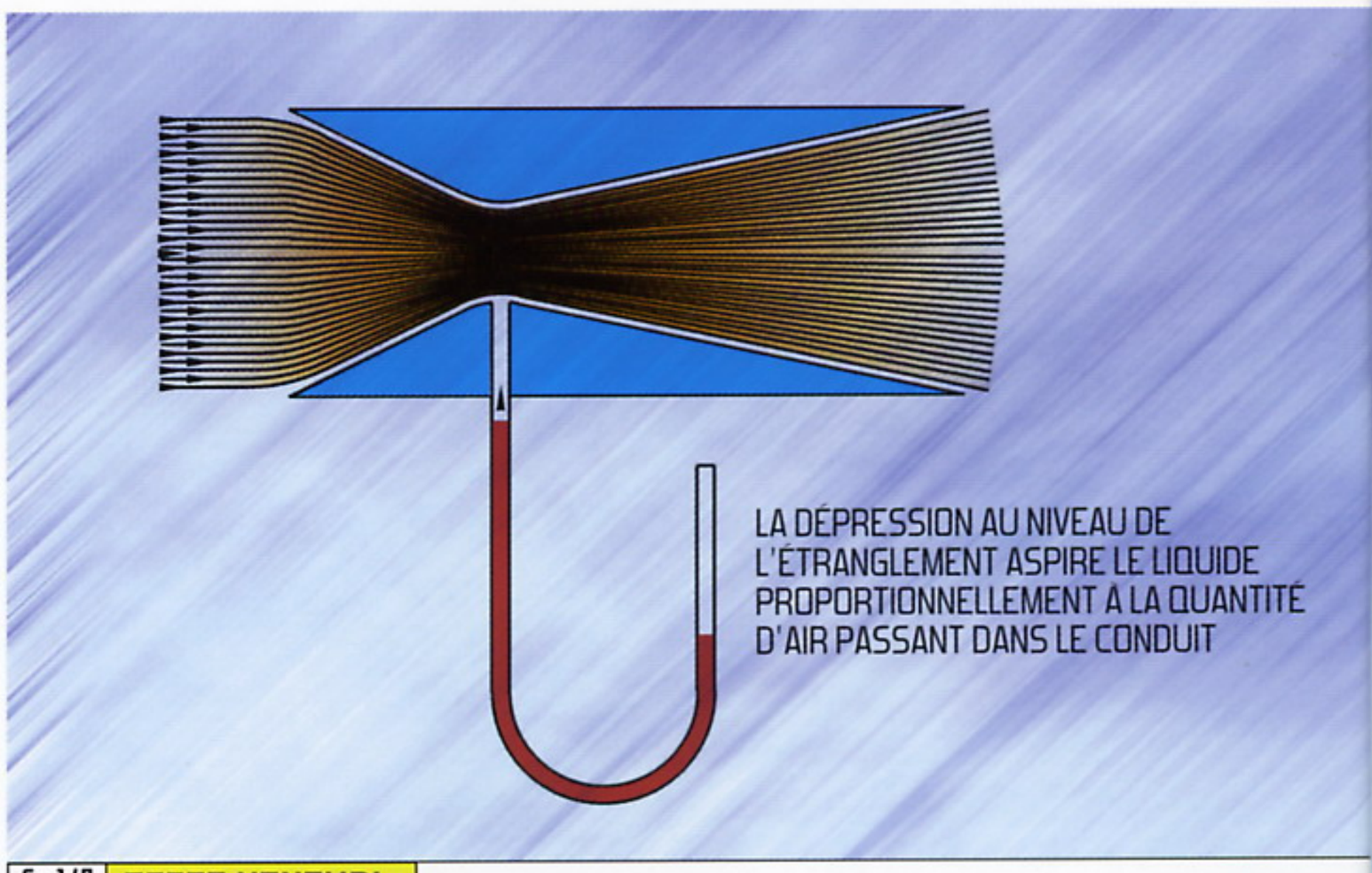


FIG 1/5 EFFET VENTURI

LE CARBURATEUR

C'est le système le plus simple pour mélanger l'air et l'essence.
Il profite de la différence de pression présente dans un conduit convergent traversé par l'air et appelé "venturi". Plus la vitesse de l'air est élevée à l'intérieur de ce conduit, plus la pression descend. Elle devient inférieure à la pression atmosphérique qui règne dans la cuve. L'essence est donc aspirée par cette dépression, pulvérisée et mélangée à l'air de l'écoulement (fig.1/5).
Si les moteurs quatre temps adoptent généralement un venturi constant, les deux temps sont équipés de venturi variables pour garantir une plage d'utilisation plus étendue. Sur ce type de carburateurs, le boisseau est profilé de façon à obtenir l'effet venturi désiré (fig. 2/5).
Le venturi n'a pas tout à fait la forme du croquis, il en est même bien loin, mais les turbulences qui se trouvent avant et après le boisseau donnent cette forme à l'écoulement d'air. Plus on lève le boisseau du carburateur pour accélérer et plus le diamètre du venturi augmente. À la variation de section du venturi (et donc de quantité d'air admis) il convient de faire correspondre la bonne quantité d'essence aspirée. C'est le rôle de l'aiguille associée au boisseau. Grâce à son profil conique, elle libère plus ou moins le passage à l'essence en glissant dans un conduit -le puit d'aiguille- reliant la cuve et le venturi, en fonction de la hauteur du boisseau. Le puits d'aiguille comporte un gicleur principal côté cuve dont le diamètre est, entre autres, déterminé en fonction de la charge d'air et du diamètre de venturi.
Un carburateur comporte également d'autres circuits auxiliaires qui garantissent le maintien du régime de ralenti et un fonctionnement progressif.
Les carburateurs moto, qu'ils soient japonais (Keihin, Mikuni...) Italiens (Dell'Orto...) ou autres partagent tous ce même principe de fonctionnement. Les formes ou les aménagements différents qu'ils présentent sont liées à leur aptitude à fonctionner plus efficacement à telle ou telle plage de régime, le reste étant tout relatif.

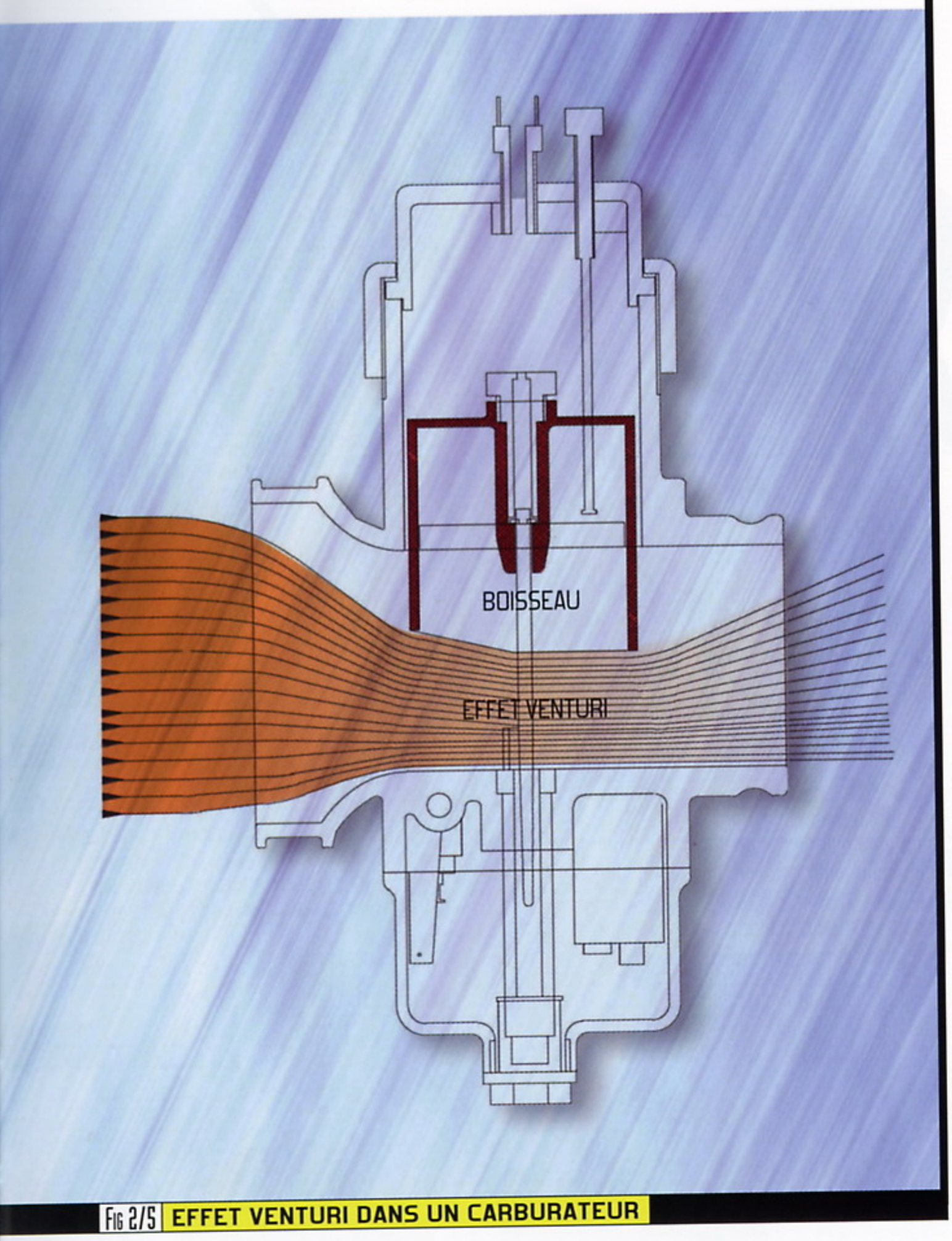


FIG 2/5 EFFET VENTURI DANS UN CARBURATEUR

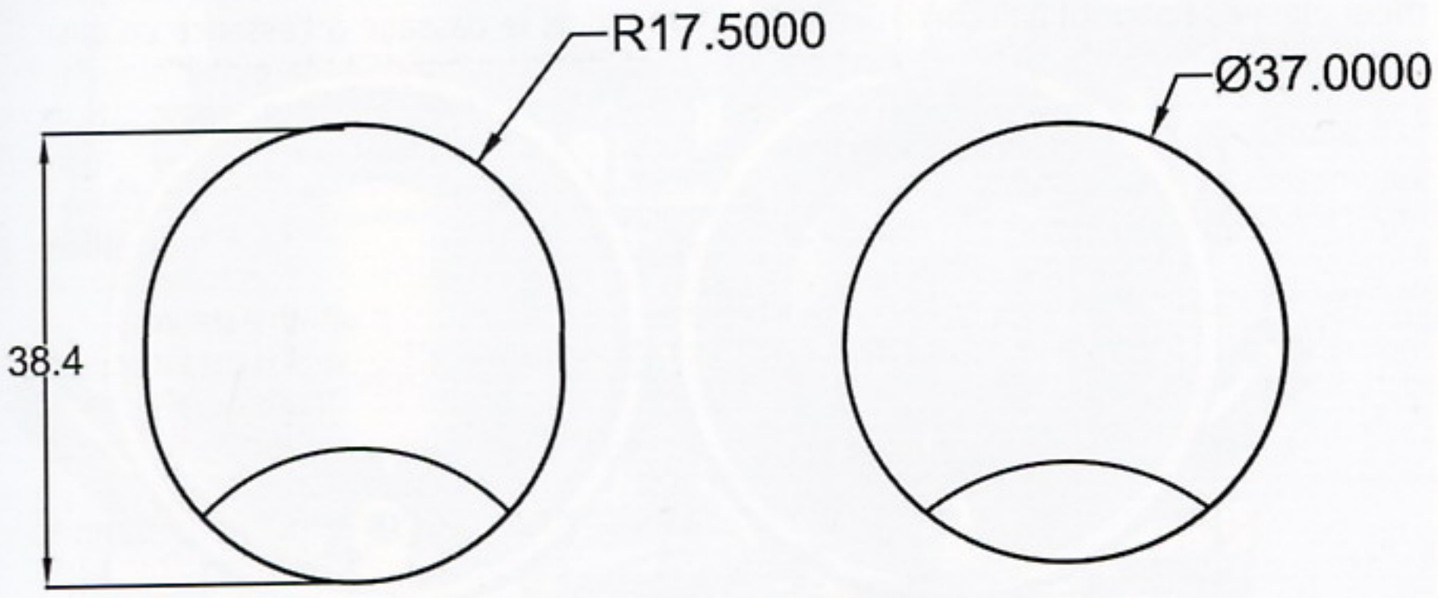


FIG 3/5 COMPARAISON ENTRE CARBURATEUR ELLIPTIQUE ET CARBURATEUR CONVENTIONNEL

Ainsi, au chapitre des pièces internes, les boisseaux plats ont connu un net succès ces dernières années. De fait, ils améliorent le passage de l'air et dans certains cas, ils permettent de raccourcir le corps du carburateur optimisant ainsi la forme du cône d'entrée (fig.1/5). Cette réduction de longueur est parfois simplement rendue nécessaire à cause de l'encombrement d'autres éléments de la moto tel que le mono-amortisseur arrière par exemple. Si l'on ne peut réduire la longueur, il faut couder le conduit, ce qui nuit à l'écoulement.

Toujours dans le but d'optimiser le fonctionnement de ses produits, le fabricant de carburateurs italien Dell'Orto a produit une série de modèles à section elliptique. À bas régime, la section de passage est plus " ronde " et l'écoulement moins perturbé. Le carburant est aussi mieux mélangé, améliorant ainsi les reprises (fig.3/5-photo 2/5).
Pour les autres ouvertures de boisseau, le fonctionnement est identique à celui d'un carburateur traditionnel car les surfaces utiles sont comparables.
Avec la percée spectaculaire de l'injection électronique, largement dictée par le renforcement des normes antipollution, le carburateur peut sembler obsolète. C'est oublier que l'effet provoqué par l'introduction du mélange au début du conduit est difficilement reproductible par une injection traditionnelle, au moins sur les moteurs de compétition qui font appel à des carburateurs de grands diamètres. Nous parlons évidemment du fait que l'essence pulvérisée dans le conduit, en se mélangeant à l'air, le refroidit en augmentant sa densité. Et qui dit plus d'air à l'admission dit plus de puissance...
D'un certain point de vue, si les systèmes d'injection permettent un meilleur passage d'air, ils renoncent à cet effet typique des carburateurs.

LA CARBURATION

Il est primordial de prendre systématiquement le temps de régler sa carburation au mieux, surtout la boîte à clapets ou l'échappement ont été changés. Personne ne peut donner de valeurs de réglages exactes pour une machine modifiée, ni les professionnels, ni les revues spécialisées. Tout au plus, peut-on obtenir une vague indication : plage de réglage de richesse, diamètre de gicleurs... Chaque moteur est différent, les conditions atmosphériques aussi, sans parler du cas où le moteur a été travaillé en profondeur.
Ainsi, avant d'incriminer le montage d'un accessoire, il faut toujours essayer d'affiner la carburation, ne serait ce que le ralenti ou la hauteur d'aiguille, une variation infime pouvant engendrer des différences de fonctionnement sensibles. Il ne faut pas non plus tenir compte de la consommation comme indice de

puissance effective ou de bon fonctionnement, sauf si les chiffres sont anormalement élevés. Dans ce cas, il s'agira plus probablement d'un problème de fuite et pas d'un problème de carburation.
Autre exemple, le fait que l'essence entre en grosses gouttelettes dans la chambre de combustion conduit à une combustion plus lente et l'on retrouve souvent du carburant imbrûlé dans l'échappement. Attention toutefois, un silencieux noir et une surconsommation ne veulent pas nécessairement dire que le mélange est trop riche. Il peut très bien être pauvre et ne pas participer complètement à la combustion pour des raisons différentes.

DIAMETRE DE CARBURATEUR

Le diamètre du carburateur est essentiel car il détermine la capacité d'admission à hauts régimes.
Un petit diamètre donnera une bonne progressivité à bas et moyens régimes, le carburant sera bien pulvérisé et mélangé d'où une bonne combustion et peu de résidus. Cependant, le régime maximal sera limité ainsi que la puissance maxi car la charge d'air sera limitée. D'ailleurs, l'étranglement de l'admission est une méthode de bridage courante chez les constructeurs.
Un diamètre trop important pénalise les régimes moyens et bas car même si le boisseau est complètement fermé, la vitesse de l'air est faible et les gouttes aspirées sont trop grosses. De plus, le mélange n'est pas homogène et donne une mauvaise combustion. Sous un certain régime, on obtient ainsi quasiment aucune puissance.
Quelle que soit la cylindrée, il faut donc déterminer le diamètre du carburateur avant tout en fonction du régime et de la puissance maxi (fig.4/5).

À LA RECHERCHE DE LA CARBURATION OPTIMALE

Une fois le moteur préparé et le carburateur remplacé par un modèle adapté à la puissance et au régime, il faut adapter l'aiguille et les gicleurs à la nouvelle vitesse de passage de l'air.
Si l'expérience et la lecture des nombreux ouvrages consacrés à ce sujet sont de précieuses alliées, une bonne dose de patience et de rigueur seront néanmoins nécessaires, pour ne pas se perdre et risquer la casse.
Nous avons vu plus haut qu'un carburateur de plus gros diamètre augmente la charge d'air frais et qu'il vaut mieux éviter une carburation trop pauvre.
La figure 5/5 indique l'influence des différents composants sur la carburation en fonction de l'ouverture des gaz. Ce document est très important car il évite de perdre du temps sur un composant qui n'intervient en aucune façon à tel ou tel degré d'ouverture des gaz.

PHOTO 1/5 COMPARAISON ENTRE BOISSEAU PLAT ET BOISSEAU CYLINDRIQUE

PHOTO 2/5 CARBURATEUR ELLIPTIQUE À BOISSEAU PLAT (A GAUCHE) ET CARBURATEUR TRADITIONNEL À BOISSEAU CYLINDRIQUE

Par exemple, il est inutile de se creuser les méninges sur la position d'une aiguille, sa forme, le chanfrein du boisseau et le diamètre du gicleur de ralenti si on est à l'ouverture maxi : ces éléments n'ont pratiquement aucun rôle à ce régime.
Si le moteur est préparé en profondeur et que vous ne disposez pas d'informations de base, la méthode la plus prudente consiste à débuter sans gicleur principal et avec l'aiguille abaissée au maximum (appauvrissement maxi). Si le moteur tient le ralenti mais qu'il s'étouffe dès que l'on ouvre les gaz, le diamètre du puits et de l'aiguille sont à priori corrects. S'il ne tient pas le ralenti, il faut diminuer le diamètre de l'aiguille pour avoir plus de passage ou augmenter le diamètre du puits, ce qui est généralement impossible. Et si le moteur ne s'étouffe pas instantanément, il faut augmenter le diamètre de l'aiguille ou réduire celui du puits.
Une fois une combinaison correcte obtenue, on passera à la définition du diamètre du gicleur principal, en commençant par un gicleur donnant un mélange riche. Puis on descendra progressivement en diamètre jusqu'à obtenir un fonctionnement optimal à plein régime. À ce stade, il est préférable que l'aiguille soit en position moyenne afin de garder d'éventuelles possibilités de réglage. Enfin, une fois ce travail sur le gicleur principal dégrossi, on passera à la mise au point du ralenti.

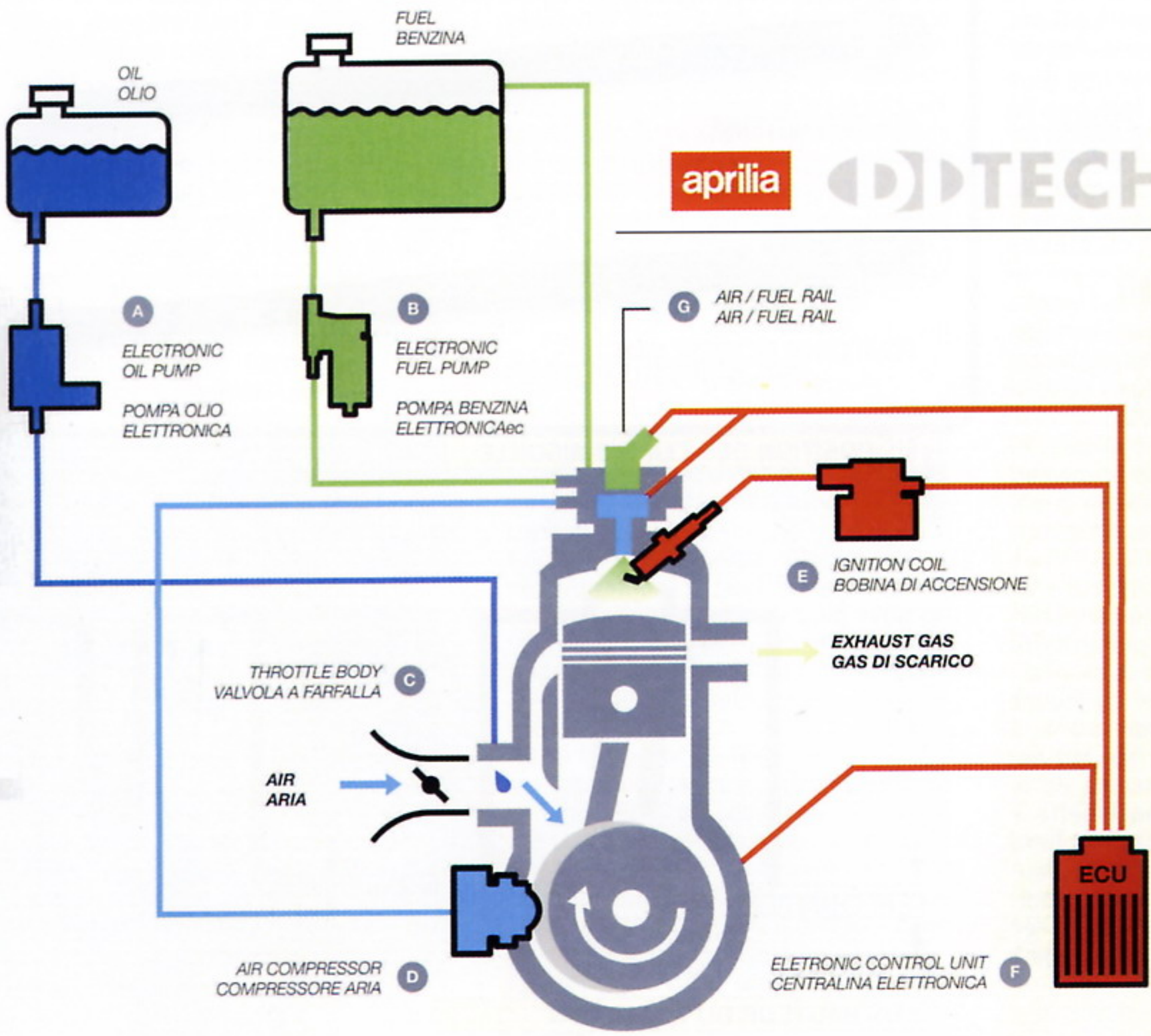
REGLAGE DU RALENTI

Le réglage de ralenti le plus courant est constitué d'une vis à bout conique qui bloque la descente du boisseau en laissant une petite hauteur libre pour le passage de l'air. Un autre système consiste en un passage d'air auxiliaire, externe au conduit principal, réglable par le même type de vis que précédemment. Ici, le boisseau ferme donc complètement la section de passage.
Dans les deux cas, le carburateur est équipé d'une autre vis conique qui obstrue plus ou moins le passage de l'essence pouvant être aspiré par le conduit de dépression.

Pour procéder au réglage du ralenti, on dévissera complètement la vis qui joue sur la hauteur du boisseau puis on la revissera jusqu'à l'ouverture de

CYLINDRÉE	ENDURO	CROSS	VITESSE
50-60			28-30
80		28-30	30-32
125	32-34	36-38	36-38
250	36-38	38-40	40-42
350-500	36-38	38-40	40-44

FIG 4/5 **RAPPORT CYLINDRÉE/DIAMÈTRE DE CARBURATEUR POUR MONOCYLINDRES**



aprilia TECH

Schéma de principe du système d'injection directe Di-Tech monté en 50 cm³. Seul l'air passe par le carter pompe. Il sert à effectuer le balayage. Ce n'est que lorsque le piston remonte que l'essence est injectée. L'air qui va servir à réaliser le mélange est injecté sous pression comme le carburant dans une chambre de mélange. Ensuite, ce mélange est lui même injecté dans la chambre de combustion.
On peut ainsi économiser au maximum 35% de carburant et 40 % d'huile.

ce dernier. La démarche sera identique s'il s'agit d'un passage d'air auxiliaire.
Ensuite, on recommencera cette opération sur la vis de richesse qui commande l'ouverture du passage d'essence puis on démarre le moteur.
L'opération suivante consiste à jouer sur le réglage de ces deux vis pour atteindre un ralenti compris entre 1000 et 2000 tr/min.
Si le moteur ne tient pas ce régime, il est probable que le gicleur de ralenti n'est pas le bon. Si le régime augmente lorsque l'on réduit le passage d'air (ce qui revient à enrichire un mélange trop pauvre), le gicleur est trop petit. Si le moteur tient le régime avec un mélange trop riche, c'est-à-dire pour une vis d'air ouverte d'un à deux tours, on peut estimer que le gicleur a le bon diamètre.

On passe enfin au choix définitif du gicleur principal en commençant toujours par un élément de gros diamètre. On réduira progressivement le diamètre (donc on appauvrira un mélange volontairement trop riche) jusqu'à obtenir un fonctionnement régulier à pleine ouverture. Compte tenu du prix modique des gicleurs, on n'hésitera pas à faire de nombreux essais afin de déterminer la carburation optimale.
À noter que durant toute cette opération, l'aiguille restera positionnée sur sa hauteur moyenne pour garder une latitude de réglage (fig.6/5).

Pour régler la carburation à pleine ouverture, on procédera de la même façon. En revanche, un gicleur trop gros se caractérisera par le fait que le moteur prendra des tours lorsqu'on augmente l'arrivée d'air (la carburation est toujours trop riche et l'on n'arrive pas à l'appauvrir suffisamment).

FORME DU BOISSEAU

La forme de la partie inférieure du boisseau influence le régime du ralenti de manière sensible jusqu'au quart de l'ouverture totale environ (fig.7/5).
Plus le chanfrein est petit et plus la dépression sera importante au niveau du venturi. À ouverture égale, la quantité d'essence aspirée au travers du circuit de ralenti sera donc plus importante. À ces régimes, il peut arriver que le mélange subisse un enrichissement excessif, ce qui pénalise la progressivité de la courbe de puissance.
Si l'effet n'est pas atténué en jouant sur le diamètre du gicleur de ralenti, il sera opportun d'intervenir sur la hauteur du chanfrein du boisseau, en le travaillant millimètre par millimètre à l'aide d'une fraise ou d'une la lime douce tout en reproduisant scrupuleusement la forme d'origine. Cette modification réduit la dépression et l'enrichissement excessif du mélange à ces niveaux d'ouverture.

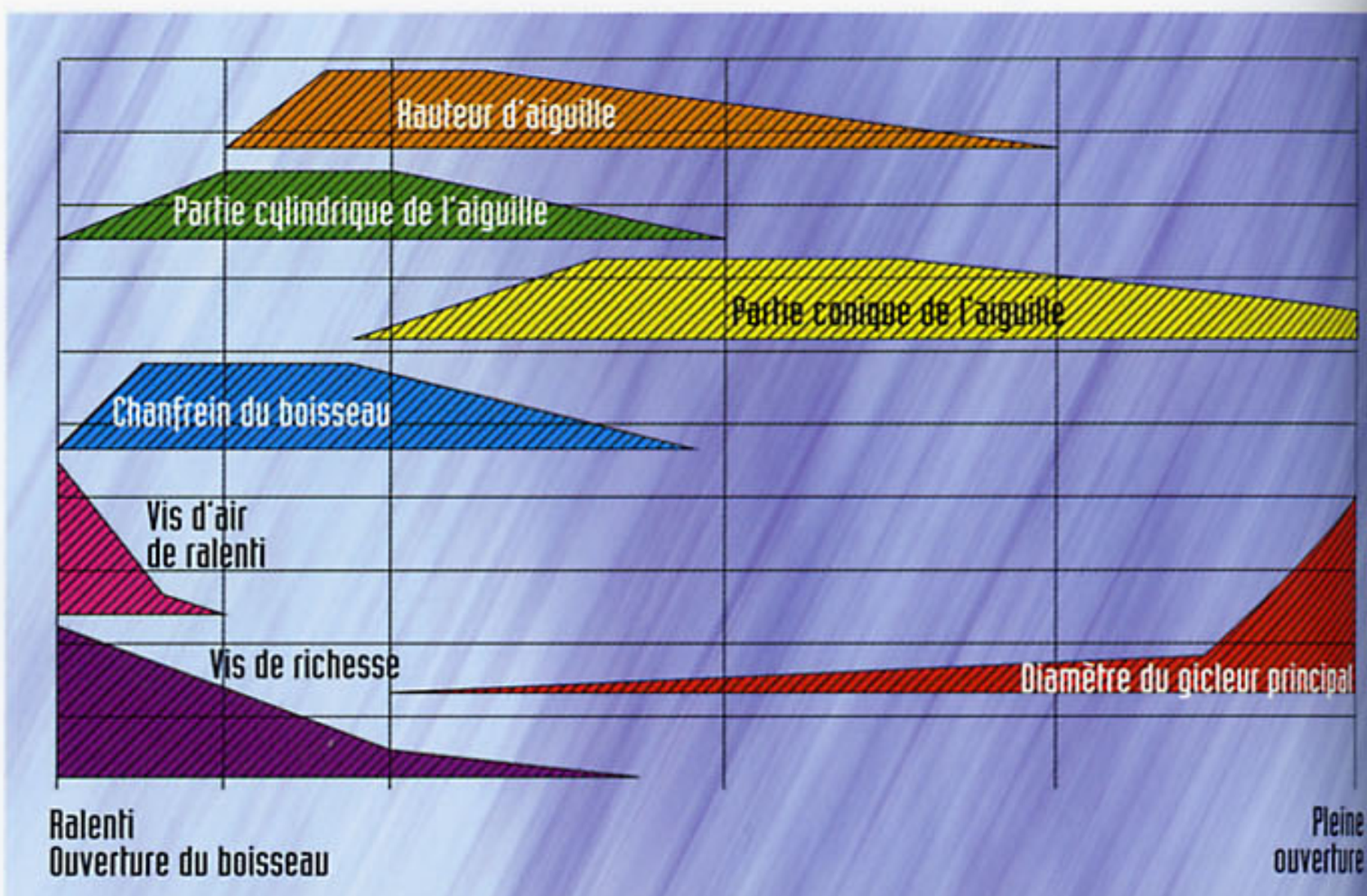


FIG 5/5 INFLUENCE DES DIFFERENTS COMPOSANTS SUR LA CARBURATION

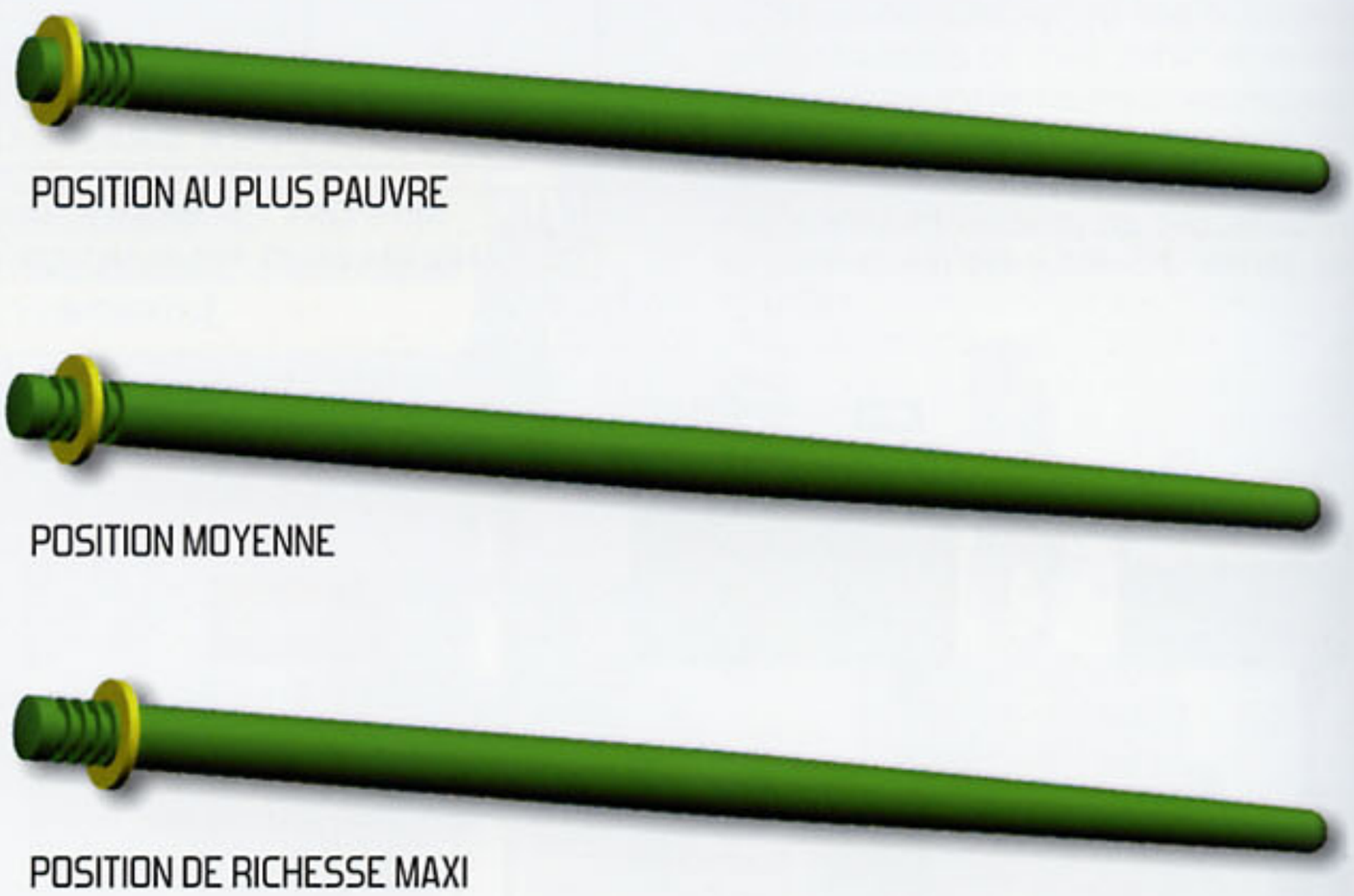


FIG 6/5 POSITION DES CLIPS D'AIGUILLE

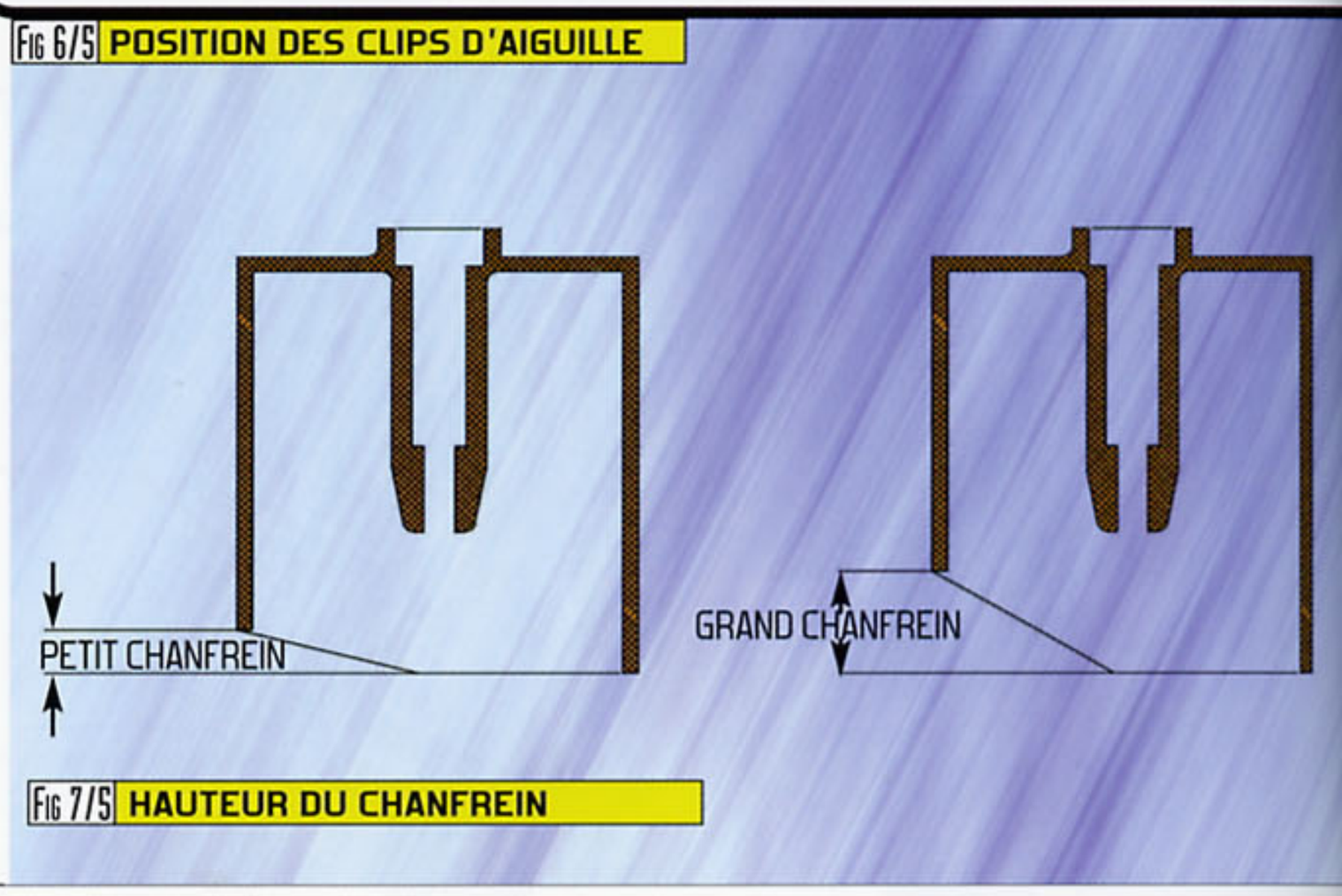


FIG 7/5 HAUTEUR DU CHANFREIN

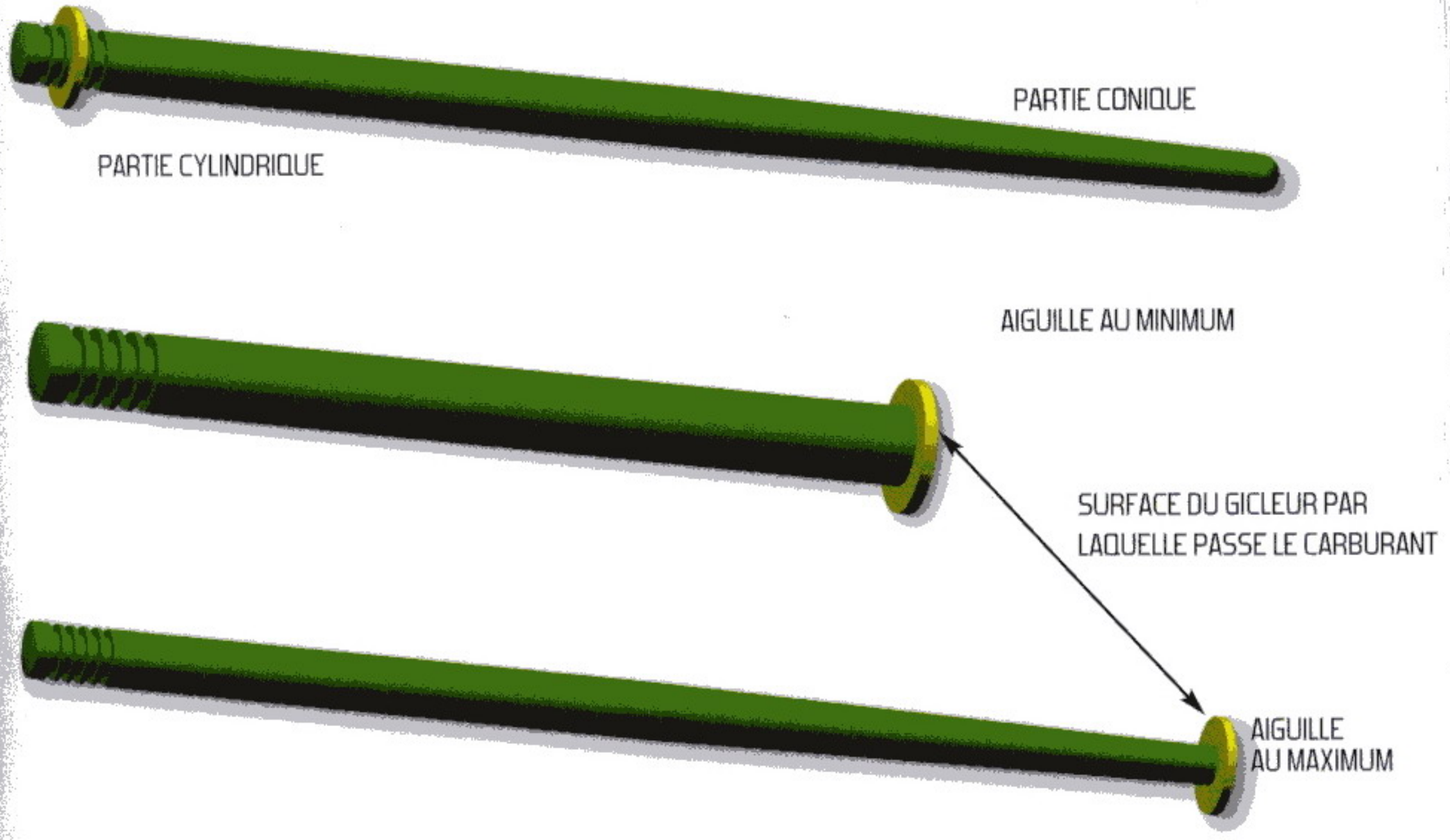


Fig 8/5 **INTERACTION AIGUILLE/GICLEUR**

CHOIX DE L'AIGUILLE

La forme et les dimensions de l'aiguille conique influencent la courbe de puissance allant du quart aux trois quarts de l'ouverture (fig.8/5).
Du fait de sa conicité, plus l'aiguille sort du puits calibré, plus la surface de passage libérée et donc la quantité d'essence aspirée augmente. Plus le diamètre du puits est important et l'aiguille fine, plus il passe d'essence pour enrichir le mélange. À l'inverse, en augmentant la section de l'aiguille, on appauvrit le mélange. En allongeant la partie conique, on enrichit le mélange plus tôt.
D'autre part, la quasi-totalité des aiguilles possèdent plusieurs gorges de positionnement dans leur partie supérieure. La position basse permet à l'aiguille d'être plus haute dans le boisseau (et dans le puits) et donc d'enrichir le mélange. La gorge la plus haute permet d'appauvrir le mélange.
En considérant une distance d'environ 0,7 à 1 mm entre chaque gorge, il est intéressant d'observer les effets des différentes hauteurs sur la carburation. Vous constaterez que ce petit déplacement vertical modifie sensiblement la carburation.
Cependant, n'oubliez pas que la partie haute de l'aiguille est cylindrique et que par conséquent, une variation de la carburation n'est possible que sur la partie conique de l'aiguille, soit pour une certaine ouverture du boisseau (d'un quart à trois quarts).

LE CIRCUIT D'ALIMENTATION

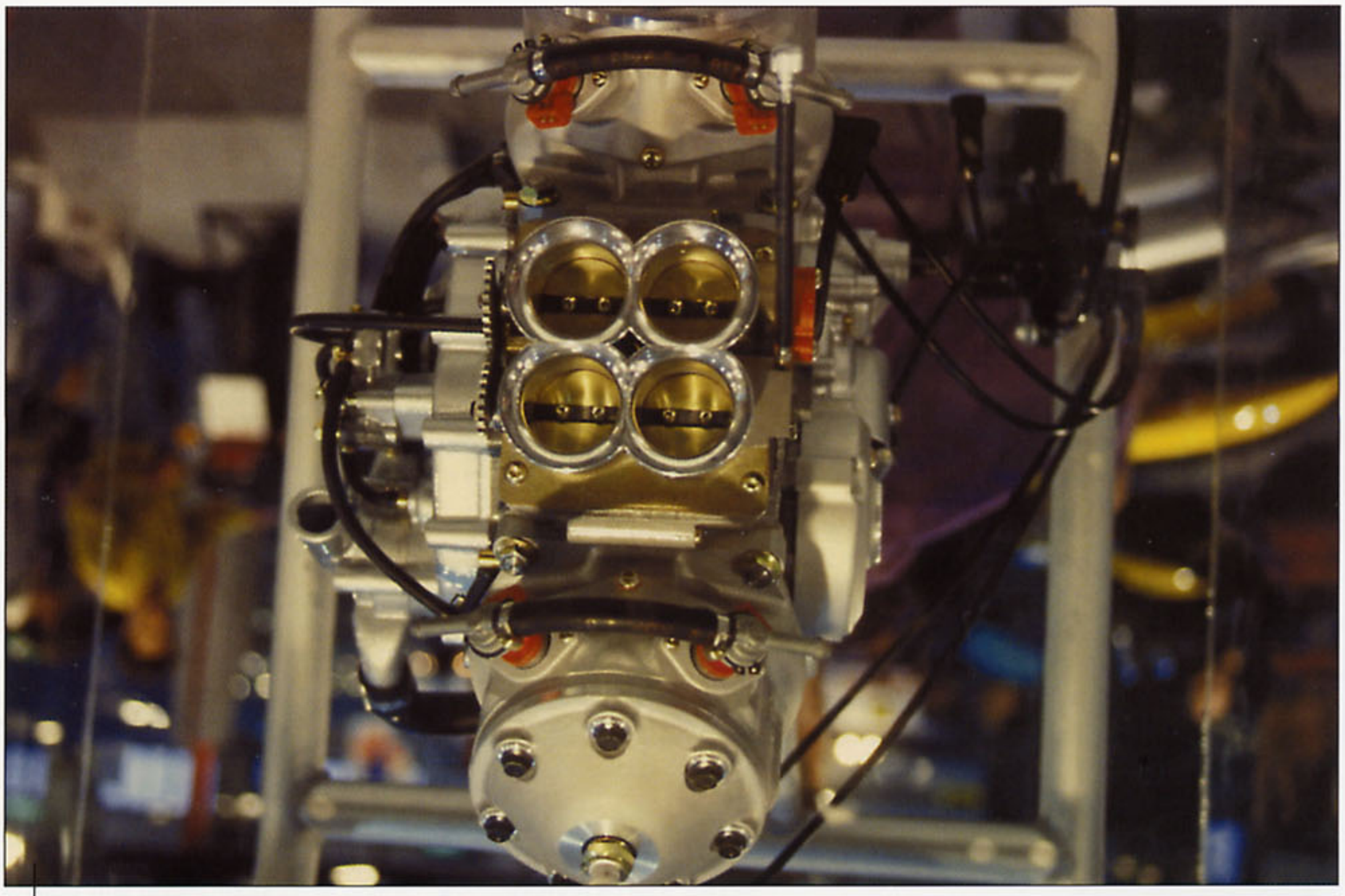
Un moteur très préparé nécessite parfois le remplacement des durits entre le réservoir et le carburateur. Dans la majorité des cas, l'alimentation se fait par gravité. Si le passage de carburant autorisé par le robinet et les durits est insuffisant, il y a appauvrissement dans la cuve et risques de détonation et de casse moteur. Il ne faut donc pas hésiter à augmenter le diamètre du robinet et des durits au maximum, le débit d'essence étant de toute façon maîtrisé par le flotteur et le pointeau.

GICLEUR PRINCIPAL

Ce gicleur influence la carburation à pleine ouverture du boisseau.
Vissé en bout du puits d'aiguille, il s'agit de la pièce intermédiaire entre le conduit et la cuve.
Comme il est immergé au point le plus bas de la cuve, il peut facilement être bouché par des impuretés, en dépit de la présence d'un filtre. On veillera donc toujours à la propreté de tous les composants du carburateur et en particulier de ce filtre
Déterminez le gicleur qui donne la meilleure puissance à pleine ouverture comme décrit précédemment et montez un gicleur de deux centièmes plus gros. Les gicleurs sont numérotés par leur diamètre de passage en centièmes de millimètres (un gicleur de 150 a donc un diamètre de 1,5 mm).
Cette marge offre une sécurité supplémentaire en termes de fiabilité en rendant le mélange légèrement riche à haut régime sans pénaliser les performances. Le reste de la plage utile s'affine par la hauteur de l'aiguille en fonction du nombre de gorges disponibles.

SONDE DE TEMPERATURE DES GAZ D'ECHAPPEMENT

La méthode la plus simple, et tout de même très efficace, pour évaluer la qualité de la carburation consiste à observer la couleur de la bougie. Cette banale inspection est plus délicate avec les bougies de compétition sur lesquelles la surface de dépôt est minime. De plus, la prise de température sur le corps de la bougie permet de contrôler le fonctionnement dans son ensemble, mais présente trop d'inertie pour autoriser une comparaison immédiate.
À l'inverse, la température des gaz est également un bon révélateur puisqu'elle sera plus ou moins élevée en fonction de la carburation.
L'évolution de l'électronique a permis de faire beaucoup de progrès dans ce domaine, tant au niveau de la précision que du coût des composants de mesure. On pourra donc utiliser une sonde conçue pour fonctionner jusqu'à 900°C et placée à 10 cm maxi de la lumière d'échappement.
Avec le moteur en pleine charge, la température ne doit pas excéder 600°C pour une moto de vitesse et même moins pour une moto d'enduro homologuée. Si la température est supérieure, la carburation est pauvre.



Moteur V2 500 Bimota à deux injecteurs par cylindre.

Si elle est inférieure, le mélange est riche. Il est à noter que cette donnée varie en fonction de la configuration du moteur étudié car elle dépend énormément de la phase de transfert qui refroidit les gaz d'échappement.
Une légère circulation abaissera sensiblement la température mesurée. Il faut donc plusieurs séances de réglages pour identifier l'intervalle de températures optimales dans lequel se trouve le rendement maxi.
Le contrôle de la température des gaz d'échappement est très utile lors des changements de piste ou lorsqu'on passe d'un temps pluvieux à un temps ensoleillé. C'est également une donnée précieuse pour identifier des trous de carburation très difficiles à diagnostiquer autrement.

SYMPTÔMES

Voici une série de symptômes relatifs aux problèmes suivants :

GICLEUR PRINCIPAL TROP RICHE
Le moteur démarre correctement à froid mais difficilement à chaud.
Il pétarade et refuse de prendre des tours normalement jusqu'à pleine ouverture, surtout à faible charge.

GICLEUR PRINCIPAL TROP PAUVRE
Le moteur démarre bien à chaud, mais fonctionne difficilement à froid.
Il tourne bien mais n'atteint pas la puissance maxi. Il chauffe très rapidement et perd encore plus de puissance.
Plus spécialement en montée ou à vitesse maxi lorsque l'effet du Cx se fait sentir, il y a détonation. Sur un moteur de cross, ce phénomène se produit sur terrain meuble ou dans le sable, lorsque le moteur est toujours en charge.

POSITION D'AIGUILLE TROP HAUTE (TROP RICHE)
Le moteur cafouille lorsque l'on accélère entre la moitié et les trois quarts d'ouverture, surtout s'il n'est pas en charge. Tout rentre dans l'ordre quand on ouvre en grand. La réaction à l'ouverture des gaz est laborieuse.

POSITION D'AIGUILLE TROP BASSE (TROP PAUVRE)
Hésitations durant les accélérations brèves. Le moteur hésite un moment puis reprend normalement quand le gicleur principal prend le relais. Le moteur a tendance à surchauffer et les symptômes finissent par s'aggraver.

AIGUILLE TROP RICHE
La moto paraît lourde sur les petites accélérations et a besoin d'un moment pour décoller. Les démarrages sont lents et le bruit est sourd à la façon d'un quatre temps. Le moteur a du mal à tourner à froid et ne monte pas en température.

AIGUILLE TROP PAUVRE
La moto fonctionne très bien tant que le moteur est froid. Ensuite, le comportement devient critique et le moteur surchauffe. Le changement de position d'aiguille ne change rien.
Une aiguille plus riche (donc plus mince) améliore la situation jusqu'au premier quart d'ouverture. Le changement de position de cette nouvelle aiguille améliore la montée en régime jusqu'aux trois quarts d'ouverture.

GICLEUR DE RALENTI TROP RICHE
Le moteur tourne mal juste au-dessus du régime de ralenti et accélère lentement.

GICLEUR DE RALENTI TROP PAUVRE
La moto démarre bien, mais le moteur a du mal à accélérer à partir du ralenti au point mort. Il ne démarre pas par temps froid.

VIS DE REGLAGE D'AIR
Elle agit sur le circuit du ralenti et il ne faut pas la fermer complètement au risque de créer une dépression trop importante à la coupure des gaz. Elle doit être dévissée d'un tour un quart environ. Si plus de trois tours sont nécessaires au réglage, il convient d'opter pour un gicleur de ralenti plus petit et inversement.

POWER JET
Même si l'aiguille est parfaitement adaptée, il peut y avoir un manque de carburant à bas et moyens régimes. Cette quantité d'essence supplémentaire est surtout un gage de longévité

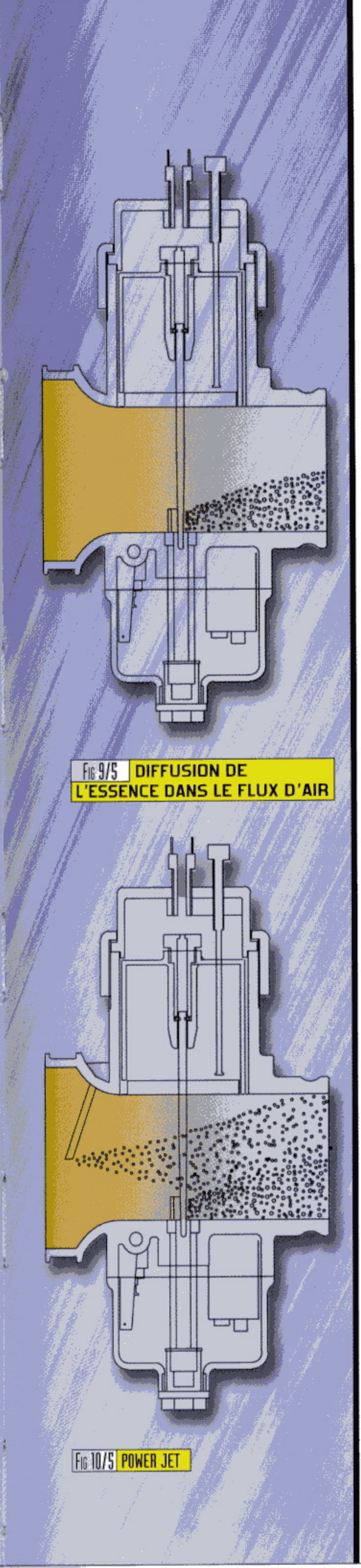


FIG 9/5 DIFFUSION DE L'ESSENCE DANS LE FLUX D'AIR

FIG 10/5 POWER JET

pour le moteur.
L'aiguille ne permet à l'essence de sortir que d'un côté du puits et malgré l'efficacité du mixage de l'air et de l'essence, des poches de mélange plus ou moins riche peuvent se retrouver dans la chambre de combustion (fig.9/5). Pour palier ce problème, les carburateurs sont équipés de ce qu'on appelle un "Power Jet".
Il est composé d'un petit tube relié à la cuve et placé exactement au centre du conduit, avant le boisseau. Ce tube utilise la dépression pour envoyer de l'essence qui va se mélanger au flux d'air dans le conduit d'admission (fig.10/5). Le cas échéant, le Power Jet pourrait trop enrichir le mélange, ce qui nuirait au fonctionnement et conduirait à une baisse de puissance.
Les carburateurs modernes possèdent un contrôle électromécanique de l'écoulement qui stoppe le fonctionnement de cet artifice lors des accélérations du flux d'air. Autrement dit, l'électronique de la centrale d'allumage limite le fonctionnement du Power Jet à certains régimes.

PRINCIPES GENERAUX

Le gicleur principal sera remplacé par un modèle plus gros lors d'une utilisation prolongée à pleine charge par beau temps et température fraîche : circuit sablonneux pour une moto de cross ou longues lignes droites en vitesse. Il sera remplacé par un plus petit en cas de pluie, de forte humidité ou grosse chaleur, soit dans tous les cas où la densité de l'air diminue. Il faudra tout de même tenir compte de la nature du terrain. Normalement, il suffira de jouer sur la hauteur d'aiguille.
Un baromètre précis est très utile pour savoir quoi modifier. Souvenez-vous que plus la pression est élevée, plus la densité de l'air est élevée et plus la carburation devra être riche. Plus la pression est basse, ce qui est normalement le cas quand le taux d'humidité est élevé, plus la carburation devra être appauvrie.
On gardera également en mémoire le fait qu'il faut toujours maintenir une carburation légèrement riche qui possède l'avantage de la progressivité et de la prévention des risques de casse, contrairement à une carburation pauvre, source principale de serrage et de détonation.

PANNES BENIGNES

Parmi les petits désagréments liés à la carburation, citons les conduits ou les gicleurs bouchés. Même en présence d'un filtre au niveau du réservoir et/ou à l'entrée du carburateur, des petites impuretés peuvent passer dans le circuit et s'agglomérer dans la cuve avant de le boucher.
C'est généralement au printemps que ce genre de problème arrive, après une période de stockage durant laquelle le carburateur et les accessoires attenants ont subi une oxydation, ou la formation de champignons et de dépôts. Des micro-organismes peuvent en effet survivre dans ce milieu, les avions et les hélicoptères en font parfois les frais. À tel point que le carburant pour avion des pays tropicaux reçoit un additif antimycosique.
La présence d'eau est un autre problème. Présente par condensation aussi bien à la pompe que dans le réservoir, elle a l'inconvénient d'être plus lourde que l'essence. Résultat, elle se concentre au fond de la cuve du carburateur, justement là où les gicleurs aspirent l'essence.
Dans tous les cas, la vidange de la cuve, voire le démontage et le nettoyage du carburateur est inévitable. Pour éviter ce genre de désagrément après une période de stockage, démonter la cuve et pulvériser du WD 40 à l'intérieur du carburateur avant stockage hivernal.

PANNES GRAVES

Si la carburation s'appauvrit soudain, sans aucun motif, avec pour symptômes évidents des hésitations, des toussotements et des explosions dans l'échappement, le tout pendant que vous roulez, on ne devra pas chercher forcément la cause au niveau du carburateur : ce genre de panne est plutôt à imputer à une prise d'air. On vérifiera donc l'étanchéité au niveau des bagues de vilebrequin, au niveau de tous les joints entre boîte à clapets et pipe d'admission et entre pipe et carburateur. Puis on contrôlera d'éventuelles fuites au niveau des joints d'embase et de culasse.
Une fumée excessive à l'odeur particulière peut être liée à un défaut d'étanchéité de la bague côté boîte. Vérifiez la consommation d'huile de boîte avant de réduire la quantité d'huile du mélange.
Il est possible de vérifier soi-même l'étanchéité des bagues de vilebrequin si l'on dispose de l'outillage nécessaire. Il faut boucher la sortie d'échappement du cylindre à l'aide d'un bouchon, en alu par exemple, équipé d'un joint. Ensuite il faut fixer une tôle de 0,5 mm au moins, munie d'une valve de gonflage, à la place de la boîte à clapets tout en conservant le joint.
Mettez le moteur en surpression de 0,5 Bar maxi à l'aide d'une pompe à vélo (n'utilisez pas de compresseur sinon vous êtes sûr de faire sauter les bagues). Montez sur la valve un manomètre précis et observez la vitesse à laquelle la pression descend en sachant qu'une baisse de 0,05 Bar à la minute est acceptable.
Profitez de cette mise sous pression pour isoler une éventuelle fuite au niveau du joint d'embase. Pour cela,

PHOTO 3/5 CARBURATEUR DE KART

il suffit de passer du savon liquide mélangé à de l'eau sur le plan de joint et de traquer les bulles signalant une fuite. L'appauvrissement peut aussi provenir de la vieillesse de la pipe d'admission qui durcit dans le temps et n'assure plus son rôle d'absorption des vibrations : l'essence s'émulsionne alors avec l'air avant d'être introduite dans la cuve. Le gicleur aspire alors cette émulsion moins riche en essence.
Autre cause moins noble mais très courante et toute aussi dangereuse pour la mécanique, la mise à l'air du réservoir peut être bouchée. Ce petit tuyau inoffensif est potentiellement responsable d'un bon nombre de désagréments : n'hésitez pas à le vérifier et le remplacer le cas échéant...

MISES A L'AIR DU CARBURATEUR

Dans le même ordre d'idée, les tubes de mise à l'air du carburateur sont indispensables pour maintenir une bonne hauteur du niveau d'essence dans la cuve, quelles que soient les conditions.
Pour qu'ils remplissent pleinement leur fonction, il est impératif que leur extrémité soit dégagée, même en présence de poussière ou d'eau.
Un moyen d'être sûr qu'ils ne peuvent pas être bouchés est de diviser la sortie en deux à l'aide d'un T. Une extrémité est tournée vers le haut (sous le réservoir par exemple) et l'autre vers le bas.

Par contre, il faut bien s'assurer que les extrémités ne donnent pas sur des parties sensibles comme le corps d'amortisseur, les joints et les pignons. En effet, l'essence et ses vapeurs peuvent les endommager soit en les attaquant, soit en retirant la couche grasse de protection.

LES MODIFICATIONS DU CARBURATEUR

Les carburateurs des motos de série sont en général volontairement sous-dimensionnés. Nous ferons l'impasse sur les 50 cm^3 systématiquement sous-équipés afin d'en limiter la puissance pour nous intéresser à la catégorie 125 cm^3 qui possède l'avantage d'être aussi la cylindrée unitaire de nombreux multicylindres.
Un rapide coup d'œil aux fiches techniques permet de constater que la plupart des 125 destinés à la route sont équipés de carburateurs de 27 ou de 28 mm, à comparer aux modèles de 40 mm que l'on trouve sur les machines de course. Équipées de tels carburateurs, les motos de série sont donc utilisables à tous les régimes et peuvent affronter la ville sans y laisser leur l'embrayage.
Si l'on accepte de renoncer à un certain confort à bas régimes, il est possible de monter à un carburateur de plus gros diamètre sans pour autant revoir le système d'admission dans son entier.

La solution la plus économique est d'aléser le corps de venturi du carburateur de quelques millimètres. Cette opération est possible car le boisseau est toujours plus large que le diamètre de passage des gaz : par exemple, sur un carburateur de 28 mm, le boisseau mesure 32 mm de large (ou de diamètre s'il s'agit d'un boisseau cylindrique).
Toutefois, il s'agit d'une modification délicate au niveau du centrage. Ceux qui ont la chance d'avoir accès à une fraiseuse auront un résultat de bonne qualité. Avant d'intervenir, il faut tout de même s'assurer qu'on ne risque pas d'endommager une canalisation interne. Il est également nécessaire de retirer le puits d'aiguille et de le raccourcir en conséquence. Enfin, il faut aussi retoucher les rainures de guidage du boisseau et vérifier qu'il s'adapte bien.
Un carburateur ainsi retouché offrira un rendement dynamique à haut régime nettement meilleur que celui d'un carburateur plus grand car il génèrera moins de turbulences. Cependant, il pourra parfois avoir quelques « défaillances » à faible ouverture : le guidage étant de moins bonne qualité, le boisseau pourra parfois rester bloqué...
En faisant un petit sacrifice financier et sans avoir la satisfaction d'avoir "bidouillé" soi-même son carburateur, il vaut mieux, lorsque c'est possible, s'offrir un carburateur adaptable de plus gros diamètre qui donnera toujours de meilleures garanties de bon fonctionnement.

☐ LES CARBURATEURS DE KART

Si les carburateurs pour kart 125cm³ sont identiques à ceux des motos (voir les chapitres précédents), il en va tout autrement pour les 100cm³ dépourvus de boîte de vitesses et dont les caractéristiques de carburation sont bien spécifiques.
Avant toute chose, le carburateur doit avoir une masse très réduite pour des questions d'encombrement et de poids Ensuite, les moteurs de kart 100cm³ atteignent des régimes très élevés avec beaucoup de vibrations. Une pipe d'admission souple ne résout pas le problème comme en moto : les vibrations émulsionnent l'essence comme nous l'avons déjà évoqué précédemment et il en résulte une carburation imparfaite. Ce qui a conduit les motoristes à retirer le système de cuve et de flotteur.
Ce type de carburateur dédié est donc devenu un drôle de truc très simple (photo 3/5). Universellement répandu, le Tillotson est issu des carburateurs de tronçonneuse qui doivent fonctionner dans tous les sens sans avoir de cuve. Ensuite, une série de carburateurs a vu le jour en s'inspirant de ces principes et en améliorant au fur et à mesure le volume de la chambre de carburant, le boisseau, le système de régulation interne et externe et la forme du venturi en fonction de la plage de régime désirée.
En tenant compte du fait que les ondes de pression agissent autant sur la cuve que sur la pompe, on peut dire qu'il s'agit là d'un système hybride entre carburateur et injection basse pression. Pour cette raison, il est fondamental de contrôler la différence de pression de ce type de carburateur à l'aide d'un outillage spécifique.
Les surpressions et dépressions dans le carter conditionnent aussi la carburation. Chaque révision du moteur (et chaque changement du segment également) doit être accompagnée d'un contrôle de la carburation.

☐ PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT D'UN CARBURATEUR DE KARTING

Dans cette discipline, le carburateur fonctionne aussi suivant la dépression au niveau du venturi. Ce dernier est constant puisque le boisseau est remplacé par un papillon dans la plupart des cas.
Ce carburateur inclut une pompe à essence qui utilise les ondes de pression/dépression qui se succèdent dans le carter. Celles-ci déplacent une membrane par l'intermédiaire d'un petit passage sur le plan de fixation. L'effet pompe est produit à l'aide d'une paire de lamelles qui font office de soupape. Plus le moteur prend des tours, plus la dépression et le nombre de pompage est conséquent. La quantité d'essence pompée augmente alors avec le régime. Si l'essence était directement envoyée aux gicleurs, le mélange serait vraiment trop riche car elle s'additionnerait directement à la dépression du venturi.
De plus, la quantité de carburant issue du « pompage » n'est pas forcément proportionnelle à la charge d'air admise. Le seul venturi n'est pas à même de réguler seul le mélange. La régulation est donc optimisée grâce à une membrane qui agit en fonction de la différence de pression entre la pression atmosphérique, la dépression du venturi et la pression d'essence. Cette membrane agit sur un balancier à l'aide d'une mollette qui régule le flux de carburant. Plus la raideur du ressort de rappel de la membrane est importante, moins elle s'ouvre. Il en résulte un appauvrissement du mélange, spécialement à bas régime alors que la pression est encore faible. Inversement, un ressort souple permettra un mélange riche, même à bas régime.
Quoi qu'il en soit, il est de toute façon difficile de qualifier la dureté de ce ressort, vu la faible dépression agissant sur cette membrane.
Entre les différentes marques de carburateurs, mais aussi entre les carburateurs eux-mêmes, les valeurs d'ouverture et de fermeture de la membrane varient. En moyenne, elle s'ouvre aux alentours de 0,8 bar et se ferme aux environs de 0,6 bar. En installant sur le carburateur une pompe équipée d'un manomètre de précision, il est possible de noter les valeurs d'ouverture et de fermeture de la membrane (photo 4/5).
La dureté de ce ressort est dépendante de la pression atmosphérique qui conditionne la différence de pression. D'autres facteurs interviennent aussi sur la carburation. Le type du moteur, la température de l'air, une variation du refroidissement... tous ces facteurs font qu'un ajustement par le biais de la molette est nécessaire à chaque variation. Les tableaux de référence existants ne sont qu'indicatifs, le réglage est vraiment propre au moteur et aux conditions du moment. Par ailleurs, la molette de réglage est un composant fragile et sujet aux déformations. Celles-ci conduisent fatalement à une fluctuation du réglage.

La forme particulière du raccord entre le corps de carburateur et le moteur, en fait un restricteur imposé par la réglementation technique constitue un autre problème typique de cette carburation. En effet, le restricteur limite la charge d'air et donc la puissance maxi. À 18000g/m et avec un rapport volumétrique de 100 %, le moteur tente d'aspirer 30 litres d'air à la seconde à travers un conduit au diamètre très réduit. Les turbulences résultantes sont telles qu'elles réduisent sensiblement la section efficace de passage. S'il n'est pas possible d'endiguer ce problème, l'optimisation du profil permet néanmoins d'adapter les caractéristiques de l'écoulement aux exigences du moteur. En fonction du type de moteur, de la piste et des conditions atmosphériques, la forme du conduit peut varier. Il n'est pas nécessaire de remplacer le carburateur dans son entier. Différents profils sont disponibles dans le commerce et se changent aisément, pour peu que le carburateur soit prévu pour. Enfin, la carburation peut aussi varier du fait de la chaleur diffusée par le moteur. C'est un peu moins vrai pour les blocs à refroidissement liquide.
En effet, le carburateur reçoit une bonne dose de chaleur, plus par rayonnement que par conduction d'ailleurs. En plus de la dilatation des composants, la carburation souffre d'une modification de l'élasticité de la membrane dont le « comportement » se trouve modifié. Les pilotes sont donc souvent conduits à ajuster leur carburation durant la course.
Pour réduire au minimum ce rayonnement, on peut choisir de polir la partie du carburateur dirigée vers le moteur afin qu'elle réfléchisse la chaleur. A l'inverse, le côté filtre devra être plutôt sombre, voire noir mat, de façon à disperser cette chaleur.

☐ VIS DE REGLAGE

Les régimes maxi et de ralenti sont gérés par des gicleurs, mais aussi par deux vis coniques qui obstruent des petits conduits en laissant passer plus ou moins de carburant.
Le conduit débouchant à proximité du papillon est celui des bas régimes. Lorsque celui-ci est fermé, la principale zone de dépression se situe à cet endroit. En revanche, lorsque le papillon est ouvert, la zone de dépression se trouve plutôt au niveau de l'étranglement du venturi. Le conduit débouchant à cet endroit prend alors le relais.
Les dimensions réduites du conduit et la faible conicité du profil des vis rendent le réglage délicat. Un quart de tour en plus ou en moins peut transformer un bon rendement en casse moteur.
En moyenne, ces vis sont ouvertes d'un tour. Des ouvertures de trois ou quatre tours n'existent pas sur ces carburateurs. Soyez très prudents lors du réglage car il est très facile de glisser vers la détonation, aussi est-il judicieux de donner un demi-tour en plus et de descendre progressivement.
Il faut également être attentif à ne pas bloquer exagérément l'une de ces vis afin d'éviter une déformation qui pourrait nuire à l'écoulement du carburant. La figure 11/5 illustre ces propos. Enfin, n'intervertissez pas les deux vis car elles sont différentes. Normalement, la vis de ralenti est la plus pointue car elle exige plus de précision. Elle est aussi plus brillante.

PHOTO 4/5 **POMPE ET MANOMÈTRE POUR VÉRIFIER LA SOUPAPE DE RÉGULATION**

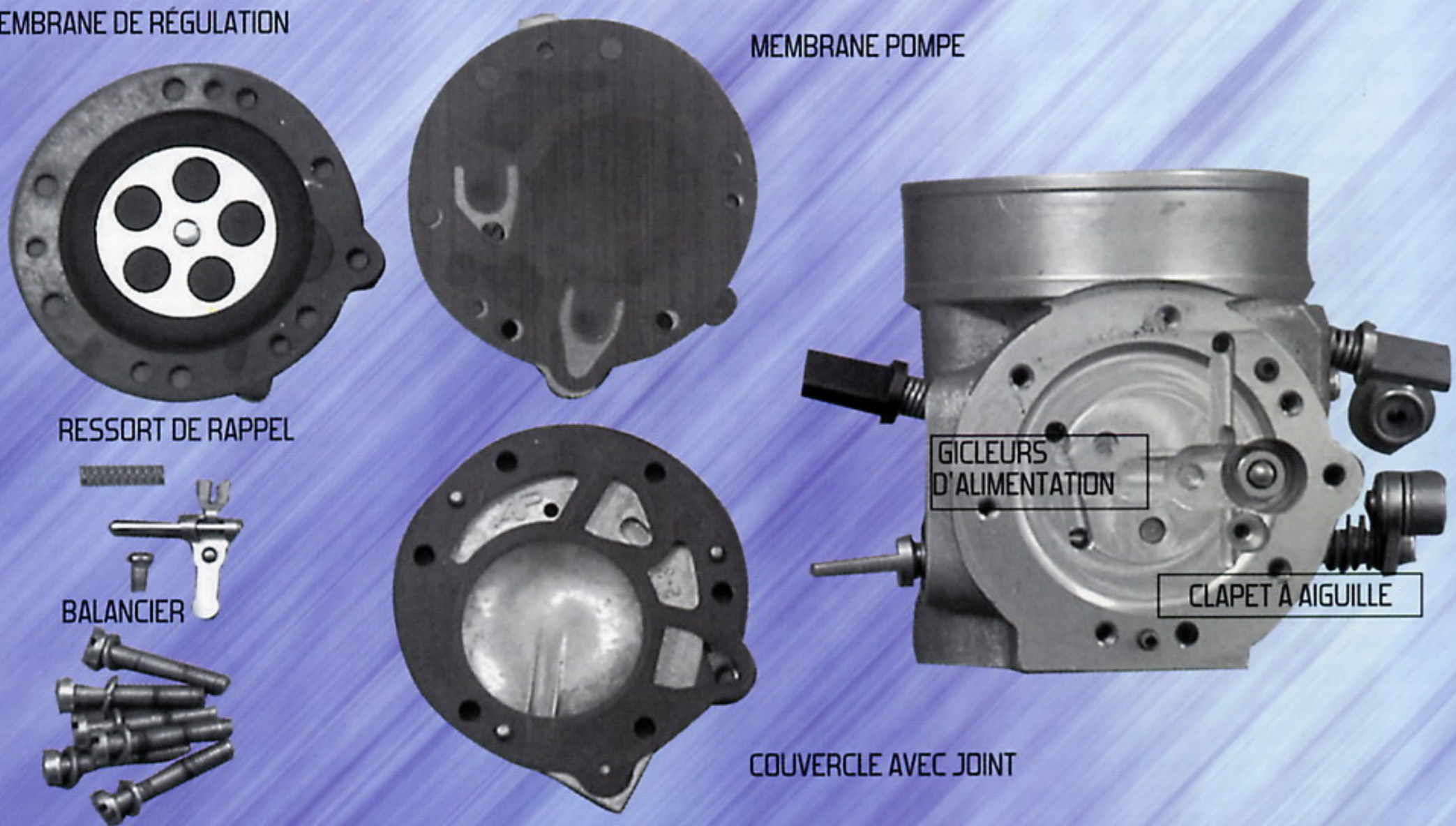


PHOTO 5/5 **CARBURATEUR DE KART DEMONTÉ**

LE CARBURANT

Pour des raisons déjà évoquées, l'essence du commerce n'est pas d'une qualité optimale. Il est toujours possible d'utiliser de l'essence spéciale d'un coût deux à trois fois supérieur à celui du carburant standard et qui offre 2 à 3 % de puissance en plus.
Ce gain - qui peut faire la différence - est le résultat d'une combustion plus rapide à haut régime, sans que le risque de détonation ne soit augmenté pour autant.
Les gens se trompent en pensant qu'il suffit de verser le précieux liquide dans le réservoir pour obtenir ce résultat. Ces essences sont faites pour une certaine courbe de pression en chambre de combustion, pour tel ou tel taux de compression. Leurs performances dépendent aussi de la forme de la chambre, du rapport alésage/course, de la longueur de bielle, de la courbe d'avance et enfin du rapport stœchiométrique. Ce n'est pas pour rien que les écuries de F1 utilisent de l'essence répondant à un cahier des charges bien défini.
Si l'on utilise ce type de carburant sans le tester au préalable, on risque au mieux une baisse de puissance, au pire d'endommager gravement le moteur. Les fabricants ne garantissent pas le rendement ni les conséquences de l'utilisation de leurs produits, ce n'est pas un hasard non plus !
Puisqu'il n'est pas donné à chacun de disposer de son propre carburant, il semble plus simple d'essayer de trouver la bonne forme de chambre de combustion en fonction de l'essence du commerce : les résultats n'en seront que meilleurs. En ce qui concerne cette essence du commerce, il faut savoir qu'elle est plus volatile en hiver qu'en été. Le carburant "estival" est plus dense pour éviter la formation de "vapor-lock" dans les conduits lorsque l'air dépasse les 25°C.
L'essence est à conserver dans des fûts métalliques à l'abri d'une éventuelle action photochimique. Évitez les bidons en plastique pour interdire des interactions possibles et une évaporation des composants les plus volatils à cause de la porosité des parois. Pour ceux qui ont la chance de pouvoir se procurer de l'essence de compétition, quelques règles simples sont à rappeler : ne jamais utiliser une essence spéciale sans l'avoir testé auparavant et ne jamais essayer un nouveau mélange lors d'une course.
L'indice d'octane indique le niveau antidétonant d'un carburant. Si les additifs augmentant ce nombre permettent effectivement de contrôler ce phénomène, ils ne sont pas toujours les garants de meilleures performances.
En effet, l'unique moyen d'éviter la détonation est de ralentir la combustion. Du coup, ces additifs jouant leur rôle, il est possible de se retrouver dans la situation absurde où l'on est obligé d'augmenter considérablement l'avance. Au final, on rejette beaucoup d'essence non brûlée et l'on perd de la puissance.
Une combustion de ce genre est caractérisée par une bougie bien noire faisant croire à une carburation trop riche et par un fort bruit de détente à l'échappement. Mais dans la chambre, la combustion est pauvre et l'excès d'oxygène se combine aux parties métalliques en faisant de beaux trous sur le piston.
Depuis le retrait du plomb, l'essence comporte un additif antidétonant connu sous le nom de MTBE. Il possède entre autres avantages d'être un excellent véhicule pour l'oxygène et ses composés. Toutefois, les jours de cet additif sont comptés puisque sa nocivité est avérée. Aux USA, il est même interdit dans les règlements techniques motocyclistes. Quel que soit le carburant utilisé, il faut essayer de constituer un stock provenant de la même production et de régler l'allumage et la carburation en conséquence.
On adoptera globalement la même attitude à l'égard des additifs à ajouter au carburant standard. Toutefois, si ces produits peuvent participer à la résolution d'un problème particulier, ils ne doivent pas être utilisés sur une base saine, du fait des risques potentiels qu'ils induisent.
La grande majorité de ces additifs est très nocive pour la peau et peu stable dans le temps. Par conséquent, il est impossible d'en préparer une grande quantité pour la saison entière. Une grande partie de ces produits peut aussi réagir avec les huiles synthétiques utilisées aujourd'hui.
À notre avis, lorsque les règlements le permettent, on utilisera le bon vieux mélange d'alcool méthylique. Pour que tout ce passe bien avec ce mélange, le réservoir doit être plus volumineux et les gicleurs choisis en fonction de la quantité de méthanol introduite. La membrane doit être adaptée à une densité supérieure et le gicleur d'entrée doit être plus grand. Souvenez-vous que la carburation doit être un peu riche et que l'allumage doit être avancé de 3 à 5° toujours en fonction de la quantité de méthanol. La bougie doit être plus chaude sans pour autant recourir à une électrode à base de platine.
L'alcool méthylique ne peut être mélangé qu'avec de l'huile de ricin. Afin de « stabiliser » le mélange, on y ajoutera 5 % d'acétone. L'un des grands avantages de ce mélange réside dans la température de fonctionnement qu'il permet, jusqu'à 30°C inférieure à la température constatée avec un carburant « normal ».
Avant de remiser la moto, il est souhaitable de la faire tourner au mélange standard car l'alcool méthylique est très agressif envers les joints et parce que l'huile de ricin génère des dépôts.

L'HUILE POUR MELANGE 2 TEMPS

L'huile de lubrification a une influence déterminante sur la combustion. En plus de lubrifier toutes les surfaces en contact, elle doit entièrement brûler pour générer le moins de résidus possibles. Pour avoir ces qualités, cette huile est le fruit de recherches très avancées et il n'est pas dit que tel produit vaille tel autre. Il faut également prendre en compte qu'un pétrolier peut avoir optimisé telle huile pour tel carburant. Du coup, certaines combinaisons peuvent être meilleures que d'autres. Des tests sont alors à prévoir, comme pour le carburant.

LES SYSTEMES D'INJECTION

L'injection a fait son apparition sur les deux temps ces dernières années afin de satisfaire à des normes antipollution de plus en plus sévères. Le système qui semble le mieux fonctionner est celui qui consiste à injecter l'essence, déjà mélangée à l'air comprimé, directement dans la chambre de combustion. Cette solution technique a été étudiée en Australie avec le système Orbital.
Malgré de nombreuses difficultés, des progrès très nets ont été accomplis et les moteurs ainsi équipés dépassent les normes en vigueur.
Aussi peut-on légitimement se demander ce qui pose vraiment problème concernant l'injection des deux temps. Au niveau de la conception, l'injection deux temps est largement identique à celle des quatre temps, avec quelques différences inhérentes à la nature même du moteur. Par exemple, les injecteurs ont moins de temps entre chaque séquence d'injection (un tour contre deux sur les quatre temps). D'autre part, si les injecteurs sont implantés directement dans la chambre de combustion, leur positionnement devient crucial car l'environnement y est très hostile.
Pour ce qui est de la préparation des moteurs deux temps équipés de l'injection, les problèmes sont les mêmes que sur un quatre temps. Plus spécifiquement, en intervenant sur les phases, les lumières, les transferts, l'échappement, donc en faisant varier la quantité d'air admise à chaque tour, on rend nécessaire un réglage de l'injection et de l'allumage selon ces nouveaux paramètres.
En fait, la démarche est identique à celle des moteurs à carburateur, mais les moyens à mettre en œuvre sont nettement plus conséquents.
L'intervention est relativement facile si le système est programmable et qu'un logiciel existe. On ne peut pas dire la même chose des systèmes hermétiques de plus en plus usités du fait que la norme antipollution prévoit l'impossibilité de modifier la cartographie.
De toute façon, même lorsque cela est possible, il ne s'agit plus d'investir dans un jeu de gicleurs à 20 Euros.

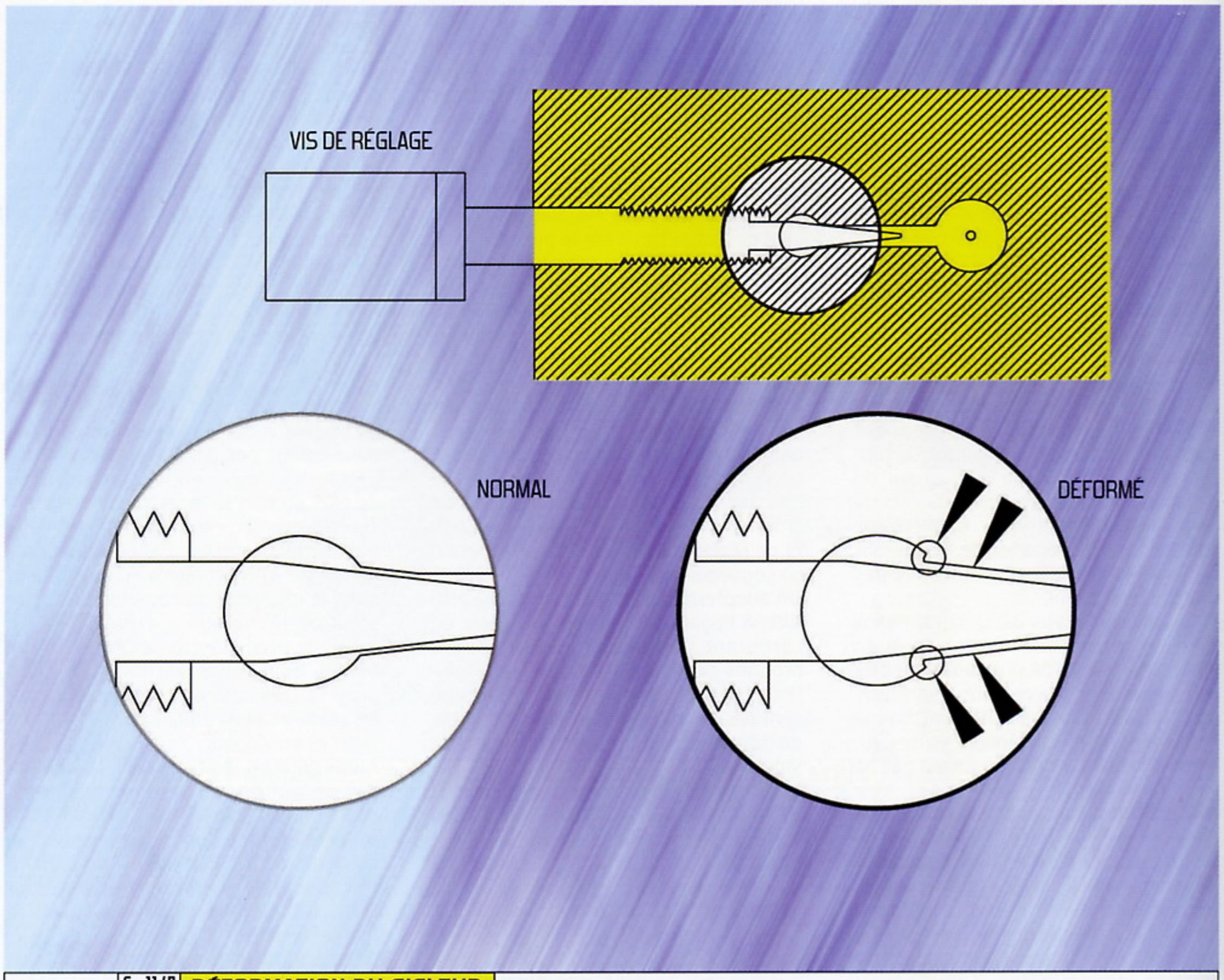


FIG 11/5 **DÉFORMATION DU GICLEUR**

Dans le cas d'une alimentation par injection, le kit de programmation est composé d'un ordinateur portable, du logiciel adéquat, de l'outillage spécifique à l'eprom si le système utilise encore cette technologie, du câblage adapté... Autant dire que le prix de cet ensemble peut dépasser la valeur de la moto, ce qui amène à quelques interrogations quant à son amortissement. D'autant qu'il est nécessaire de passer la moto sur un banc électronique capable de maintenir le moteur au régime désiré pendant l'intervention sur les paramètres. Ainsi, on visualise en direct la réponse aux modifications apportées. Là, on parle carrément de dizaines de milliers d'Euros.

Vous l'aurez compris, la principale difficulté pour modifier l'injection est en grande partie liée au coût du matériel plutôt qu'au niveau de connaissance. Néanmoins, de petites interventions sont encore possibles, comme l'augmentation de la pression d'injection en remplaçant le régulateur de pression par un modèle réglable ou -encore mieux- par un modèle répondant aux différences de pressions du collecteur d'admission. Il est aussi possible de changer les injecteurs pour obtenir une charge plus importante.
Dans tous les cas, les résultats sont relatifs et la mise au point à bas régime est altérée car la charge plus importante nécessaire à haut régime le sera aussi en bas.
Pour les modèles non démontables, il existe des interfaces à installer entre la centrale d'injection et les injecteurs. Mais les informations envoyées à la centrale par les capteurs sont souvent altérées : les temps d'injection sont augmentés et l'avance modifiée dans un sens ou dans l'autre.

LES AVANTAGES DES SYSTEMES D'INJECTION

Pour ce qui est de la puissance, un carburateur bien réglé n'a rien à envier à un système d'injection. L'avantage du carburateur, répétons-le, c'est le refroidissement de la charge d'air et sa densification au niveau du boisseau via la pulvérisation de l'essence. Cette portion supplémentaire pallie la réduction de charge provoquée par le venturi.
Pour retrouver cet effet bénéfique, aussi bien en F1 que sur de nombreux moteurs de tourisme, les injecteurs principaux sont placés en amont des cornets d'admission et non à proximité des soupapes.
Les systèmes type Orbital font exception à cette règle puisque l'essence est injectée en même temps que l'air comprimé. Cette solution permet une légère suralimentation, mais consomme un peu de puissance en plus.
Les avantages en termes d'écoulement sont tout relatifs car les mêmes obstacles subsistent, les clapets par exemple.
En résumé, indépendamment des bienfaits écologiques de l'injection et en restreignant notre point de vue aux performances pures, un carburateur bien étudié offre autant de puissance qu'un système d'injection. ■

La préparation des moteurs 2 temps

CHAPITRE 6

L'ALLUMAGE

L'AUTO-ALLUMAGE
LA DÉTONATION
LES BOUGIES
LES DIFFERENTS TYPES DE BOUGIE
LE SYSTEME D'ALLUMAGE
LA LECTURE DE LA BOUGIE
L'ENTRETIEN DE L'ALLUMAGE

Si le mélange air-essence présent dans la chambre de combustion est facilement inflammable, il nécessite tout de même un certain temps après l'allumage pour se transformer en une masse de gaz sous hautes pression et température. On parle généralement de moteur à "explosion", mais il s'agit plutôt d'une combustion relativement lente, graduelle et prévisible. Le fait qu'elle dure une cinquantaine de degrés, ce qui représente 0,8 millième de seconde, ne veut pas dire qu'elle est rapide. La réaction de l'oxygène de l'air avec l'essence est nettement plus lente que celle de la poudre à canon ou de n'importe quel autre explosif dont la durée se compte en millionièmes de seconde.
De plus, cette combustion est un peu plus lente sur les deux temps à cause de la présence de l'huile de lubrification dont les minuscules gouttes diluées dans l'essence ralentissent la réaction.
Admettons donc que la combustion dure environ 50° d'une rotation de vilebrequin. Si l'allumage avait lieu au PMH, la combustion offrirait une pression maximale 20 à 30° plus tard, soit pour une position de piston déjà très basse. Par conséquent, le volume de la chambre de combustion aurait augmenté de 50 à 60 % et la PME agissant sur le piston serait faible, tout comme la puissance développée.
Il faut faire en sorte que le pic de pression maximal s'exerce sur le piston juste après le PMH, dans un intervalle de 14 à 18° (fig.1/6). Pour ces valeurs, le piston n'est redescendu que de 3 dixièmes de millimètre sur un 125 cm^3. L'allumage doit donc être anticipé en conséquence. Si l'avance est trop importante, le pic de pression est trop proche du PMH dans la phase montante du piston. Cette pression s'oppose alors au travail de l'embiellage (fig.2/6). Il en résulte une combustion autour du PMH avec une mauvaise détente, ce qui est favorable à la détonation.

La durée de la combustion est quasiment identique à 3000 ou à 12000 tours. Il serait donc logique d'augmenter l'avance en rapport avec le régime pour toujours profiter de la bonne pression au bon moment. Théoriquement, en doublant le nombre de tours, il faudrait doubler l'avance à l'allumage.
Heureusement, la réalité nous démontre pratiquement le contraire, notamment à cause des turbulences qui augmentent avec le régime et favorisent la réaction au point que l'on doit réduire progressivement l'avance, voire la retarder dans certains cas.
Une modification d'un ou plusieurs composants du moteur doit toujours être accompagnée d'un réglage de l'avance, même minime. Le cas échéant, on s'expose à un mauvais résultat voire à un risque de casse.

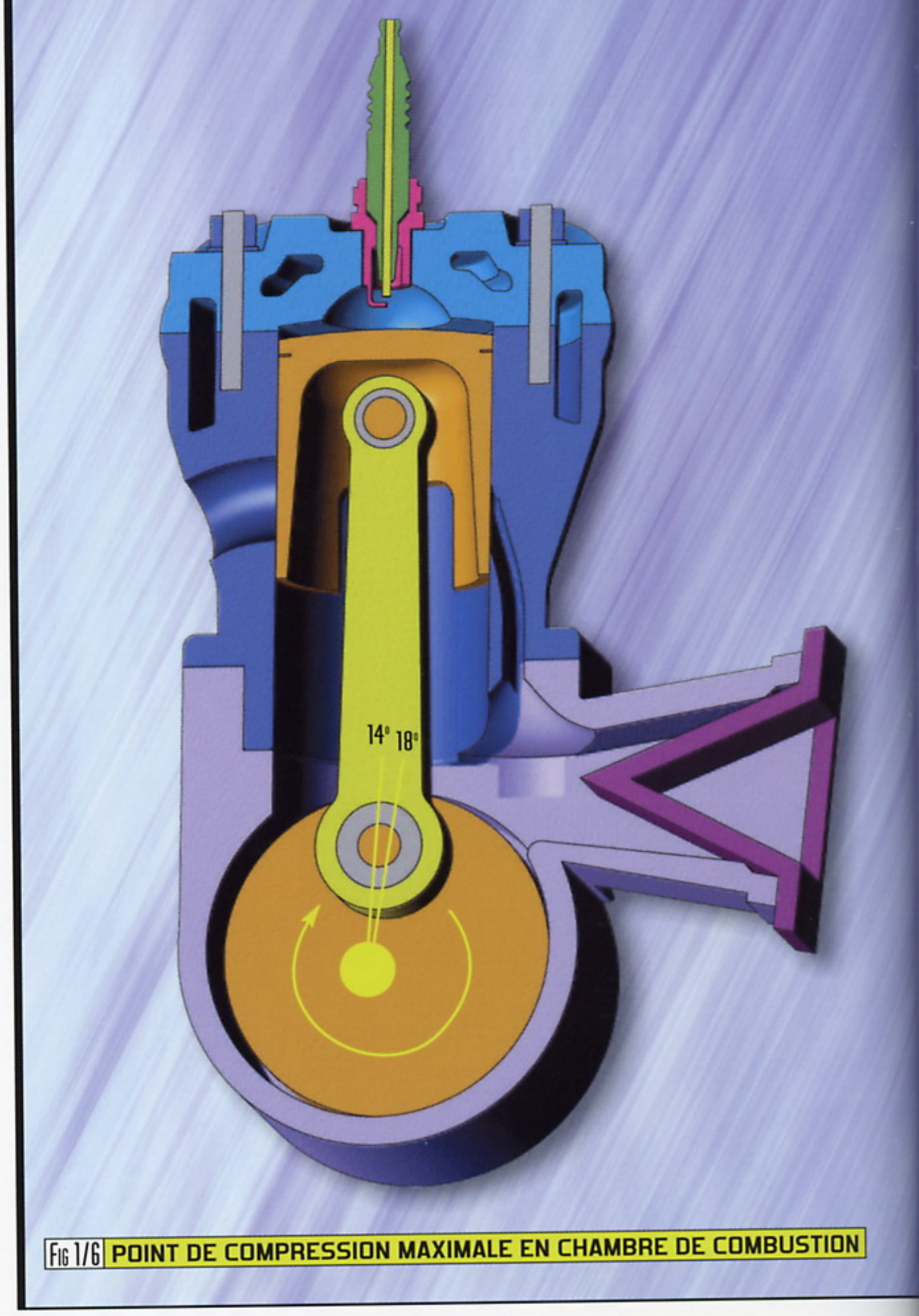


FIG 1/6 POINT DE COMPRESSION MAXIMALE EN CHAMBRE DE COMBUSTION

Rappelons à ce titre que l'augmentation de la quantité de mélange introduit engendre plus de turbulences. Le mélange est plus homogène et l'allumage plus efficace. Par ailleurs, le taux de compression effectif s'élève du fait d'une charge accrue.
Plus la vitesse de l'air est élevée, meilleure est la pulvérisation de l'essence. Le diamètre des gouttes diminue et la surface totale de carburant exposée à la flamme augmente. Une multitude de micro-gouttes offrent une surface supérieure à celle d'une sphère comportant la même quantité d'essence. Le mélange s'allume plus tôt et brûle plus rapidement.
Toutes ces démonstrations prouvent l'importance du réglage de l'avance à la suite à une modification du moteur.
Dans quel sens et de combien l'avance doit-elle être décalée ? Ce sont des questions auxquelles on ne peut répondre sans banc de puissance. Cette mise au point est donc, à l'instar de l'injection moderne, une opération techniquement simple mais matériellement lourde.
En bref, le rendement optimal d'un moteur est obtenu pour un intervalle d'avance très court permettant une combustion spontanée du reste de la charge. Cela signifie que la compression du mélange est proche de sa valeur maximale et qu'il suffit juste d'une hausse très rapide de la température (allumage de la charge autour de la bougie) pour générer la combustion spontanée. Il suffit donc que l'étincelle intervienne au bon moment pour que la totalité de la charge brûle de façon optimale en produisant une pression la plus forte possible.
Une optimisation théorique de l'allumage fait fonctionner le moteur à la limite du risque de casse. C'est pourquoi les préparateurs se ménagent toujours une marge de sécurité et ils ont raison.
Un réglage très optimisé au temps t0 peut ne plus l'être à la seconde suivante. Pensez simplement à l'influence du passage d'une zone d'ombre de la piste à une zone dont la température prend quelques degrés : la densité de l'air varie et l'avance devrait varier en conséquence. Cette nécessité d'ajustement continu de l'avance a poussé les constructeurs à installer sur leurs machines

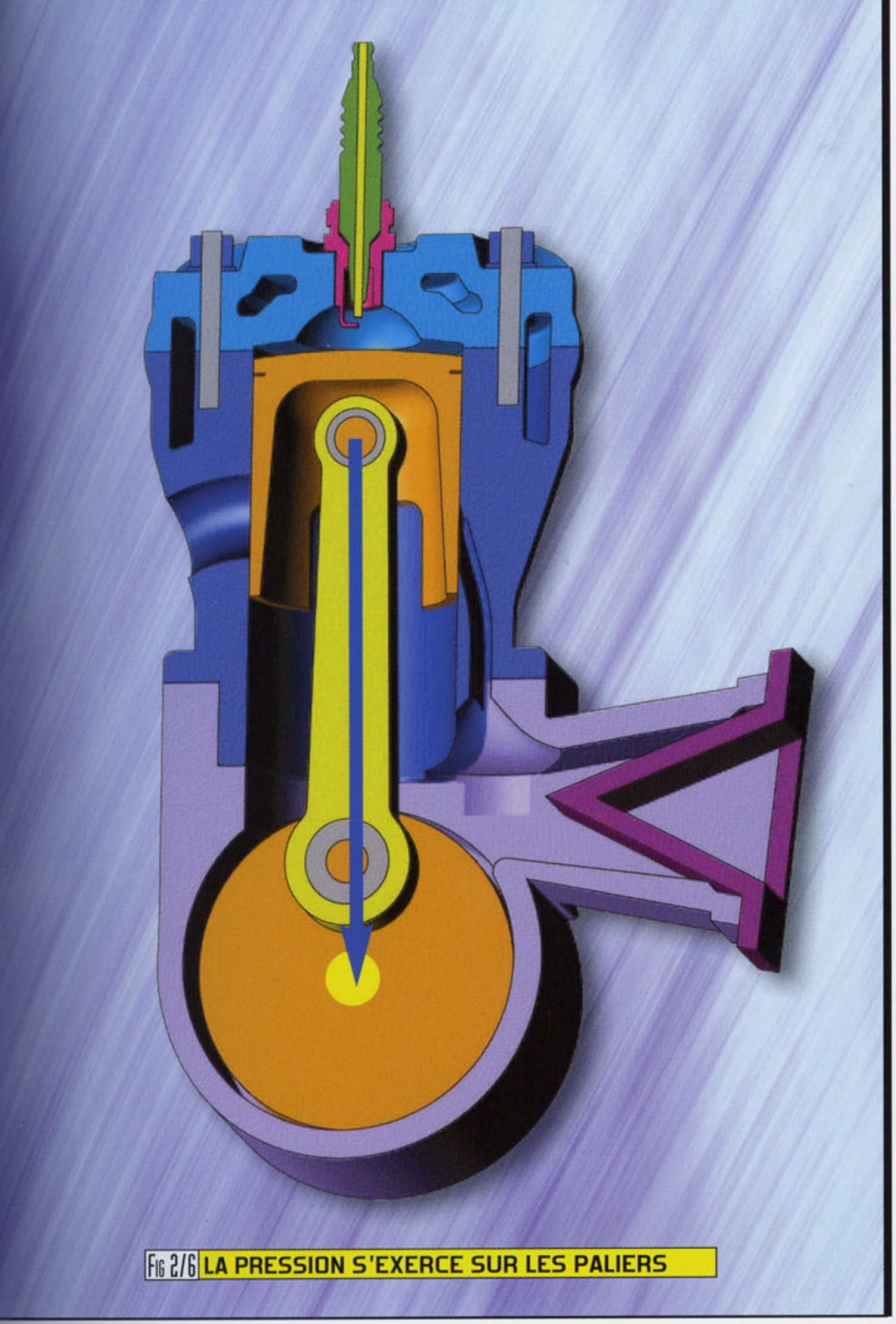


FIG 2/6 LA PRESSION S'EXERCE SUR LES PALIERS

de série des allumages systématiquement « retardés » et qui fonctionnent toujours loin des risques de détonation. Seules les machines de GP sont équipées de systèmes actifs munis de détecteurs de cliquetis qui permet au moteur de flirter avec la limite. On notera juste que ce type d'équipement est plus largement diffusé sur les quatre temps que sur les deux temps. En outre, cet allumage « actif » doit être très rapide car à 15000 tours, il ne dispose que de peu de temps pour réagir et ne doit pas autoriser plus de quelques détonations. Ces dernières sont néanmoins nécessaires pour que l'électronique interprète les signaux et caractérise le point d'allumage optimal. Ceci étant, il arrive quand même que les machines dotées des systèmes les plus sophistiqués et les plus rapides cassent parfois leur moteur après quelques centaines de mètres, une fois entrées en détonation. C'est dire à quel point la marge de sécurité est réduite au minimum.

Aujourd'hui, la quasi-totalité des motos modernes est équipée d'un allumage électronique à avance variable.

Certains modèles offrent même la possibilité de modifier la courbe d'allumage en fonction d'une éventuelle préparation, de la piste et des conditions atmosphériques. Les progrès ont été impressionnants, en particulier quant à la précision du réglage : on est passé du degré au dixième de degré en quelques générations. Encore une fois, ces efforts illustrent la nécessité d'accorder au mieux l'avance à l'allumage.

Pour le commun des motards, il est parfois possible de déplacer légèrement le capteur d'allumage, ce qui déplace toute la courbe d'avance. Certains accessoiristes proposent des rotors d'allumage réglables degré par degré sur une plage pouvant atteindre plus ou moins 10° pour les quatre temps.

Sinon, il faut se contenter de déplacer le capteur d'allumage (max. +0/-0,1 mm). Cette mise au point est laborieuse et fonction de ce que vous souhaitez puisqu'une avance procure une hausse de puissance à bas régime et un retard facilite l'allonge en haut.

Une méthode pour valider un bon réglage consiste à exécuter trois 400 mètres D.A. Si l'on n'a pas loupé son départ ni un passage de vitesse, on fait la moyenne des trois temps en notant également le régime atteint à la vitesse maxi obtenue. Une fois la vitesse maxi obtenue avec le chrono mini, on peut considérer que le réglage en question comme le plus performant. Toutefois, afin de limiter les risques de détonation et parce ce type d'essai ne comporte pas de séquence à pleine charge, on retardera l'avance d'au moins 1° et l'on se contentera du gain obtenu.

Enfin, on effectuera quelques kilomètres en pleine charge et l'on s'assurera, par une lecture attentive de la bougie ou mieux du piston, qu'il ne se retrouvera pas avec un trou d'ici peu.

Dans le cas d'une moto tout juste préparée, il ne faut pas faire varier l'avance de plus de 2° par rapport aux données constructeur. Il sera plus facile de se rendre compte de la réaction du moteur face à cette modification. Ce réglage servira de base aux futures corrections en fonction des conditions de course.

Une avance augmentée favorise les bas et moyens régimes au détriment des hauts régimes. Elle est plus particulièrement indiquée pour les pistes lentes avec de nombreuses courbes où le pilote utilise peu la puissance maxi. Une avance réduite inverse la tendance et convient plus aux longues lignes droites.

Il est dangereux de procéder à des modifications si la carburation n'est pas parfaitement réglée ou si l'indice thermique de la bougie n'est pas le bon. La procédure réclame de la méthode et l'on fera attention de n'intervenir que sur un seul facteur à la fois, toutes choses égales par ailleurs, au risque de ne plus savoir qui agit sur quoi.

Même sur un moteur standard, il ne faut pas se fier aux repères de calage mais uniquement aux données du constructeur.

D'habitude, il faut utiliser un comparateur pour mesurer la position du piston à proximité du PMH (fig.3/6). Les constructeurs donnent généralement une valeur en millimètres, qui correspond à la hauteur séparant le piston du PMH. Comme un dixième de millimètre peut se traduire par quelques degrés, ne croyez pas qu'un simple calibre offre la précision nécessaire.

Comme le passage des millimètres en degrés n'est pas un changement d'unité évident pour tous (entraxe bielle/piston, longueur de bielle, distance axe/ciel de piston, entraxe bielle/vilebrequin), il vaut mieux utiliser un grand disque gradué ou goniomètre situé en bout de vilebrequin ainsi que l'appareillage de mesure associé. Cet attirail vous servira aussi pour mesurer les durées des différentes phases.

NB : L'avance sera augmentée si vous utilisez du méthanol car il brûle plus lentement. Elle sera réduite avec de l'essence spéciale pour deux temps qui brûle généralement plus vite.

L'AUTO-ALLUMAGE

Dans la majeure partie des cas, l'auto-allumage est généré durant la phase de compression du mélange par des points chauds présents dans la chambre de combustion. Les deux temps y sont particulièrement exposés car les phases d'échappement et d'admission sont quasiment simultanées. La probabilité qu'il reste des zones chaudes en phase d'admission est donc élevée.

Ces points chauds sont constitués de dépôts de calamine, des angles ou des arrêtes vives de la culasse. Parfois, il s'agit simplement de l'électrode de la bougie qui reste très chaude.

Il ne faut pas oublier que l'une des fonctions essentielles de la compression est justement d'augmenter la température du mélange, ce qui facilite l'allumage suivant.

On comprend donc qu'il existe un équilibre précaire entre hausse de pression et température des points chauds. Si ces points chauds existent, le mélange s'allume automatiquement mais pas au bon moment, puisque le piston est en phase ascendante... Ni même au bon endroit dans la chambre, puisque les points chauds se situent généralement près de l'échappement. Sans parler de la perte de puissance , ce phénomène est redoutable car le plus souvent suivi par la détonation.

LA DÉTONATION

C'est l'un phénomènes de combustion anormale les plus dévastateurs pouvant se produire au cœur du groupe thermique des moteurs deux ou quatre temps. La détonation survient suite à un auto-allumage ou à un allumage trop anticipé par rapport aux paramètres de combustion de la chambre à ce moment-là. Comprendre la détonation permet de mieux cerner les réglages qui permettent de l'éviter.

Lorsque la hausse de pression des zones chaudes de la culasse devient trop élevée, le mélange qui s'y trouve se comporte comme un véritable explosif. Il en résulte des pics de pression des milliers de fois plus rapides que les ondes de combustion normales. Ses pics font à leur tour détoner d'autres poches de mélange en un temps très bref et souvent, avant le PMH. Le piston n'étant pas fait pour supporter de telles conditions de température et de pression localisées, il subit des dégâts irrémédiables. Bien souvent, la chaîne cinématique piston/bielle/embiellage/vilebrequin pâtit également de ces effets destructeurs. La détonation est d'autant plus conséquente sur les moteurs de compétition qu'ils sont réglés pour fonctionner avec une quantité de mélange importante, prête à exploser à la moindre variation des critères de combustion normale.

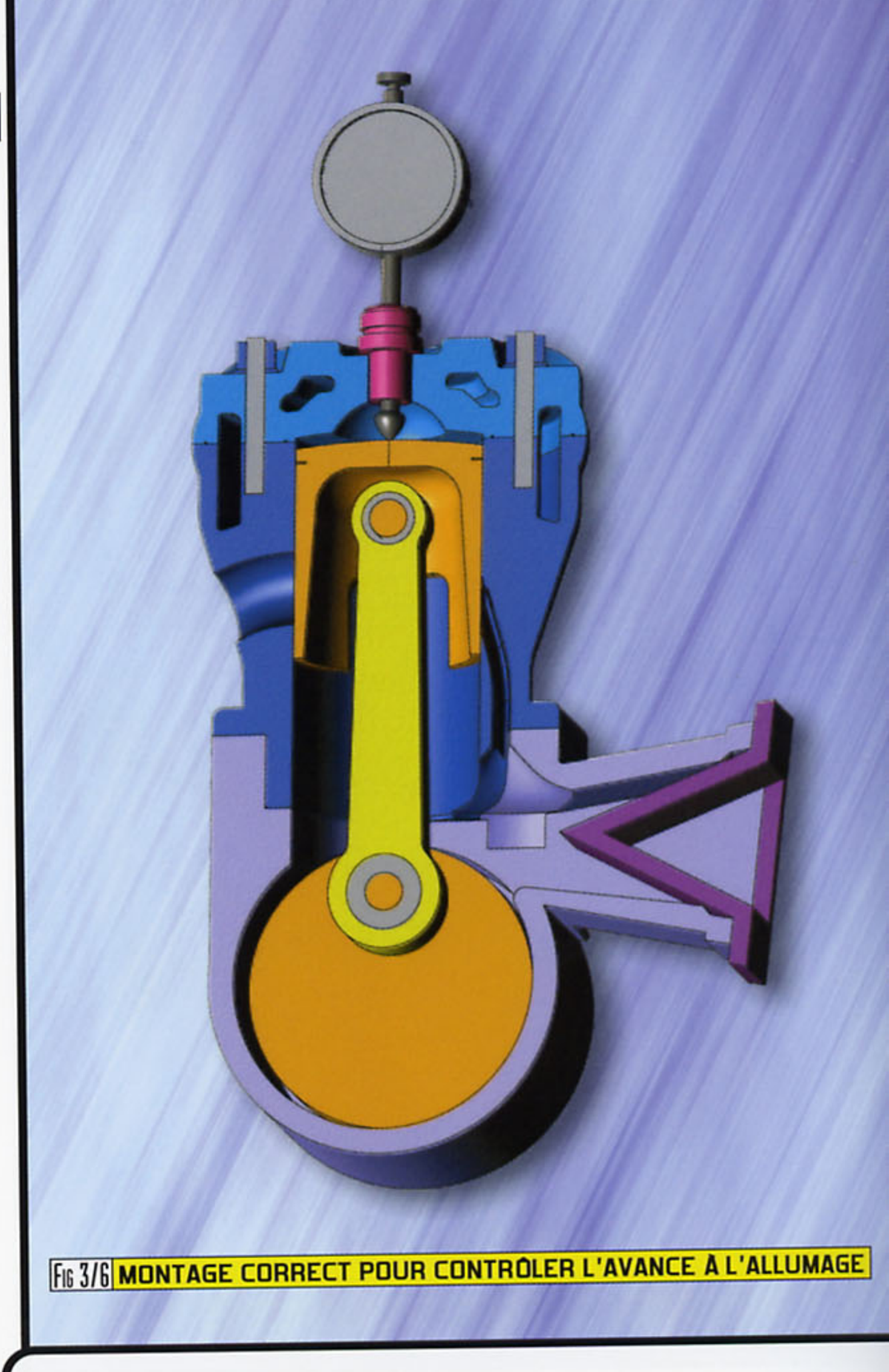


FIG 3/6 MONTAGE CORRECT POUR CONTRÔLER L'AVANCE À L'ALLUMAGE

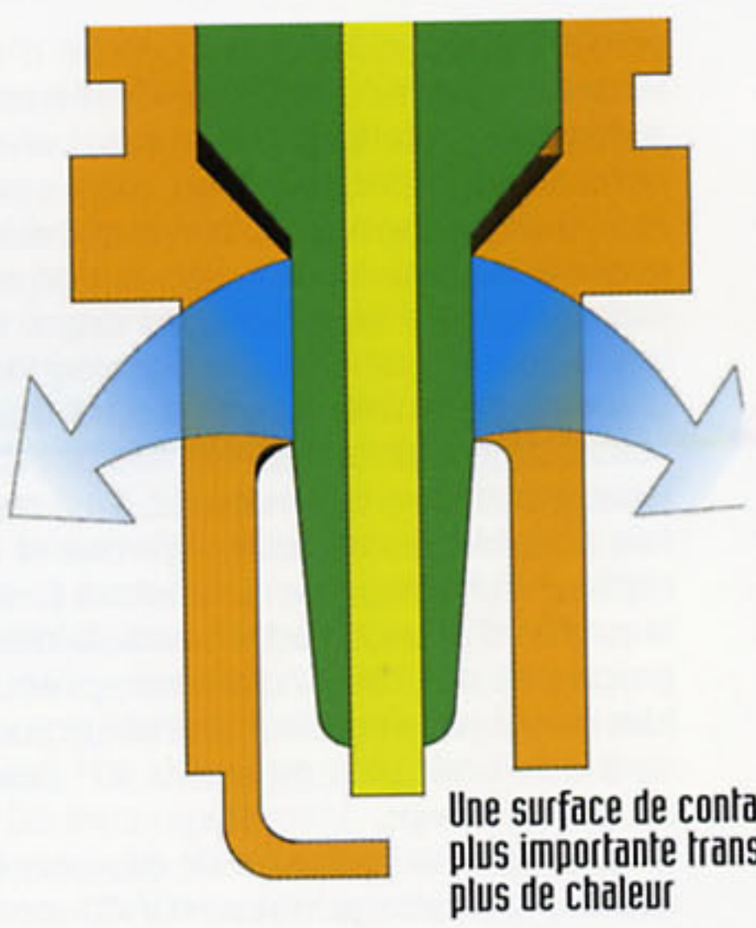


FIG 4/6 BOUGIE CHAUDE

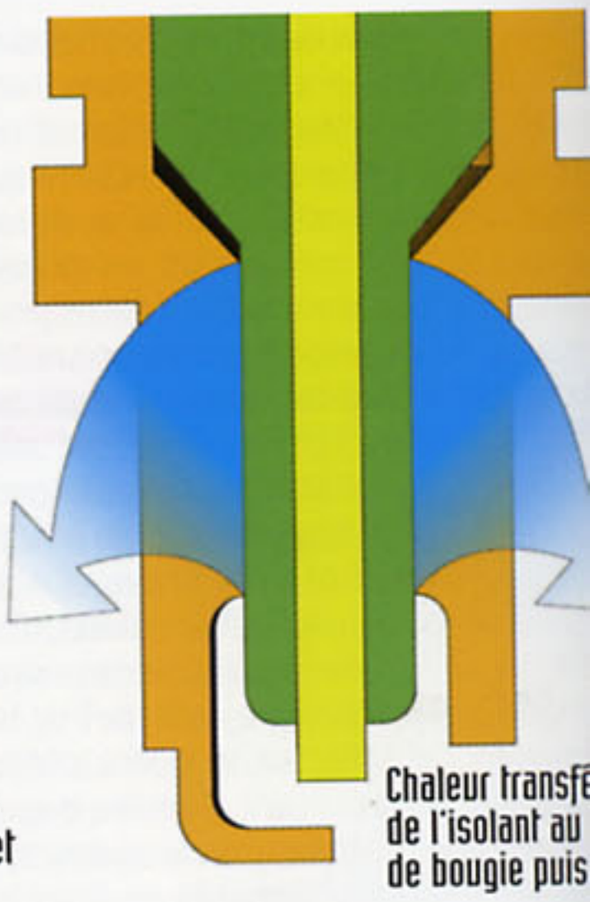


FIG 5/6 BOUGIE FROIDE

FIG 6/6 INSERT DE CUIVRE DANS LES ELECTRODES

FIG 7/6 BOUGIE À ÉLECTRODE ANNULAIRE

FIG 8/6 EXPANSION DE LA COMBUSTION

Ce phénomène provoque également des pics de température, beaucoup plus élevés que ceux d'une combustion normale car le laps de temps est beaucoup plus court.
Conséquence majeure, les « films » de mélange qui servent normalement de bouclier thermique brûlent instantanément et la combustion agit directement sur le métal. La puissance décroît immédiatement car l'explosion est trop localisée et rapide pour transmettre un effort utilisable par l'équipage mobile. De plus, la détonation survient généralement avant le PMH et tendrait presque à faire tourner le moteur à l'envers. Ce cas de figure est évité grâce à l'inertie du volant et des pièces en mouvement, mais il peut arriver que l'embiellage se désaxe sous l'effort.
Autre conséquence, étrangement, la température des gaz d'échappement décroît alors que le métal s'échauffe très rapidement. Le piston commence même à participer à la combustion et des gouttes d'aluminium en fusion apparaissent peu à peu dans la chambre. Ces sphères d'aluminium sont d'abord visibles à la loupe sur la bougie puis grossissent de plus en plus. En continuant ainsi, le piston finit par se percer ou serrer, mais ce phénomène peut aussi aboutir à la destruction des coussinets de bielle. Il faut savoir que la destruction de ces derniers résulte plus souvent de la détonation que d'un manque de lubrification.
Les serrages par détonation sont principalement à imputer aux gouttes d'aluminium qui empêchent le segment de faire son travail. Parmi les autres conséquences possibles, le piston et le segment se dilatent exagérément à cause de la température excessive. Le segment peut aussi être victime des vibrations engendrées par la détonation et se briser car il est réalisé dans un matériau très rigide.

Le phénomène de détonation peut s'expliquer par :

- Une avance excessive
- Une carburation trop pauvre
- Un rapport de compression trop élevé
- La formation de points chauds dans la chambre de combustion
- Un squish insuffisant ou trop haut
- Une mauvaise forme de la chambre de combustion
- Une mauvaise électrode ou un indice thermique inadapté
- Une mauvaise admission d'air
- Des problèmes à l'échappement
- Un dysfonctionnement de la vanne d'échappement
- Un mauvais dimensionnement de l'échappement

La détente peut parfois se comporter comme un système de suralimentation à certains régimes. Le taux de compression augmente soudainement et peut être source de détonation.

L'ALLUMAGE CHAPITRE 6

Attardons-nous à nouveau sur les allumages variables des motos de GP. Il faut savoir que lorsque le capteur envoie un signal de cliquetis, l'allumage se décale automatiquement (il se « retarde »), ce qui diminue la puissance maxi. Ce retard peut durer plusieurs secondes car il est nécessaire que les paramètres en chambre de combustion se stabilisent à nouveau : la température doit redescendre à un niveau normal et les parois doivent de nouveau se recouvrir d'un film de protection. Recaler l'avance sans attendre le retour aux conditions de fonctionnement normales réduit l'efficacité et peut conduire à une casse.

LES BOUGIES

Le travail d'une bougie est beaucoup plus ardu sur un deux temps que sur un quatre temps. La fréquence d'allumage est double, ce qui lui laisse peu de temps pour refroidir et se nettoyer. De plus, le mélange contient de l'huile, ce qui rend la charge beaucoup plus salissante. Il existe des bougies dites "froides" et d'autres dites "chaudes". Il ne s'agit pas des conditions climatiques dans lesquelles ces bougies sont amenées à travailler, comme on pourrait le penser de prime abord.
En fait, une bougie doit travailler dans un intervalle de température assez large. Sous les 400°C, les différents résidus de la combustion se déposent sur la surface de l'isolant de l'électrode centrale en créant des dépôts. Au-dessus de 850°C, ce sont des composés sulfureux qui corrodent rapidement les électrodes. La bougie doit donc obligatoirement opérer dans cet intervalle de température à moins d'utiliser une électrode en métal précieux comme l'or, le platine, le palladium ou leurs alliages. Ces matériaux permettent d'atteindre les 900°C, mais ce sont alors le reste des composants du moteur qui crient grâce. Une électrode latérale, parce que soudée à la partie métallique de la bougie, réussit généralement à évacuer la chaleur correctement. Ce n'est pas le cas d'une électrode centrale entourée de matériau électriquement isolant comme la porcelaine qui présente en outre l'inconvénient d'être un mauvais conducteur thermique.
Si l'isolant est long et que sa surface de contact avec la partie métallique est courte, la bougie aura du mal à transmettre la chaleur à la culasse et gardera une température élevée. C'est une bougie chaude (fig.4/6).
Si l'isolant est court et que sa surface de contact avec la partie métallique est importante, la chaleur sera mieux évacuée et l'on parlera alors de bougie froide (fig.5/6).
La longueur de l'isolant détermine la température de l'électrode centrale afin de maintenir la bonne valeur de fonctionnement. On entend par là que la température doit être assez chaude pour que les résidus brûlent mais pas

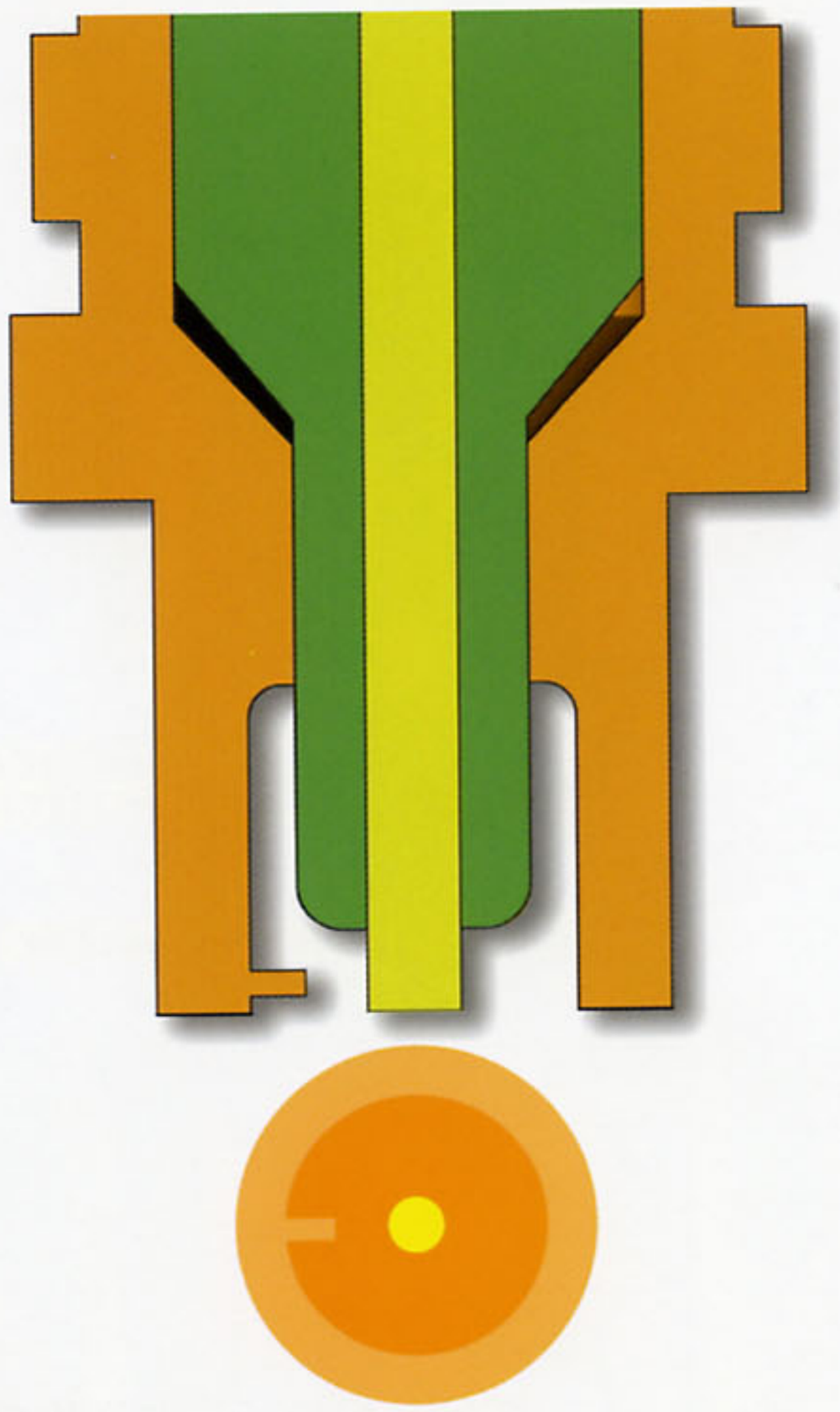


FIG 9/6 BOUGIE RACING À ÉLECTRODE LATÉRALE INTERNE

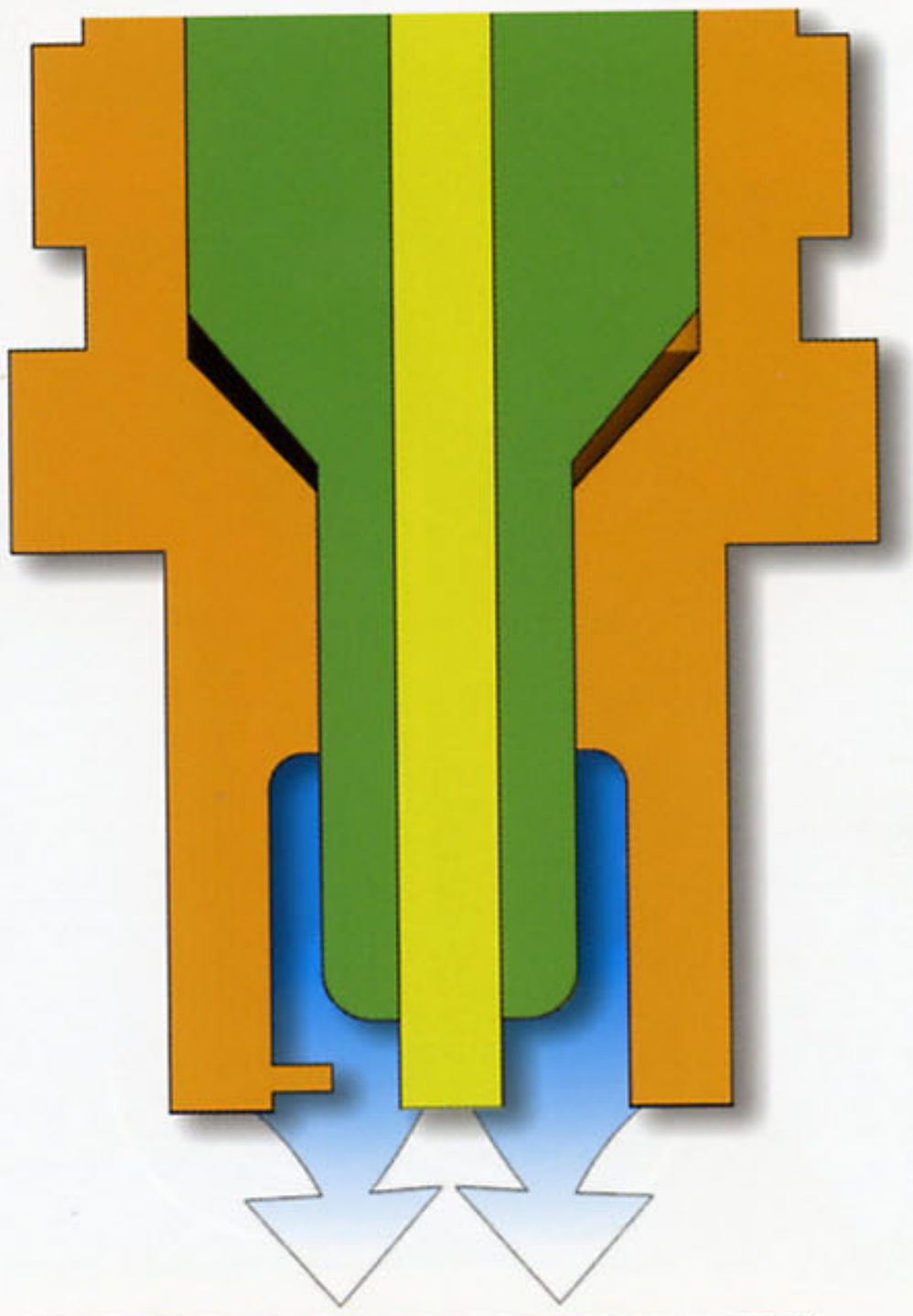


FIG 10/6 ALLUMAGE INITIAL DIRIGÉ VERS LE BAS

rop pour éviter l'auto-allumage du nélange. La bougie idéale devrait être haude pour ne pas s'encrasser à bas régime, et suffisamment froide pour évi- er que l'électrode centrale ne devienne ouge à haut régime. Les spécialistes nt étudié des bougies fonctionnant ans un intervalle de température plus rge. Pour ce faire, on insert un bon onducteur thermique tel le cuivre juste errière la pointe d'une électrode en cier au nickel/chrome (fig6/6). Il n'est as sûr que ces bougies autorisent la ême puissance que leurs homologues lassiques. En revanche, elles sont parti- ulièrement fonctionnelles sur les oteurs de route car elles s'encrassent eaucoup moins. En ville, la tempéra- ure des électrodes descend souvent ous les 200° avec pour conséquence n encrassement immédiat, surtout sur s deux temps où l'huile entre dans la hambre de combustion. Lorsque le oteur commence à ne plus fonction- er correctement, le réflexe de la plu- art d'entre nous consiste à donner de rands coups d'accélérateurs, ce qui est articulièrement déconseillé.

our commencer, le moteur n'est pas n charge et il a pourtant du mal à brû- er la quantité de mélange fournie. nsuite, la hausse rapide de tempéra- ure, due aux coups d'accélérateurs, avorise la formation de composés omplexes ininflammables et bons onducteurs électriques. On va donc asser d'une bougie légèrement ncrassée à une bougie irrécupérable. lême en la sablant, on retirera difficile- ent la couche microscopique qui ecouvre l'isolant : dès lors une bonne artie de l'énergie nécessaire à la pro- uction de l'étincelle se dispersera. ans un tel cas, mieux vaut accélérer de açon progressive afin d'éliminer ces épôts à l'origine du dysfonctionnement.

LES DIFFERENTS TYPES DE BOUGIE

utre un indice thermique variable, il xiste différentes formes d'électrodes t différentes positions.

es bougies "racing", développées pour onctionner dans des conditions bien éfinies mais surtout avec un taux de compression plus élevé et une carbura- ion optimisée, sont caractérisées par absence d'électrode latérale. Leur lectrode est centrale et aplatie, alors ue l'électrode de masse adopte la orme d'un disque (fig.7/6) : l'arc élec- rique peut alors prendre forme à plu- ieurs endroits en même temps.

es avantages de ce type de bougies ont que la combustion initiale a une orme annulaire horizontale se propa- eant ensuite uniformément à la péri- hérie de la chambre de combustion fig. 8/6). Le volume ajouté à celui de la hambre de combustion est quasiment ul, ce qui aide à l'obtention d'un taux de compression optimal. Même s'il ne s'agit que de 0,1cc, cela contribue à l'optimisation des performances.

On ne pense pas systématiquement que le rayon de la chambre de combustion est de 17-20 mm et que faire jaillir l'étincelle avec un décalage de 1 mm par rapport au point central a son importance. En reprenant l'exemple du moteur tournant à 10000 tr/min et des temps de combustion de quelques millièmes de secondes, même 0,5 mm de décalage ont leur importance. Les bougies à électrode "racing" interne (fig.9/6) et les bougies classiques à électrode latérale dirigent la combustion plus vers le bas (fig.10/6). La première portion de mélange brûlée est celle qui entoure l'isolant, d'où une propagation plus verticale. Ces bougies sont conseillées pour les chambres de combustion peu étendues mais relativement profondes. L'inconvénient des bougies annulaires est qu'il est difficile de diagnostiquer des problèmes de combustion en les examinant, à cause du manque d'espace. La céramique, peu exposée, s'auto- nettoie difficilement et si la combustion n'est pas optimale, elle s'encrasse irrémédiablement et s'use rapidement.

Il reste possible de diagnostiquer certains problèmes de réglage, mais il vaut mieux dégrossir la mise au point avec une bougie standard. Il existe également des bougies dont les électrodes sont réalisées en alliages de métaux précieux (platine, or, argent, palladium, rhodium...) lesquels possèdent un triple avantage :

- Les métaux employés sont tous très résistants aux attaques chimiques
- Possédant un grand nombre d'électrons, la perte de matière est faible, ce qui autorise une durée de vie supérieure et une moindre épaisseur de l'électrode (fig.11/6)
- Ces métaux étant de bons conducteurs thermiques, la température de fonctionnement est donc plus basse.

Une modification simple offrant parfois un petit avantage consiste à raccourcir l'électrode latérale jusqu'à tangenter le bord de l'électrode centrale en exécutant un chanfrein comme indiqué sur le schéma 12/6. L'arc électrique sera constant et plus efficace, mais la durée de vie de la bougie sera réduite d'autant.

Dans tous les cas, modifié ou pas, l'écartement des électrodes d'une bougie classique est déterminant pour la qualité de l'allumage. Chaque bougie a une valeur d'écartement spécifique en fonction du moteur qu'elle équipe. Afin de bénéficier du meilleur allumage possible, il faut impérativement s'y conformer. Des problèmes plus ou moins importants peuvent résulter d'un réglage d'écartement bâclé.

LE SYSTEME D'ALLUMAGE

L'étincelle est un arc électrique qui se produit entre deux électrodes caractérisées par une différence de potentiel. L'électrode centrale est alimentée par la bobine et l'électrode latérale sert de masse. Pour exécuter ce saut d'un demi-millimètre à travers l'air, il faut une tension très élevée, de l'ordre de 10 à 15000 Volts, et un temps de charge très court.

Alors qu'une bougie n'aurait aucun problème pour fonctionner quasi indéfiniment à l'air libre, elle subit à l'intérieur du moteur des températures élevées, sans parler de la formation des dépôts sur son isolant. Si le courant s'accumulait lentement sur l'électrode centrale, il se comporterait un peu à la manière d'un seau d'eau que l'on verserait lentement sur un sol légèrement perméable. L'eau trouverait des chemins de fuite avant d'être absorbée au fur et à mesure qu'on la verse. Si en revanche, on la verse d'un coup, on observerait la formation d'un petit torrent.

Il se passe un peu la même chose sur la bougie : si le courant s'accumule lentement, les dépôts agissent comme la perméabilité de notre sol. Par contre, si l'électrode se charge très rapidement, le courant n'a pas d'autre choix que de traverser l'air en produisant une étincelle forte et claire.

Le vieux système à magnéto était fort judicieux car il avait l'avantage d'augmenter progressivement la tension en fonction du régime moteur. En revanche, il était difficile de dépasser les 8500 tr/min et il restait sujet aux variations de conditions externes. De plus, sa fiabilité souffrait d'un trop grand nombre de pièces mécaniques et son temps de décharge était un peu trop long pour être totalement efficace avec un cycle deux temps. Ceci explique pourquoi les transistors et les allumages à décharge capacitive (CDI pour Capacitive Discharge Ignition) ont progressivement pris le relais. L'électronique a surmonté quasiment tous les problèmes et a permis de réduire les dimensions des allumages à celles d'une boîte d'allumettes. Toutefois, les allumages électroniques ont tout de même quelques inconvénients. Parmi eux, la chaleur qu'ils dégagent et qui oblige à les positionner dans un endroit ventilé et le fait que de faux-contacts peuvent fragiliser le système. Si la masse ou le fil de bougie ne sont pas correctement branchés, des surcharges peuvent avoir raison des composants électronique. Parfois, un simple jeu excessif entre les capteurs fixes et ceux du volant peut être la cause d'une panne. Plus rarement, les allumages modernes programmables peuvent rester bloqués en position d'avance maxi. Outre le fait que la machine n'avance pas, le moteur est sujet à la détonation. Il vaut mieux contrôler à l'aide d'une lampe stroboscopique que l'avance est bien calée. Malgré tout, l'électronique a permis la réalisation de systèmes toujours plus précis et fiables.

Les boîtiers de dernière génération tiennent compte de l'ouverture des gaz, de la dépression dans le conduit d'admission, de la température de l'air et de

celle du moteur. Par contre, les modèles où il est possible d'intervenir sur la courbe d'allumage sont une exception. Les constructeurs ont la phobie que quelqu'un mette la main dans leurs calculs. Du coup, tout est noyé dans du polyuréthane sous prétexte d'étanchéité et d'anti-vibration. Et comment justifier le prix exorbitant de leurs centrales alors que le prix de tous les composants a du mal à atteindre 20 Euros, en étant généreux ?
Seuls les allumages dont la mémoire est accessible par l'extérieur permettent de reprogrammer les données. Il faut juste avoir à disposition un expert, un ordinateur (portable de préférence), le logiciel idoine et un banc d'essais pour tester les différents cas de charge... Une bagatelle ! Dans la majorité des cas, on se contentera donc de déplacer le capteur d'allumage comme expliqué précédemment. On obtient sûrement pas ainsi le meilleur résultat, mais il est difficile de faire autrement.

LA LECTURE DE LA BOUGIE

La bougie est un excellent témoin de ce qui se passe au cœur d'un moteur. Si l'on ne sait pas lire une bougie, on peut modifier tous les paramètres sans autres résultats que de dépenser beaucoup d'argent en frais de réparation sans avoir un moteur plus performant pour autant. Une bonne connaissance du comportement de la bougie dans diverses situations est donc indispensable. Bien souvent, pour savoir comment se comporte la bougie sur tel ou tel modèle, il est nécessaire de procéder à une série de tests avec le carburateur choisi. La base de donnée ainsi élaborée vous sera très précieuse pour la suite. L'instrument idéal pour observer une bougie est une loupe x10 associée à une lampe de poche. Les couleurs révélées par l'isolant dépendent essentiellement des additifs contenus dans l'essence. Il n'est pas nécessaire d'y attacher une grande importance. La bougie doit être neuve ou presque (un bref rodage est toujours préférable) tandis que le moteur doit avoir été maintenu en pleine charge sur une ligne droite avant de couper l'allumage, de relâcher l'accélérateur et d'embrayer. Inutile en effet de contrôler la bougie d'un moteur ayant tourné au ralenti ou à mi-régime sur quelques centaines de mètres : le résultat ne serait pas significatif. Voici une liste des principaux aspects que vous pouvez rencontrer :

1 - COMBUSTION CORRECTE :
l'isolant est clair. Dans sa partie supérieure, à la jonction avec le corps métallique, il doit y avoir une bande de dépôts de 3 mm. Si cette bande est plus haute, le mélange est trop riche, si elle est plus petite ou inexistante, le mélange est pauvre (fig.13/6). L'électrode centrale est nette et à angle vif.

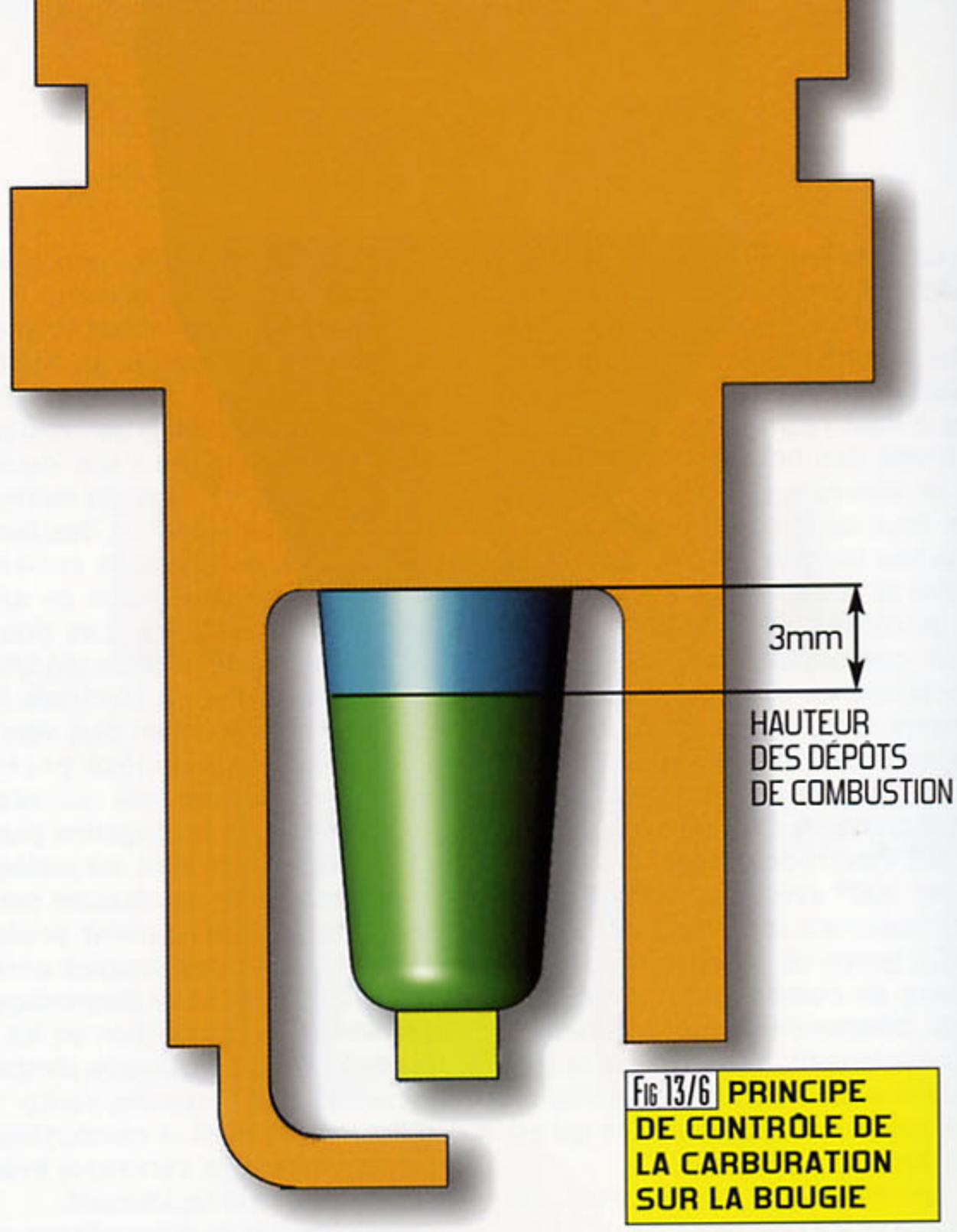


FIG 13/6 PRINCIPE DE CONTRÔLE DE LA CARBURATION SUR LA BOUGIE

2 - LA BOUGIE EST TROP CHAUDE :
l'électrode latérale adopte un aspect écaillé, l'électrode centrale est corrodée. L'isolant est clair et brillant mais, à la loupe, ressemble à du sucre avec un aspect granuleux et poreux. Cet aspect peut aussi ne dépendre que d'une carburation trop maigre : il suffit de l'enrichir et de s'assurer du changement avant de travailler sur la bougie.

3 - LA BOUGIE EST TROP FROIDE :
elle est couverte de suie noire et sèche. Lorsque la carburation est exagérément riche, la bougie garde cet aspect mais en plus humide et velouté. Beaucoup de gens pensent qu'il est plus sûr de courir avec une bougie froide mais ce n'est pas toujours le cas. Ils ne sauront jamais si la carburation est bien réglée sachant que la bougie est couverte de dépôts et noircie au point qu'il est impossible de déterminer si la carburation est trop maigre. C'est l'un des moyens de percer le piston.

4 - DETONATION :
de minuscules traces sombres se forment sur l'isolant. Par la suite, de petites billes d'aluminium apparaissent sur toutes les surfaces exposées.

5 - AUTO ALLUMAGE :
quand il est à imputer à l'électrode centrale, cette dernière est corrodée le long des arrêtes. L'extrémité de l'électrode latérale est écaillée.

6 - TROP D'AVANCE :
après quelques minutes de fonctionnement avec 2 ou 3° d'avance en trop, une légère érosion apparaît sur l'électrode centrale qui prend une couleur bleuâtre. Si l'allumage est encore plus précoce, il se forme de petites boules autour de l'électrode.

7 - MAUVAISE TENSION A LA BOUGIE :
l'étincelle formant un point plus clair sur l'électrode de la bougie, le diamètre est plus petit et irrégulier dans le cas d'une mauvaise tension. La toute dernière génération d'allumages se nomme allumage "à plasma". Ce type d'allumage provoque un anneau de gaz ionisé à haute température. Utilisant des bougies traditionnelles, il n'est cependant toujours pas employé, même en compétition. Quelques mots sur les bougies "racing" à électrode latérale : dans le cas d'une carburation correcte, ces bougies présentent un aspect clair et métallique au niveau de l'électrode centrale. Seule la partie soudée au corps métallique se recouvre légèrement de résidus de combustion. Si ce dépôt est plus court de moitié, la carburation est pauvre et inversement s'il est trop long. Cependant, ces différences sont très difficiles à mettre en évidence, sauf avec une loupe et une bonne dose d'expérience. Aussi est-il recommandé de recourir aux mesures d'une sonde lambda (une UEGO est mieux) ou d'un capteur de température des gaz d'échappement. Le prix d'un kit moteur de compétition justifie largement d'investir dans de tels instruments de mesure dont le coût est vite amorti.

L'ENTRETIEN DE L'ALLUMAGE

90 % des cas de mise en route difficile ou de mauvaise mise au point sont dus à l'allumage. La partie la plus vulnérable du système est certainement la bougie.

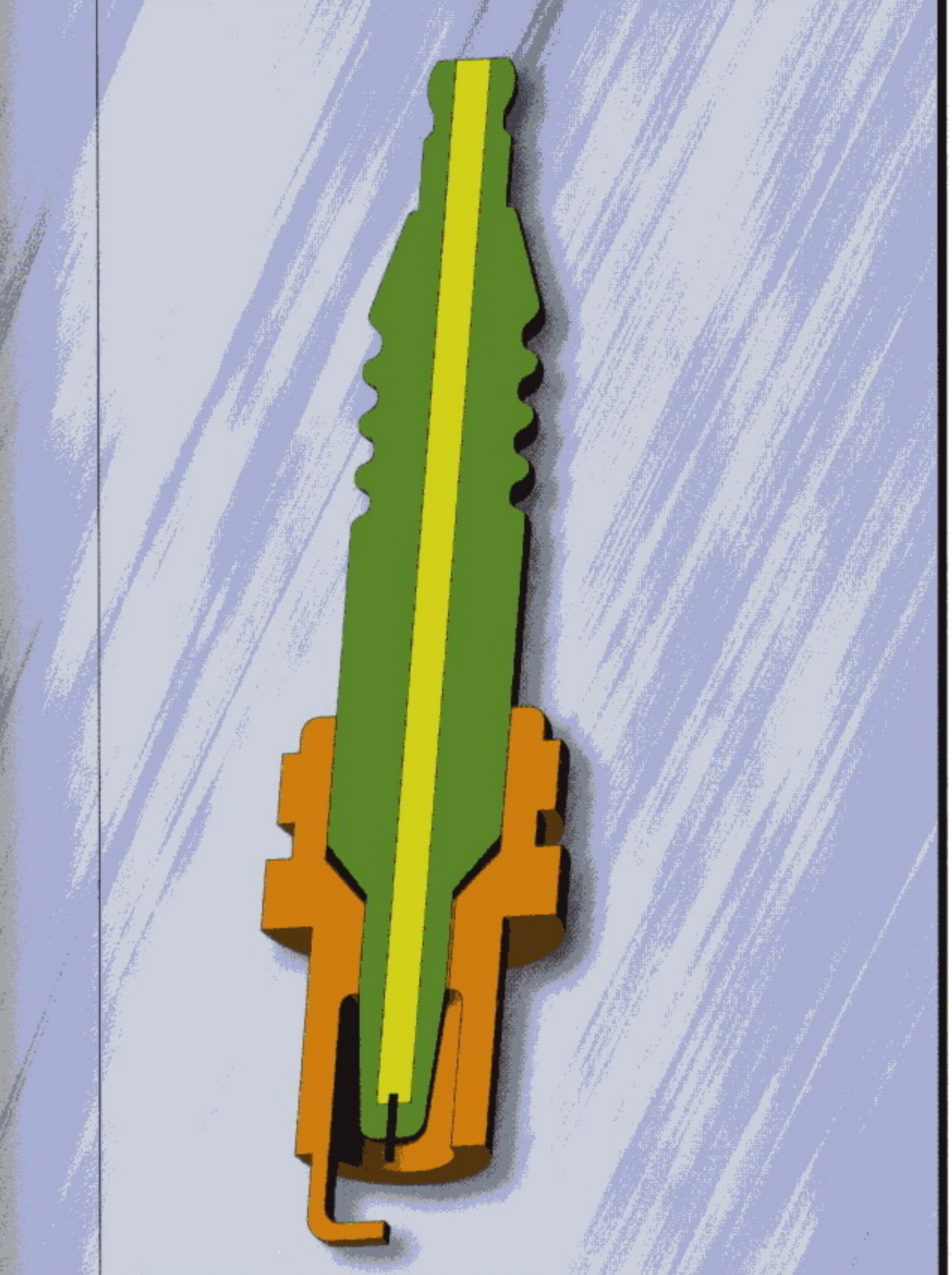


FIG 11/6 BOUGIE À ÉLECTRODE CENTRALE EN MÉTAL PRÉCIEUX

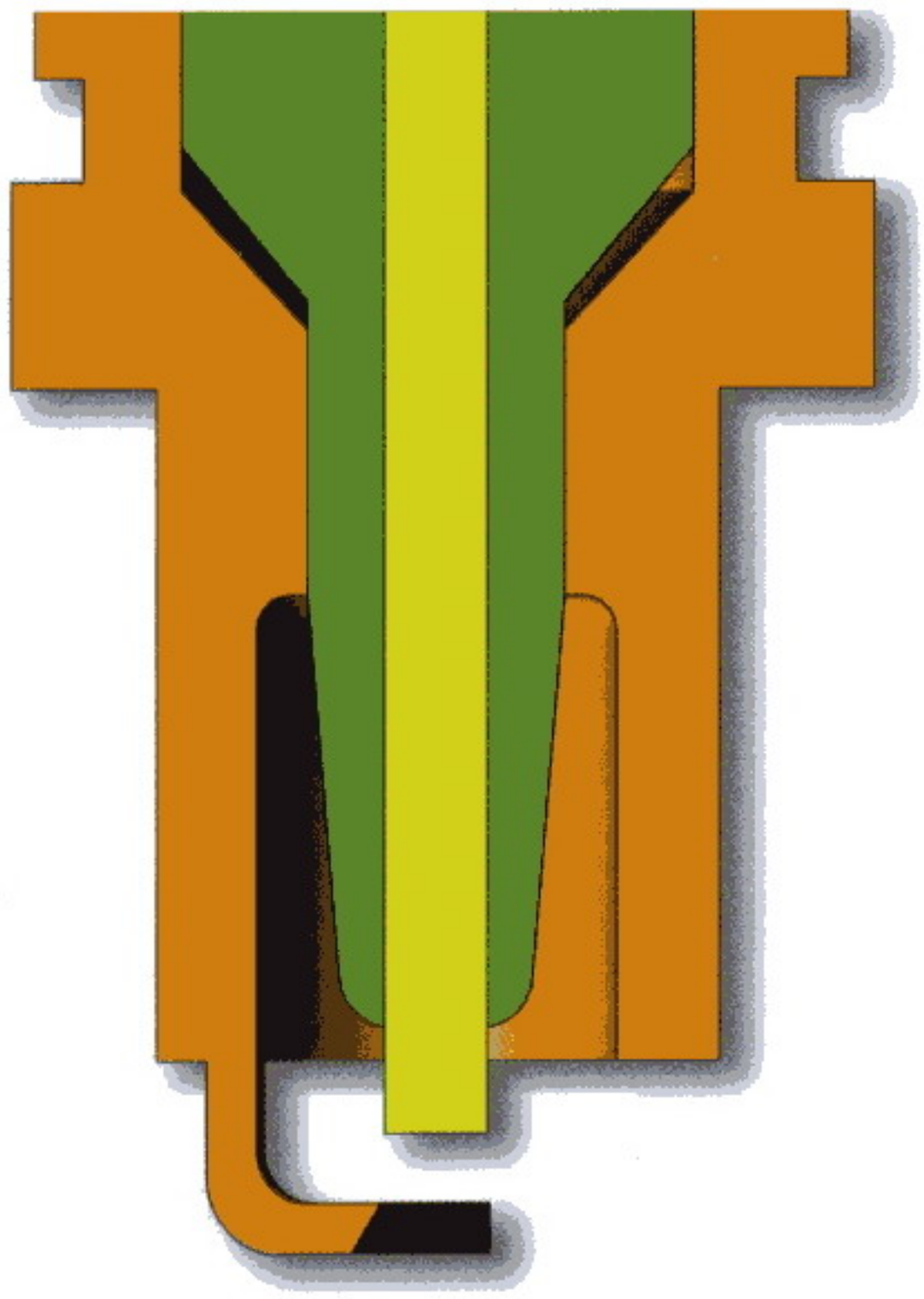


FIG 12/6 MODIFICATION DE L'ÉLECTRODE LATÉRALE

Les bougies de compétition devraient être remplacées tous les 500 km pour garantir des performances optimales. A chaque allumage, les électrodes perdent un certain nombre d'atomes là où agit l'étincelle, c'est-à-dire sur les extrémités anguleuses. Sur une bougie usée, ces zones sont arrondies du fait d'une corrosion progressive, fait que l'on peut facilement remarquer à la loupe. Pour cette raison, certaines bougies ont des électrodes latérales en forme de C ou en possèdent plusieurs. Une fois la première usée, l'étincelle se rabat sur une autre, d'où une durée de vie allongée d'autant.

Une bougie est capable de se nettoyer toute seule si le moteur, correctement réglé, ne fonctionne pas trop au ralenti. Si vos bougies s'encrassent et s'usent rapidement, la cause provient plutôt d'une mauvaise carburation ou d'une mauvaise mise au point moteur que d'une éventuelle mauvaise qualité. Une mauvaise carburation, mais surtout une mauvaise compression due à l'usure du segment ou un dysfonctionnement de la valve d'échappement sont souvent à l'origine de ces usures prématurées. Bien souvent, il peut aussi s'agir d'un mauvais calage de l'avance. Il ne faut pas perdre de vue que si la décharge n'arrive pas à se produire, la charge fait tout bonnement machine arrière, dépasse la bobine et endommage les composants de la centrale électronique.

Un autre coupable potentiel peut être le faisceau ou les capuchons de bougie mal isolés qui déchargent le courant directement sur la culasse. Nous n'oublierons pas non plus le cas de la bobine ou de la centrale d'allumage elle même qui peuvent avoir été endommagées par les vibrations ou par une surchauffe. C'est alors un véritable casse-tête que de déterminer la panne, surtout si l'on ne dispose pas d'une unité de rechange pour vérifier la panne. Or, compte tenu de la fiabilité de ces éléments et surtout de leur prix, il est compréhensible d'hésiter à s'en procurer un jeu de secours. La surchauffe d'une bobine ou de la centrale électronique est inhérente à leur position sur le cadre. Généralement situées sous la selle ou sous le réservoir, elles ne bénéficient pas d'une ventilation optimale.

Ce genre de panne est d'autant plus difficile à détecter que tout va bien avant que la température ne grimpe. On pensera à cette panne quand tout redevient correct après une période de refroidissement (30 minutes) et que les symptômes recommencent après une nouvelle montée en température. Autre cas d'école : un peu d'oxydation ou d'un peu d'huile peut augmenter la résistance de la connexion, et la masse entre allumage, bobine et moteur fait des siennes. Les problèmes de contact peuvent aussi se retrouver au niveau des connecteurs ou des cosses. C'est notamment pour cette raison que les connexions des appareils utilisés dans le secteur de la défense ou de l'aérospatiale sont recouvertes d'une couche d'or inoxydable. ■

La préparation des moteurs 2 temps

CHAPITRE 7

LUBRIFICATION DES MOTEURS DEUX TEMPS

7

La lubrification des deux temps est sans doute l'un des aspects qui caractérisent le plus ces moteurs. À moins de remplacer le principe du carter-pompe par un système de balayage avec un compresseur volumétrique, comme c'est le cas sur les deux temps Diesel, on est obligé d'avoir recours au mélange huile/essence pour lubrifier les pièces en contact.

Aucun autre système n'est équivalent en termes de simplicité et de coût. La solution du mélange donne d'ailleurs toujours de bons résultats puisque les moteurs modernes montent allègrement à presque 20 000 tr/min sans gros problèmes.

Utiliser des roulements plutôt que des coussinets en bronze ne pose pas de problèmes majeurs. Les faibles turbulences dans le carter n'engendrent pas de barbotage gênant et l'on peut donc se passer de pompe à huile.

Si les moteurs modernes en possèdent tous une, c'est juste pour effectuer le mélange en aval du carburateur et éviter à l'utilisateur de le faire lui-même. Dans cette configuration, le débit d'huile est fonction de l'ouverture des gaz et non de la quantité d'essence entrant effectivement dans le moteur.

Seuls quelques moteurs de compétition utilisent une pompe annexe envoyant de l'huile aux paliers. Une fois son rôle de lubrification terminé, cette huile rejoint le mélange de base.

Comme un moteur de course fonctionne peu au ralenti, il est opportun d'utiliser la bonne vieille méthode qui consiste à faire son mélange soi même. On s'affranchit ainsi des éventuels problèmes associés aux pompes comme la cavitation à haut régime ou l'introduction d'air dans le circuit à la suite d'un choc (surtout en cross).

L'inconvénient majeur se fait sentir quand il ne reste presque plus d'essence dans le réservoir. La carburation s'appauvrit et il est possible d'être confronté à la détonation et au grippage, typiques des derniers tours d'une course menée tambour battant. Les karts subissent le même sort à cause de la force centrifuge, surtout avec des gommes tendres qui autorisent des passages en courbe très rapides. Lorsque le réservoir est presque vide, le balourd du mélange en courbe peut générer une insuffisance à l'admission et donc un défaut de lubrification.

Malgré les progrès indéniables réalisés par les huiles de synthèse et qui ont conduit à une réduction significative du pourcentage de mélange, les moteurs de course réclament toujours une quantité de lubrifiant plus importante que la moyenne.

Du coup, lorsqu'un moteur de série se contente d'un mélange de 2 % (2 cl/litre) voire moins, les moteurs de compétition ont besoin d'un pourcentage compris entre 3 et 5 %. La quantité d'huile peut donc doubler, surtout s'il faut effectuer un rodage dans les règles de l'art.

Une vieille légende stipule qu'il faut ajouter de l'huile jusqu'à ce que la bougie ne puisse plus allumer le mélange puis diminuer le pourcentage jusqu'à l'obtention du ratio brûlant complètement sans scories.

Dans le passé, on a pu pratiquer des pourcentages nettement trop élevés. Le moteur fonctionnait bien et la température était correcte en toutes circonstances. Ceci n'était toutefois valable que pour les huiles minérales et les huiles de ricin : les bases de synthèse actuelles contiennent une grande quantité d'additifs qui encrasseraient rapidement la bougie et le piston en cas de mélange trop gras.

La carburation doit être étudiée en fonction de la variation du pourcentage d'huile. En effet, l'air admis ne variant pas mais le mélange enrichi en huile contenant moins d'essence, la carburation n'est plus tout à fait la même.

Une carburation pauvre est indiquée à froid, une charge riche encrassant rapidement la bougie. Une fois la température de fonctionnement atteinte, une carburation riche donnera plus de puissance et maintiendra la température. Cette dernière aura tendance à augmenter petit à petit avec une carburation pauvre.

Avec ces pourcentages d'huile, l'allumage doit être le meilleur possible et l'indice thermique de la bougie adapté aux conditions de fonctionnement.

L'inconvénient majeur, outre la fumée dégagée, est un encrassement précoce du pot et une saturation plus rapide de la cartouche du silencieux. Le matériau d'absorption doit être changé plus souvent.

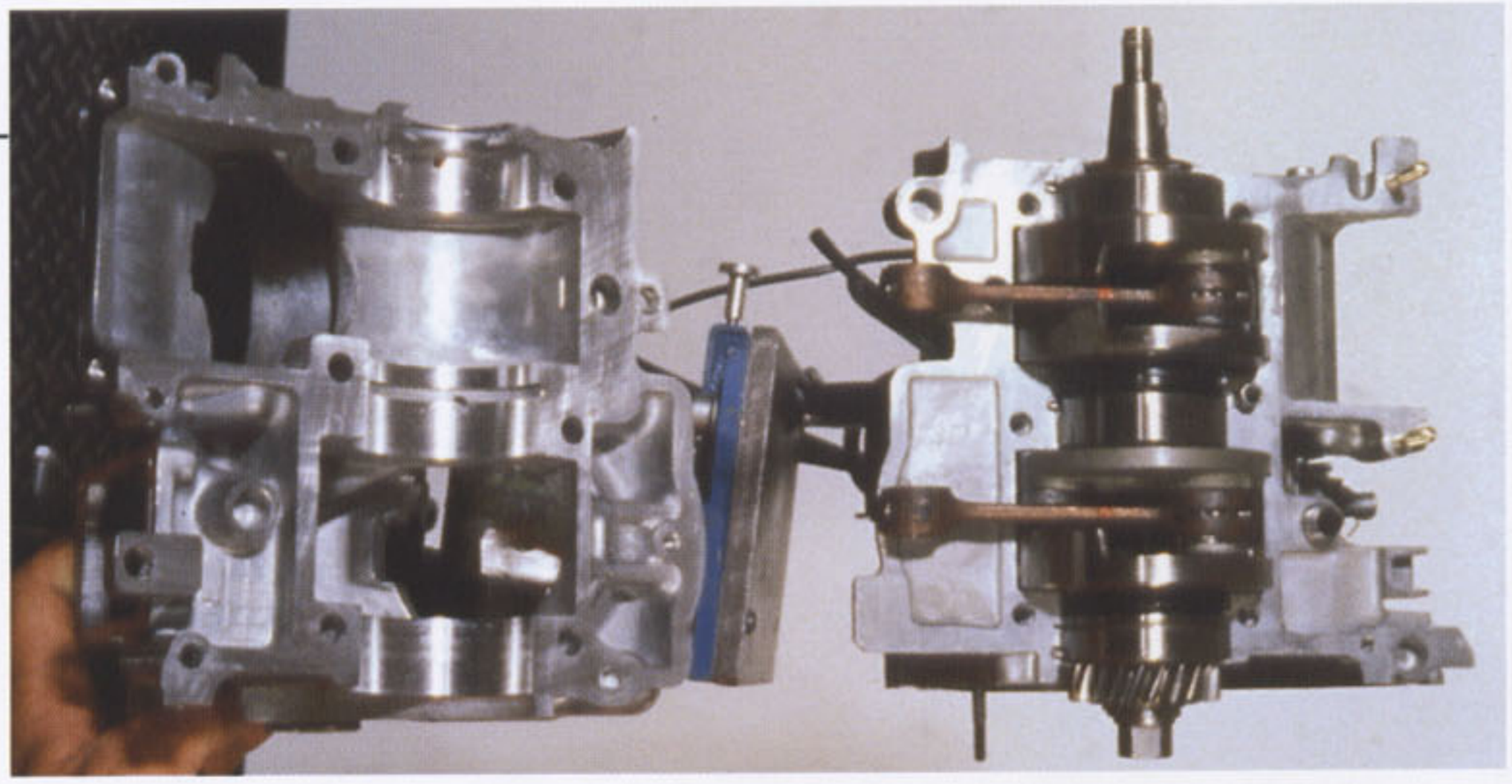
Sinon, le bon vieux mélange vous affranchit des tubes de pompe bouchés, des désamorçages et de la cavitation.

Si votre moteur est équipé d'une pompe à huile et que vous optez pour le mélange direct, retirez là pour éviter qu'elle ne tourne à vide et déposez les canalisations attenantes en prenant soin de reboucher l'orifice sur le conduit d'admission.

En ce qui concerne les risques liés à un pourcentage trop faible, rassurez-vous, c'est très rare qu'il induise un serrage, sauf s'il n'y a pas d'huile du tout ou un jeu piston/chemise trop faible. Ce sont en fait les roulements qui pâtissent du manque de lubrification et qui voient leur durée de vie diminuer en conséquence.

Prenez la précaution de vérifier que l'huile choisie est bien miscible à l'essence contenant du méthanol et qu'elle ne se sépare pas durant au moins 24 heures. Les huiles de ricin sont les plus solubles dans ces mélanges à base d'alcool. mais ne doivent pas rester dans le moteur plus de 24 heures.

Si un rinçage est nécessaire, il suffit de faire tourner le moteur au point mort à un régime soutenu avec un mélange composé d'essence, d'huile synthétique et de 40 % d'alcool. Une variante consiste à remplir le moteur au PMB d'alcool méthylique et de laisser agir quelques heures. On vide ensuite le moteur et on le fait tourner au mélange standard. (L'alcool méthylique étant nocif par inhalation, effectuer cette opération dans un local bien ventilé). ■



Ce moteur d'Aprilia RS 250, permet de se rendre compte de l'étroitesse du carter moteur, typique du moteur 2 Temps. Il est toujours séparé de la boîte, qui est lubrifiée par sa propre huile.

La préparation des moteurs 2 temps

CHAPITRE 8

Le REFROIDISSEMENT

REFROIDISSEMENT A AIR OU LIQUIDE
LE CIRCUIT DE REFROIDISSEMENT
PISTON, SEGMENT ET CYLINDRE
VILEBREQUIN
BAS MOTEUR
HUILE DE BOÎTE
CESSION DE CHALEUR AU MELANGE
EXCES DE REFROIDISSEMENT

8
9
10
11
12
13
14
15
16

Malgré son rôle de refroidissement, le mélange entrant dans le moteur ne suffit pas à stabiliser la température de fonctionnement.Des puissances élevées ne peuvent donc être obtenues. La surface de la chambre de combustion, comprenant le ciel du piston et la bougie, a besoin d'un bon refroidissement pour limiter les risques d'auto-allumage et de détonation. Il ne faut pas oublier qu'il subsiste un film de mélange sur les surfaces de la chambre ayant une double fonction : cette couche empêche d'abord que la combustion n'entre directement en contact avec le métal. Ensuite, elle joue effectivement un rôle de refroidissement.

Une bonne partie d'entre vous se demandent quelle est la température idéale de fonctionnement. La réponse est claire : il n'existe pas de règle absolue. Très brièvement, on peut dire que moins la température est élevée, moins les composants se dilatent. Quant à connaître l'impact sur la puissance, il faut tenir compte de bien d'autres paramètres. Intuitivement, si la dilatation des pièces entraîne une variation des jeux dans le mauvais sens, la puissance chute.

REFROIDISSEMENT A AIR OU LIQUIDE

Les moteurs refroidis par air ont une température de fonctionnement plus élevée. L'intervalle des températures est plus étendu, allant de la température ambiante à plus de 100°. Il dépend essentiellement des conditions climatiques.

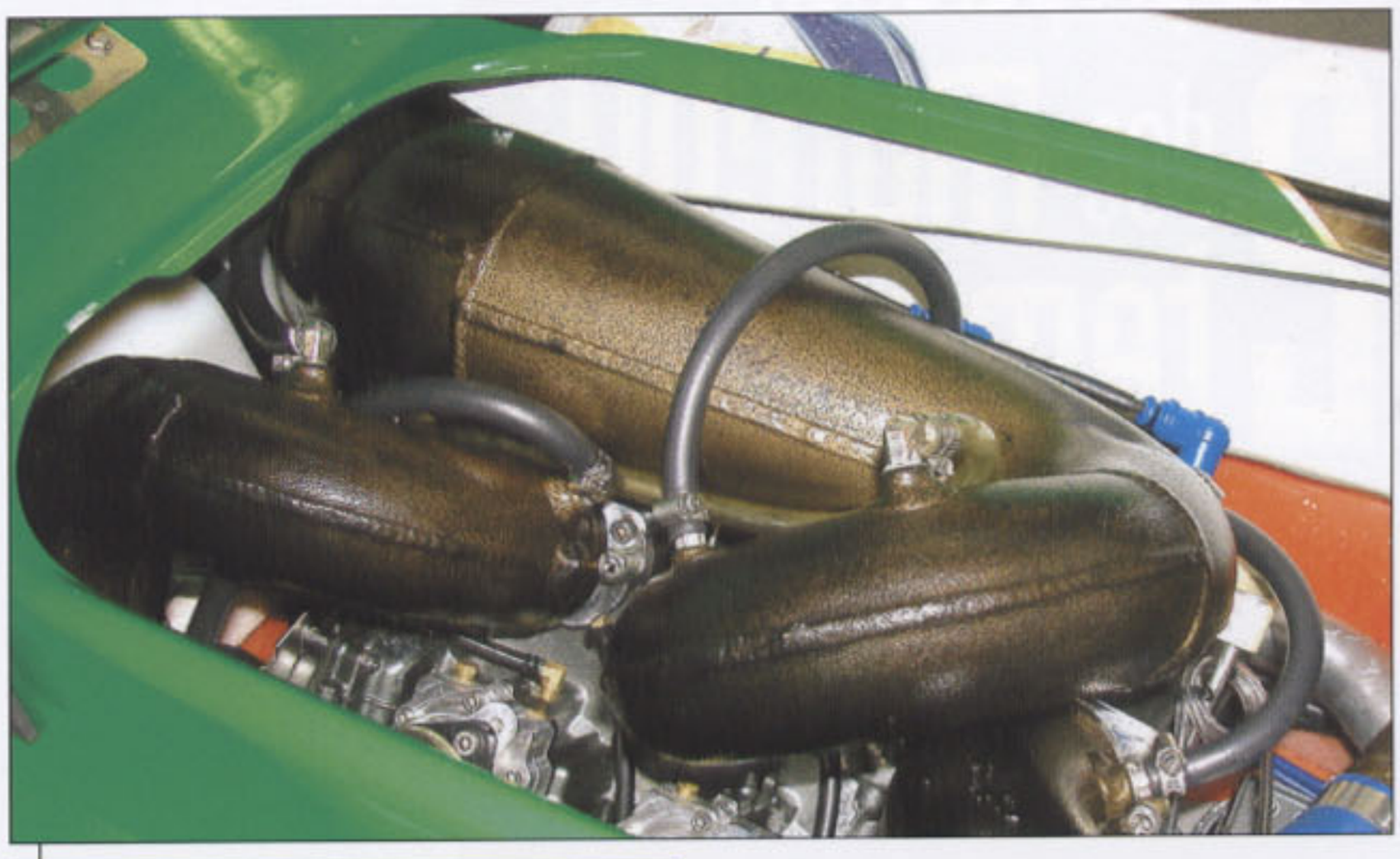
Par temps de pluie, le moteur restera frais pour ressembler à un vrai four par temps chaud et humide. En conséquence, les différents jeux devront tenir compte de tous ces paramètres.

Quant aux moteurs refroidis par liquide, ils sont beaucoup plus stables et moins sensibles aux variations climatiques. Leur plage thermique est plus réduite.

Les circuits de refroidissement liquide sont généralement surdimensionnés. Ils intègrent un thermostat (le tristement célèbre "calorstat" de nos voitures qui tombe toujours en panne un jour ou l'autre) qui gère le passage du liquide de refroidissement pour maintenir la température de fonctionnement constante. Autre accessoire très largement répandu aujourd'hui, le ventilateur placé derrière le radiateur qui se met en route par l'intermédiaire d'une sonde thermocontact débouchant généralement dans le radiateur. Il est très utile sur les motos carénées qui circulent à faible allure, puisqu'il participe efficacement à la dissipation de la chaleur en refroidissant le radiateur.

LE CIRCUIT DE REFROIDISSEMENT

Les circuits actuels devraient être en mesure d'assurer le bon refroidissement d'une machine après préparation.



LES TROIS SORTIES D'ÉCHAPPEMENT D'UN MOTEUR DE JETSKI

On injecte de l'eau entre les parois de l'échappement d'un jetski. Ces échappements sont en alu.

Malheureusement et dans la plupart des cas, les cotes de fabrication du rotor de pompe sont approximatives : la pompe entraîne l'eau, mais génère aussi un tas de petites bulles.

Le phénomène est bien connu des hydrauliciens. Il se produit des bulles de vapeur à la surface des pales qui finissent par s'unir en sphères plus importantes : la capacité réfrigérante du liquide chute alors rapidement.

On ne peut que très rarement solutionner le problème en modifiant le profil des pales car leurs dimensions sont faibles et le plastique est devenu le matériau privilégié pour les rotors. L'unique parade est d'ajouter au liquide de refroidissement des additifs spéciaux qui favorisent la réabsorption des bulles et limitent leur apparition en agissant sur la tension superficielle du liquide.

Plus le régime augmente et plus l'apparition de ce phénomène est favorisée, ce qui explique qu'un moteur peut surchauffer lors d'une compétition et ne pas avoir ce symptôme en utilisation normale.

Souvenez-vous que la chambre de combustion est la zone qui doit bénéficier en priorité du refroidissement et que le niveau du liquide doit toujours être au-dessus de cette dernière.

Le liquide de refroidissement du commerce à base de glycol a un point d'ébullition plus élevé et contient des additifs anticorrosion. Par contre, il est interdit sur piste car il s'avère très glissant en cas de fuite : mieux vaut utiliser de l'eau. Mais dans ce cas, il faut absolument suivre les indications du manuel d'atelier car les moteurs composés de pièces en alliage de magnésium et d'aluminium ne supportent pas la présence d'eau contenant des sels minéraux. Sur piste, il faudra vidanger le circuit de refroidissement après la course afin d'éviter ces désagréments.

PISTON, SEGMENT ET CYLINDRE

Les jeux piston/cylindre, piston/segment et segment/cylindre dépendent bien entendu de la température de fonctionnement du moteur. Les pistons moulés hyper eutectiques (à forte teneur en silice), très courants, ont un coefficient de dilatation thermique réduit. Ils sont en température entre 60-70°C, c'est-à-dire la température moyenne de l'eau en sortie de culasse. Les pistons forgés se dilatent plus au niveau de la jupe et leur température de fonctionnement est un peu plus élevée, entre 75-80°C.

Les cylindres en aluminium se dilatent plus que les chemises rapportées en fonte, il faut également en tenir compte.

VILEBREQUIN

Souvent, les jeux déterminés par les constructeurs entre arbre, bas moteur et bielle, sont étudiés pour des niveaux de température atteints en utilisation normale. De ce fait, ils sont même parfois trop justes.

Un régime maxi plus élevé augmente les frottements et donc la température. Le réchauffement du cylindre tend à se transférer au bas moteur puis au vilebrequin. Il en résulte une hausse des frottements entre bielle et volants. Il vaut mieux avoir plus de jeu pour éviter ce problème aux conséquences coûteuses.

BAS MOTEUR

La dilatation du carter est à surveiller de près puisqu'il contient les logements de coussinets ou de roulements. Une dilatation trop faible ou trop importante est à éviter car source de frottement sur ces éléments conçus pour fonctionner avec un jeu bien déterminé. De plus, ils ne sont pas étudiés pour travailler sous effort axial. Même si le jeu des coussinets de deux temps est globalement plus important qu'en mécanique traditionnelle, il ne faut pas oublier que l'aluminium est un bon conducteur de chaleur et que son coefficient de dilatation thermique est élevé.

HUILE DE BOÎTE

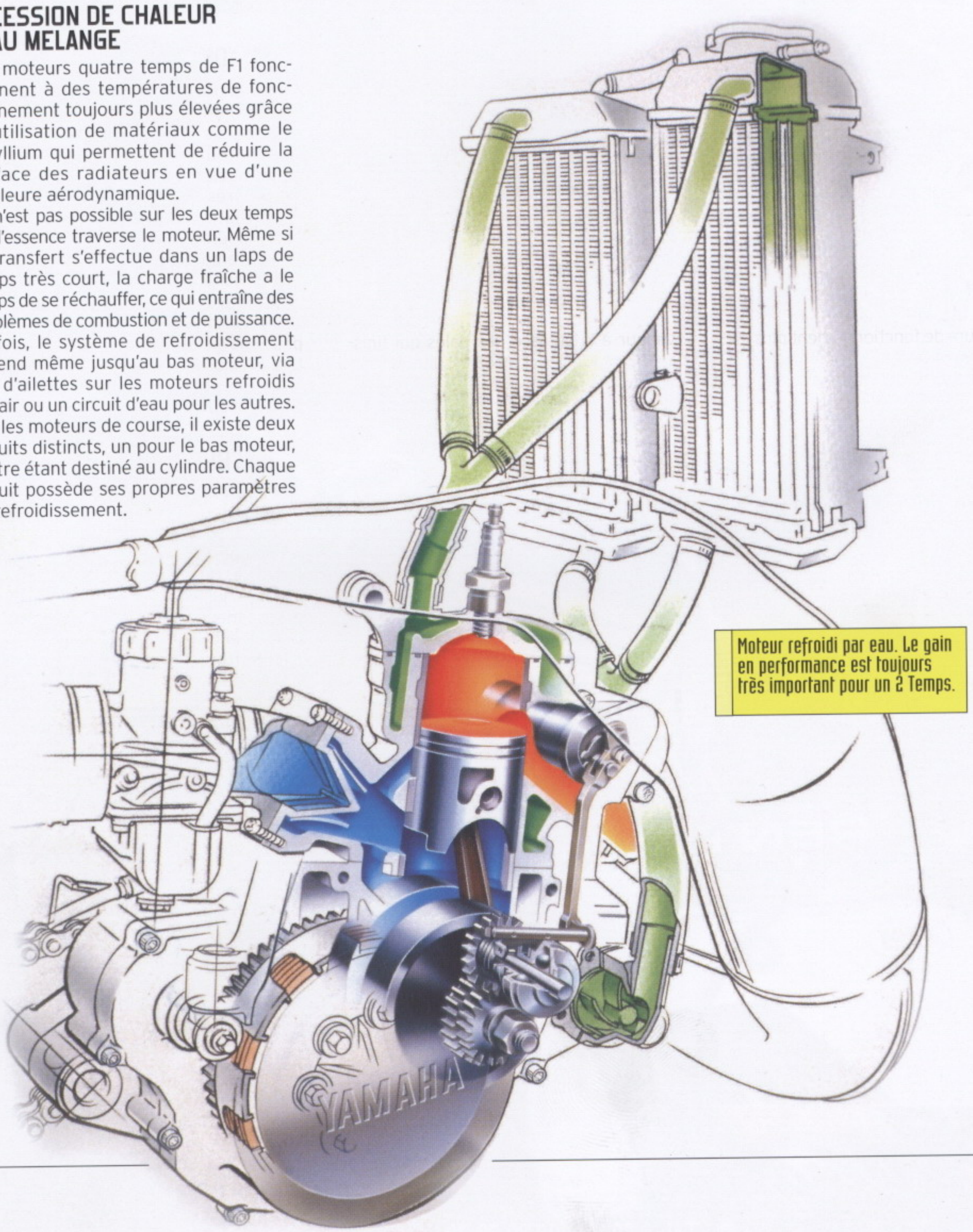
Les pignons de la boîte de vitesse et l'embrayage en bain d'huile génèrent aussi des frottements. Si la température de l'huile n'atteint pas au moins 70°, la viscosité excessive de l'huile froide peut engendrer une perte de quelques chevaux. Il ne faut donc pas exagérer sur le refroidissement.
L'astuce qui consiste à utiliser une huile très fluide à un impact négatif sur la durée de vie des pignons : les pressions de contact sont très importantes entre les pignons et une huile non appropriée et à plus forte raison très fluide, n'est pas capable d'assurer le maintien du film d'huile entre les surfaces en contact.

CESSION DE CHALEUR AU MELANGE

Des moteurs quatre temps de F1 fonctionnent à des températures de fonctionnement toujours plus élevées grâce à l'utilisation de matériaux comme le béryllium qui permettent de réduire la surface des radiateurs en vue d'une meilleure aérodynamique.
Ce n'est pas possible sur les deux temps car l'essence traverse le moteur. Même si ce transfert s'effectue dans un laps de temps très court, la charge fraîche a le temps de se réchauffer, ce qui entraîne des problèmes de combustion et de puissance.
Parfois, le système de refroidissement s'étend même jusqu'au bas moteur, via des d'ailettes sur les moteurs refroidis par air ou un circuit d'eau pour les autres. Sur les moteurs de course, il existe deux circuits distincts, un pour le bas moteur, l'autre étant destiné au cylindre. Chaque circuit possède ses propres paramètres de refroidissement.

EXCES DE REFROIDISSEMENT

Un moteur trop refroidi peut subir de graves dégâts. Spécialement sur les moteurs de compétition où il est d'usage de retirer le thermostat préventivement, il est vital de surveiller attentivement la température, plus particulièrement par temps froid.
En effet, s'il est trop refroidi, le cylindre ne se dilate pas suffisamment, l'huile n'atteint pas sa température idéale et ne peut jouer son rôle de lubrifiant. L'essence se condense sur les parois du cylindre alors que le ciel de piston, en contact avec la combustion, atteint tranquillement les 300°C et se dilate. Juste en dessous, le segment se retrouve bloqué dans sa gorge à cause de cette dilatation et à la fin, le moteur serre.
Si l'air est plus froid, il est plus dense. S'ensuit un appauvrissement automatique du mélange dont la conséquence est une température excessive en chambre de combustion. Cette conséquence est aggravée par le fait que le reste du moteur est froid.
Si vous voulez retirer le thermostat par crainte qu'il reste bloqué en position fermée (il ne peut d'ailleurs se bloquer qu'en position fermée), remplacez-le par une rondelle qui ralentira la circulation du liquide et permettra d'atteindre la bonne température. Réduire la surface du radiateur à l'aide d'un isolant ne permet pas au circuit de refroidissement de s'autoréguler correctement.
Le mieux est encore de garder ce fichu thermostat et de le changer souvent.



Moteur refroidi par eau. Le gain en performance est toujours très important pour un 2 Temps.

La préparation des moteurs 2 temps

CHAPITRE 9

Le COLLECTEUR D'ADMISSION

LA BOÎTE A AIR
LE FILTRE A AIR
L'ENTRETIEN DU FILTRE A AIR
LE CARBURATEUR
LA BOÎTE A CLAPETS
L'ENTREE DU CARTER

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16

LE COLLECTEUR D'ADMISSION CHAPITRE 9

Le collecteur d'admission commence au niveau du filtre à air ou du cornet le cas échéant. Une mauvaise position de ces pièces influence grandement la puissance du moteur. L'objectif de ce chapitre est d'étudier la résistance rencontrée par l'écoulement d'air dans ces éléments et des modifications permettant de la minimiser. Avant tout, l'air aspiré doit être le plus frais et le plus dense possible. Mais cela ne suffit pas : le filtre ou le cornet doit être placé dans un endroit relativement calme, à l'abri des turbulences et des variations de pression.

Sur une moto de vitesse par exemple, l'air derrière le carénage sera toujours sujet à une dépression et le moteur fatiguera plus pour l'aspirer, d'où une baisse de puissance.

De nos jours, la prise d'air est souvent située derrière le radiateur. Même si elle est distante de 30 ou 40 cm du radiateur, la prise aspire de l'air venant de refroidir le radiateur et prisonnier de l'habillage. Cet air à une température supérieure de 10 à 20°C à l'air extérieur, ce qui est énorme pour un moteur de compétition.

Par ailleurs, une prise d'air dynamique placée près de la colonne de direction ne fait pas beaucoup mieux. Les corrections à apporter à cause des différences de pression entre 50 et 200 km/h ne peuvent pas être gérées correctement par le carburateur. Il vaut mieux aspirer l'air dans un endroit calme, frais et à pression constante. Bref, un endroit abrité mais ou il existe un bon renouvellement d'air.

Les prises d'air perpendiculaires au sens de la marche, notamment sur les moteurs à admission rotative, constituent un cas particulier.

L'air passant devant le cornet d'admission subit en effet deux effets négatifs. À basse vitesse, on observe la formation de turbulences qui limitent l'admission. À haute vitesse, il se crée une dépression telle qu'elle aboutit au même constat (fig.1/9).

Un karting peut dépasser une vitesse de 40 m/s. Il est compréhensible qu'à ces vitesses, il rencontre des problèmes d'admission indétectables au banc d'essai.

Il suffit de masquer plus ou moins le carburateur ou de monter un filtre à air devant le cornet pour résoudre le problème. Mais il s'agit encore là d'un petit détail s'ajoutant à tous les autres.

LA BOÎTE A AIR

La boîte à air est le premier élément du système d'admission utilisé par l'air. Ses formes et son volume sont généralement imposés par l'espace restant disponible sous la selle ou le réservoir. Le compromis entre encombrement et performance est le fruit d'une étude bien spécifique.

Les boîtes à air assurent aussi le rôle de "silencieux d'admission".

Pour cette raison, les entrées sont volontairement réduites et placées dans des endroits où le bruit perçu sera moindre. Elles deviennent de véritables étranglements sur les moteurs préparés, et il suffit de les agrandir ou d'effectuer une série d'ouvertures judicieusement placées pour améliorer leur rendement. Le moteur gagne ainsi en reprise plus qu'en puissance pure.

Ces ouvertures ne doivent pas se trouver dans des endroits exposés à la poussière et aux projections. Elles doivent rester relativement accessibles pour être facilement rebouchées en cas de pluie. De plus, il faut les recouvrir d'une grille type métal déployé prenant en sandwich de la mousse filtrante. Au cas où vous voudriez amoindrir le bruit de résonance, il suffit d'entourer la boîte à air d'élastique de 3 à 4 mm de large.

LE FILTRE A AIR

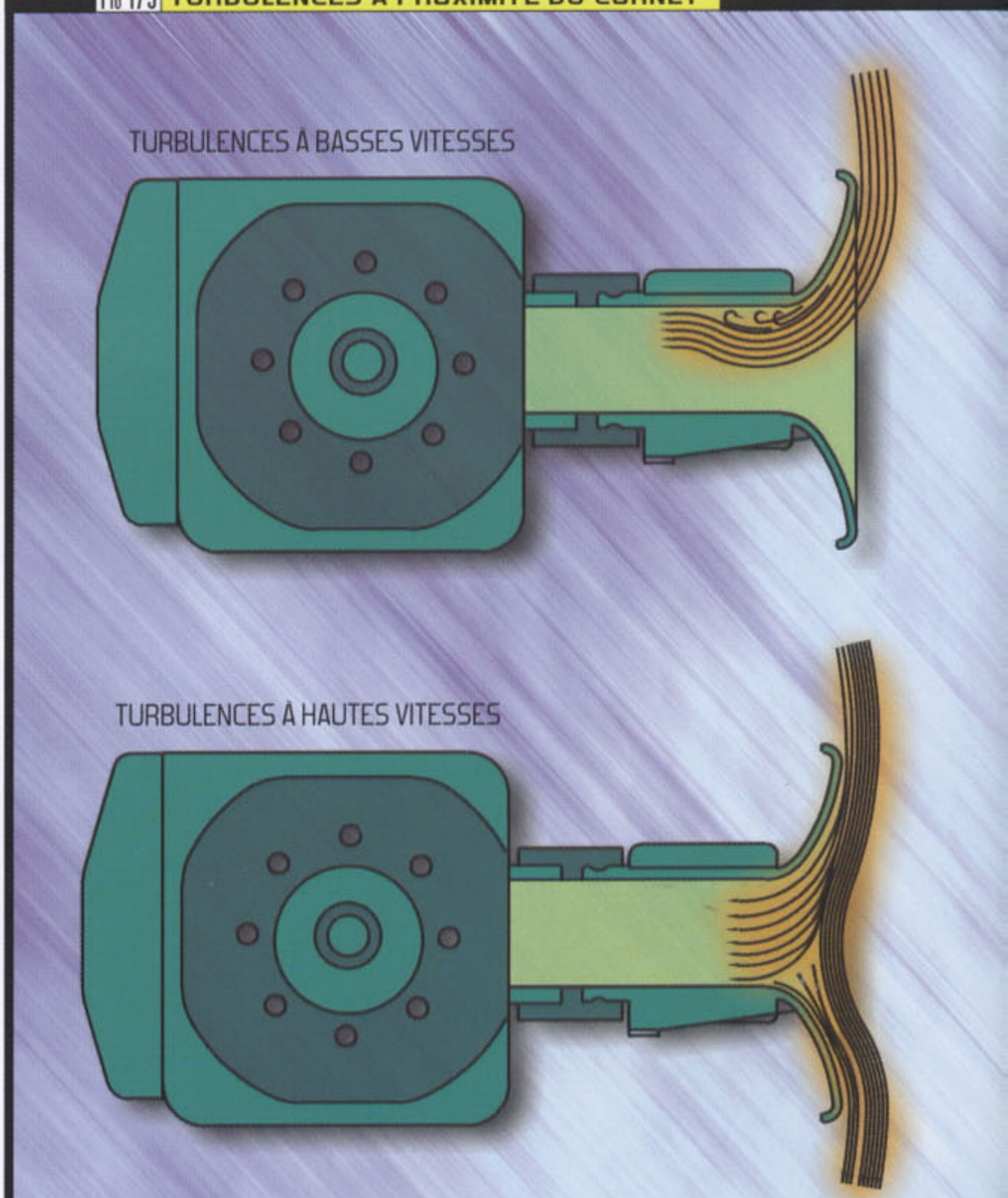
Certaines motos de compétition sont dépourvues de filtre à air. La raison n'est pas simplement que l'on recherche la puissance maximale à tout prix. Ces moteurs sont reconditionnés entre chaque course, voire entre les essais et la course. Aussi la présence d'un filtre ne se justifie plus vraiment et il semblerait que leur retrait s'accompagne d'une hausse de puissance. Il est vrai que la filtration s'accompagne d'une perte de charge de 5 à 10 %, la perméabilité dépendant du type de filtre mais surtout de son état de propreté.

Les filtres sont conçus dans le souci de générer la perte de charge la plus faible possible à l'entrée du carburateur mais surtout de retenir les particules de poussière les plus fines.

Les moteurs deux temps doivent fonctionner avec un air le plus propre possible car les poussières ne font pas qu'altérer la chemise et les segments comme sur un quatre temps. Elles endommagent également la piste des roulements de bielle et de vilebrequin.

Sachez que la silice, principal composant du sable, est employée dans les mélanges de gommes car elle est très abrasive. Il convient d'être particulièrement attentif au pouvoir filtrant du filtre à air, plus spécialement sur les machines de

FIG 1/9 TURBULENCES A PROXIMITÉ DU CORNET



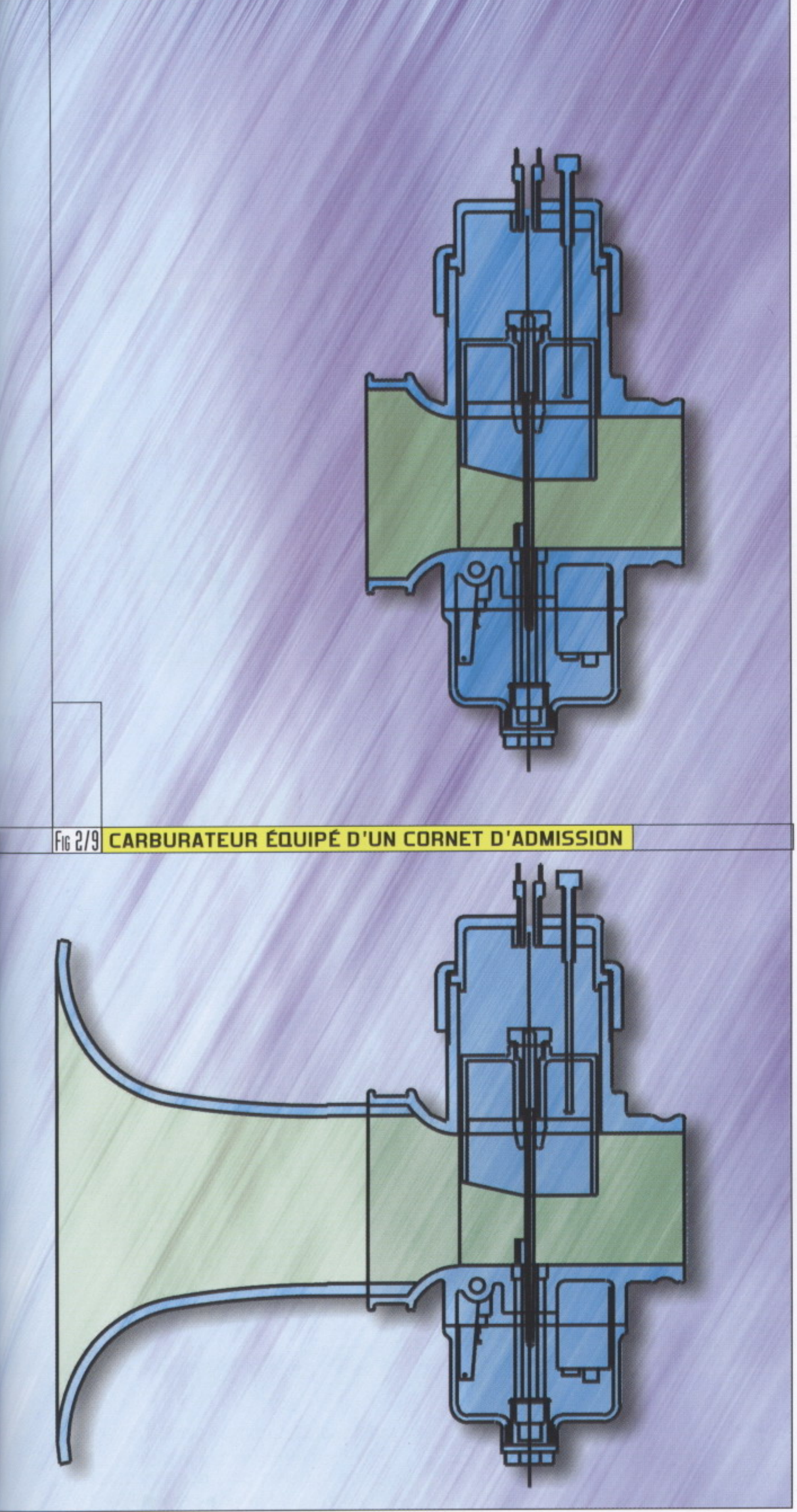


FIG 2/9 CARBURATEUR ÉQUIPÉ D'UN CORNET D'ADMISSION

cross. Nettoyer et huiler le filtre n'est pas suffisant, il est également nécessaire d'enduire de graisse les plans de joint du filtre et des manchons, de sorte qu'ils retiennent la poussière lorsque ces deux éléments vibrent et bougent, lors d'une réception de saut par exemple.
Si les mécaniciens de toutes les écuries d'usine prennent la peine d'effectuer cette opération sur des moteurs à usage « unique », dites-vous que cela pourrait bien vous être utile.

En une heure de fonctionnement à 18 000 tr/min, un moteur de 100 cc cm³ aspire environ comme 108 000 litres d'air. En supposant l'admission d'un seul grain de poussière par litre (en réalité il y en a beaucoup plus, spécialement par temps sec et venté), imaginez ce que peut subir un moteur lorsque l'on retire le filtre. Ceci est encore plus vrai sur les moteurs de kart qui se comportent comme de vrais aspirateurs avec une admission d'air à 20 cm du sol.

L'ENTRETIEN DU FILTRE A AIR

Le nettoyage du filtre est une opération cruciale, à faire systématiquement, même lorsque tout fonctionne bien. En fait, il ne faut jamais attendre une baisse de puissance pour intervenir.
Parfois, l'ouverture du filtre engendre une introduction de poussière dans le collecteur. Ne vous faites pas piéger par un courant d'air et orientez la moto ou retirez la boîte à air complète avant d'opérer.
Lorsqu'il s'agit d'un filtre lavable en mousse, on utilisera les produits indiqués par le fabriquant ou de l'essence si elle n'est pas proscrite. On retirera ainsi l'huile usagée ayant servi à piéger les poussières.
Comme ces produits sont chers, vous pouvez utiliser du liquide vaisselle et observer s'il est efficace. Normalement, il suffit à retirer les poussières et dégraisse correctement. Puis il faut procéder à plusieurs rinçages à l'eau courante, l'eau sous pression étant à éviter.
Pressez fermement mais n'essorez pas le filtre au risque de le déchirer. Ensuite, laissez-le sécher sans utiliser de source de chaleur ou d'air comprimé. Comme le séchage peut prendre une journée, il convient d'avoir deux filtres à disposition.
Enfin, immergez-le dans l'huile préconisée, pressez-le et laissez égoutter. N'utilisez pas une autre huile moins dense qui s'écoulera par gravité au fond de la boîte à air. Avant de procéder à la repose du filtre, enduisez de graisse les plans de joints pour les raisons évoquées précédemment. Sans compter que cette graisse peut faciliter une remise en place difficile. Assurez-vous de la bonne mise ne place du filtre et du boîtier lors de la repose.
Ces filtres ne durent pas éternellement car la mousse durcit ou se déchire facilement après quelques lavages. Il existe également des filtres papier "garantis à vie", vendus avec le kit d'entretien ad hoc et une notice explicative.

LE CARBURATEUR

En matière d'écoulement d'air, le carburateur est l'élément le plus perturbateur du système d'admission car la présence indispensable du venturi provoque automatiquement une résistance.
Monter un carburateur plus gros réduit la plage d'utilisation du moteur en limitant son utilisation aux seuls régimes élevés. C'est pourquoi chaque cas doit être étudié afin d'obtenir le bon compromis.
À cette fin, on peut commencer par monter un conduit d'admission au diamètre du carburateur et de la boîte à air (fig. 2/9).
Souvent, le conduit d'origine ne sert que de réducteur de diamètre et n'aide pas à amoindrir les turbulences ni à augmenter le flux d'air. La modification de ce conduit peut engendrer un gain de puissance de 2 à 3 %. De brusques changements de diamètre ou de direction induisent des pertes de charge.

Il vaut mieux perdre quelques centimètres mais réduire les turbulences. Ainsi, un angle prononcé entre carburateur et boîte à air doit être adouci comme illustré sur la figure 3/9.
Une alternative possible consiste à modifier les angles d'appui pour aligner le carburateur et la pipe d'admission. Les carburateurs peuvent généralement être inclinés de 30° par rapport à l'horizontale (fig.4/9). Les conduits doivent, bien entendu, être alignés.
Si l'on travaille sur une distribution par le piston, il reste un bout de conduit donnant dans le bas moteur (comme dans les derniers moteurs à clapets ou à admission directe dans le carter). Ce conduit devra avoir une légère conicité pour maintenir une forte vitesse d'écoulement tout en empêchant un décollement de la couche limite. De plus, il faudra supprimer toutes les traces de fonderie par polissage.
Le conduit doit être progressivement élargi du carburateur à la sortie, l'erreur fréquente consistant à n'élargir que l'extrémité. En augmentant la section supérieure du conduit, on allonge la phase. Si c'est ce qu'on souhaite, il est nécessaire d'élargir la largeur afin d'obtenir une section ovale. L'angle de conicité maxi ne doit jamais dépasser 4 à 5° sur toute la longueur du conduit (fig. 5/9).
En maintenant une telle inclinaison, la vitesse augmente progressivement sans trop augmenter les pertes de charge liées à la hausse d'épaisseur de la couche limite. Si le diamètre diverge, la vitesse chute et l'essence tend à se déposer générant des problèmes de carburation.
La portion du conduit située en amont de la boîte à clapet n'a pas toujours la forme idéale (fig. page 160). Ceci à cause du déplacement latéral du carburateur pour faire de la place à l'amortisseur arrière.
Une courbe moins accentuée et un bon raccord permettent de mieux diriger le flux sur les clapets et dans le carter. Si le flux est mal réparti sur les lamelles, il est inutile d'espérer une bonne diffusion dans le bas moteur.

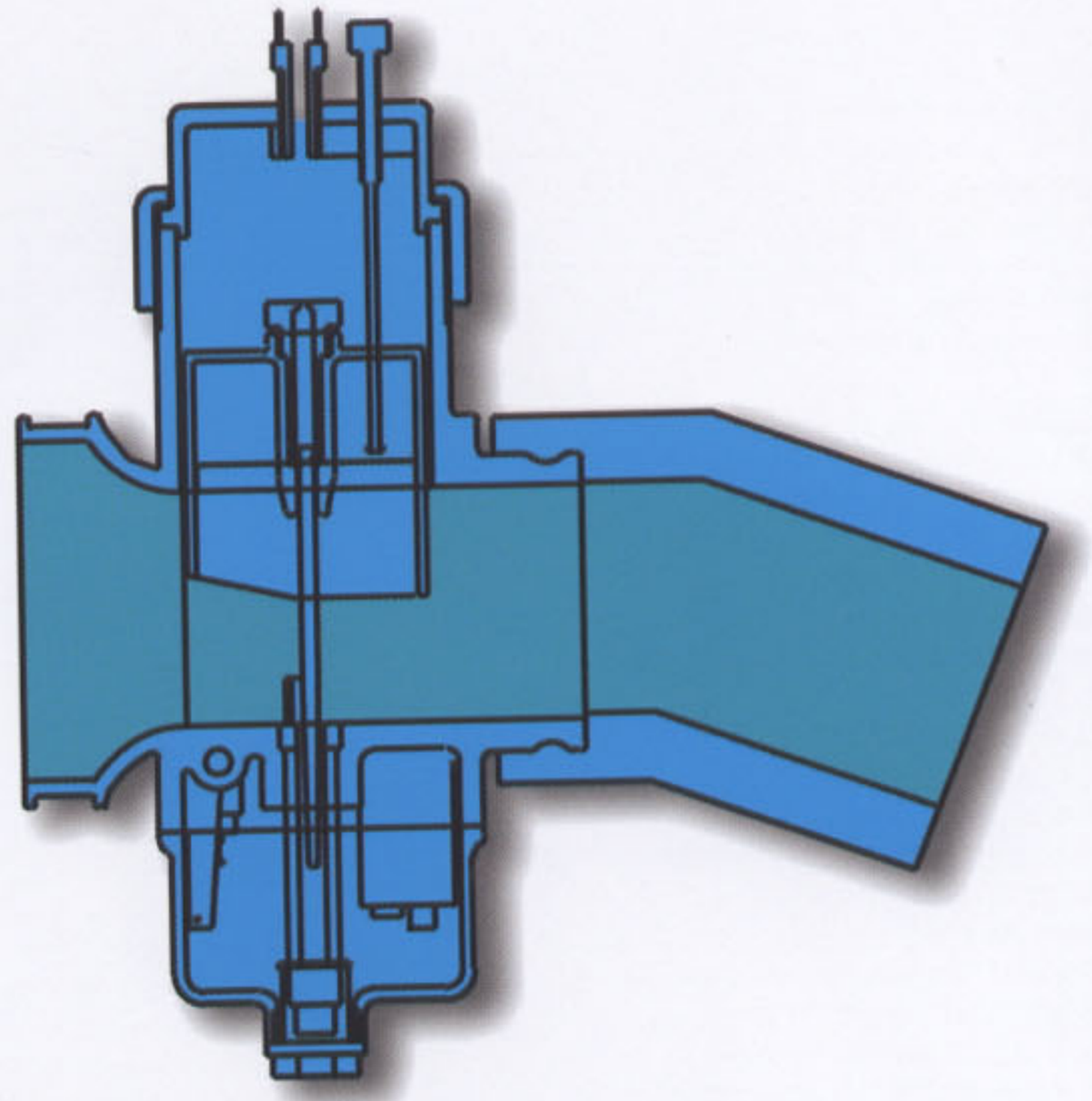


FIG 3/9 COLLECTEUR COUDÉ

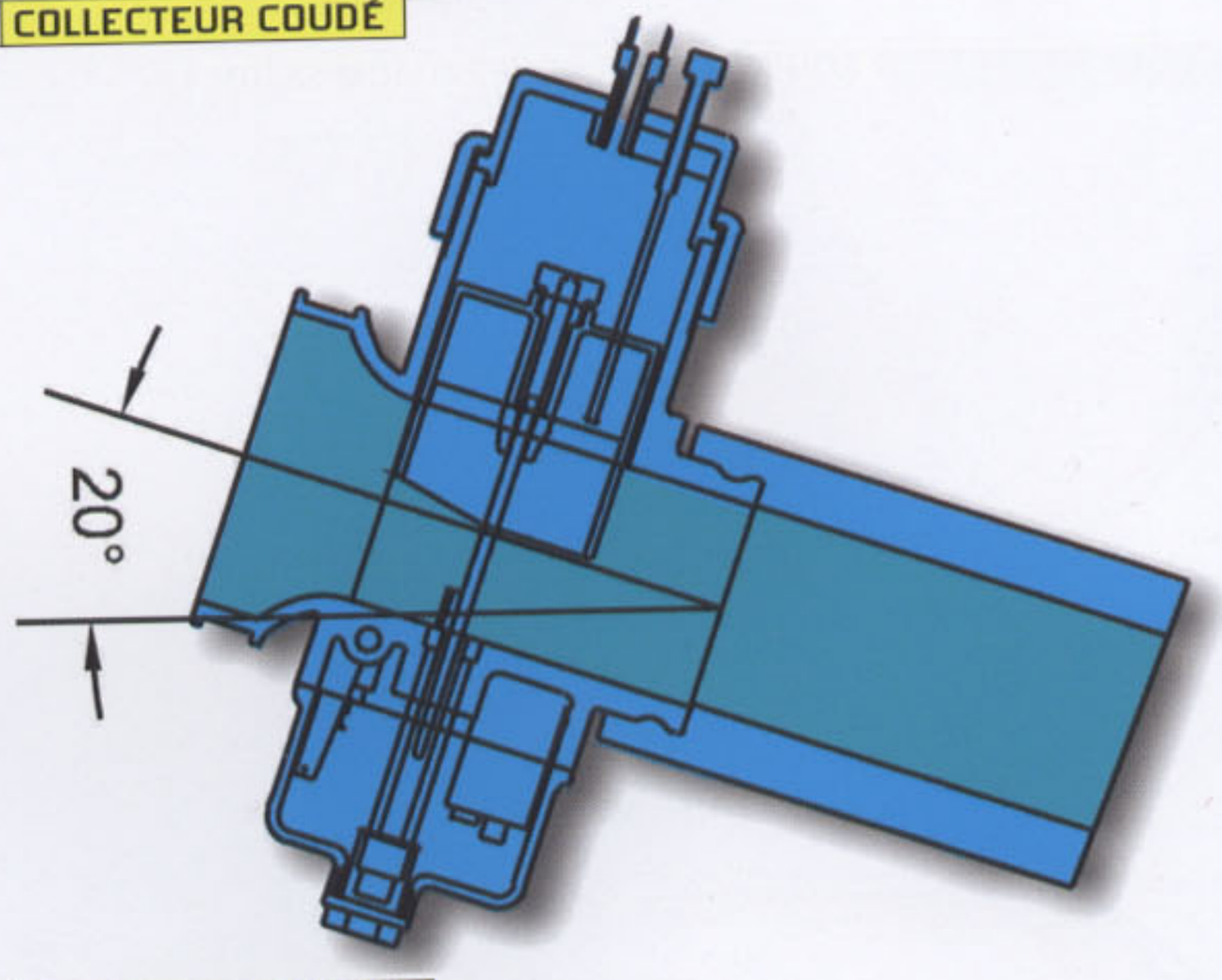


FIG 4/9 COLLECTEUR ALIGNÉ

LA BOÎTE A CLAPETS

Cette solution technique représente une sorte d'idéal pour obtenir une bonne courbe de couple sur les moteurs modernes. C'est néanmoins un obstacle au libre écoulement du mélange pour atteindre la puissance maxi. L'énergie utilisée pour l'ouverture des lamelles ne peut pas être utilisée pour le remplissage du carter.
Cependant, ce système présente un avantage dont on parle encore trop peu : la hauteur d'ouverture des lamelles varie en fonction de la quantité d'air aspirée, la vitesse de l'écoulement est donc plus uniforme.
Même si la quantité de mélange varie, sa vitesse reste relativement stable et optimale à tous les régimes. Il en résulte une meilleure distribution de la charge à l'intérieur du bas moteur.
Par exemple à faible ouverture des gaz, les clapets s'ouvrent peu et la vitesse du mélange reste élevée, ce qui n'est pas le cas avec une admission par piston ou disque rotatif. À pleine ouverture, les clapets s'ouvrent en grand, mais la vitesse garde sensiblement la même valeur.
Le gros défaut de cette admission est l'apparition d'une résonance à haut régime. Les lamelles restent à demi ouvertes (fig.6/9), la charge a du mal à entrer et celle qui y est parvenue arrive parfois à faire demi-tour.
Ce phénomène peut être éliminé en utilisant des lamelles plus rigides, mais peu satisfaisantes à bas régime. En compétition, les motoristes utilisent des empilages de lamelles plus courtes mais plus nombreuses de façon à profiter d'une surface équivalente à plein régime (fig.7/9).
Les inconvénients ne sont pas totalement supprimés pour autant et le rendement volumétrique est pris en défaut car les lamelles sont plus difficiles à ouvrir à bas régime. La puissance à bas régime est donc moindre sans que ce soit gênant en compétition où l'on s'applique plutôt à rester dans les tours.
Pour obtenir une résistance minimale, il faudrait utiliser des lamelles très fines qui entrent malheureusement en résonance très rapidement.

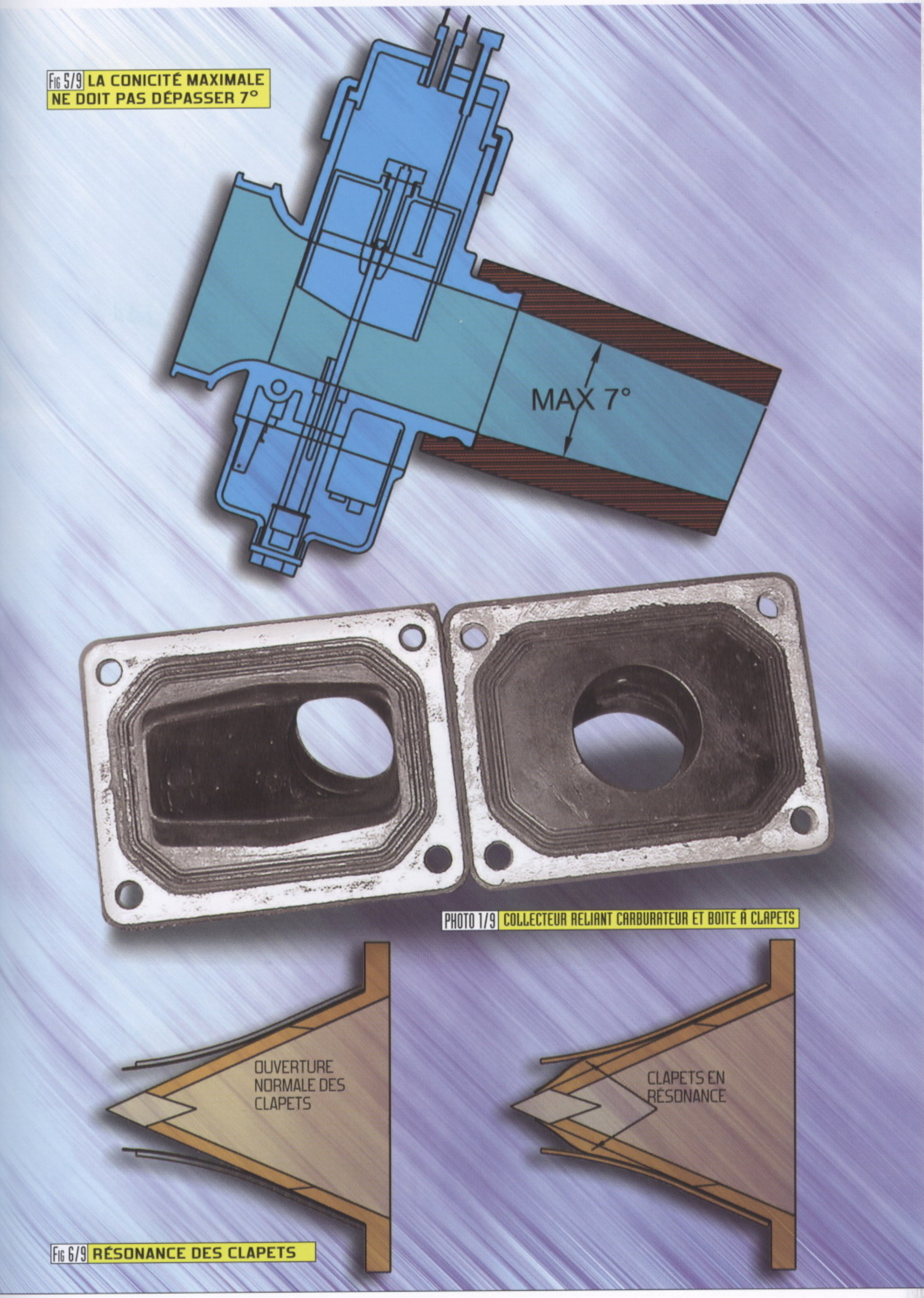


FIG 5/9 LA CONICITÉ MAXIMALE NE DOIT PAS DÉPASSER 7°

PHOTO 1/9 COLLECTEUR RELIANT CARBURATEUR ET BOITE À CLAPETS

FIG 6/9 RÉSONANCE DES CLAPETS

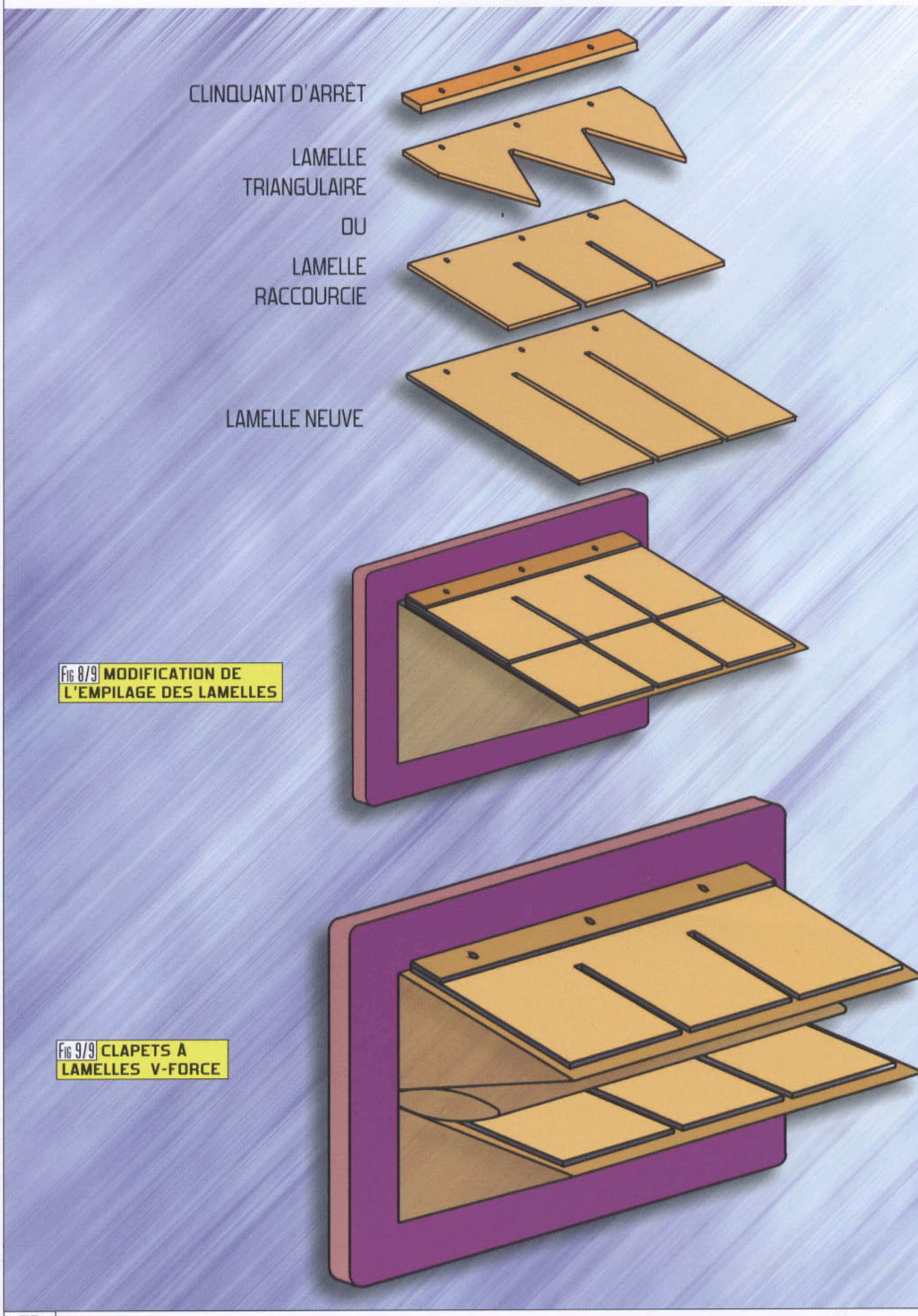
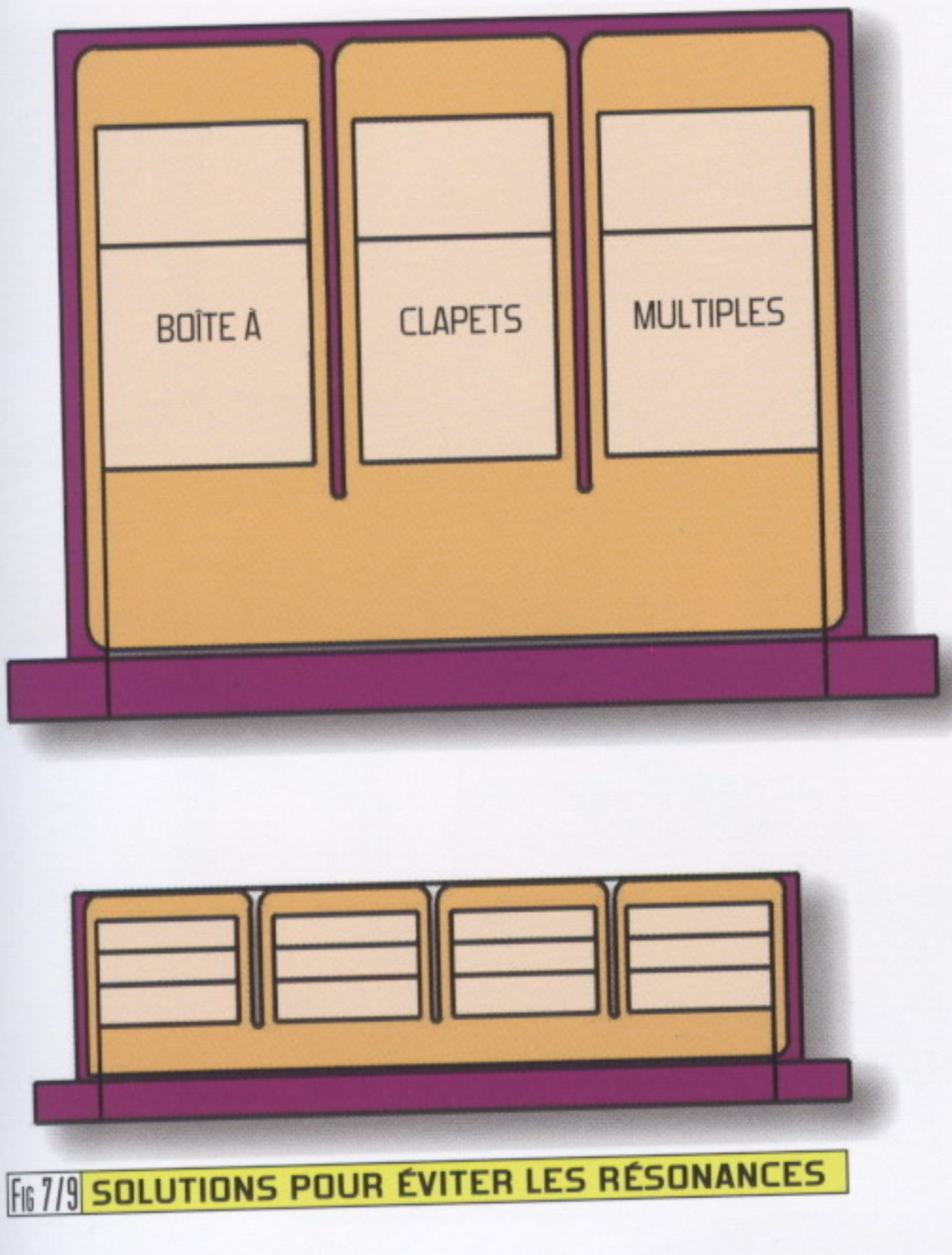
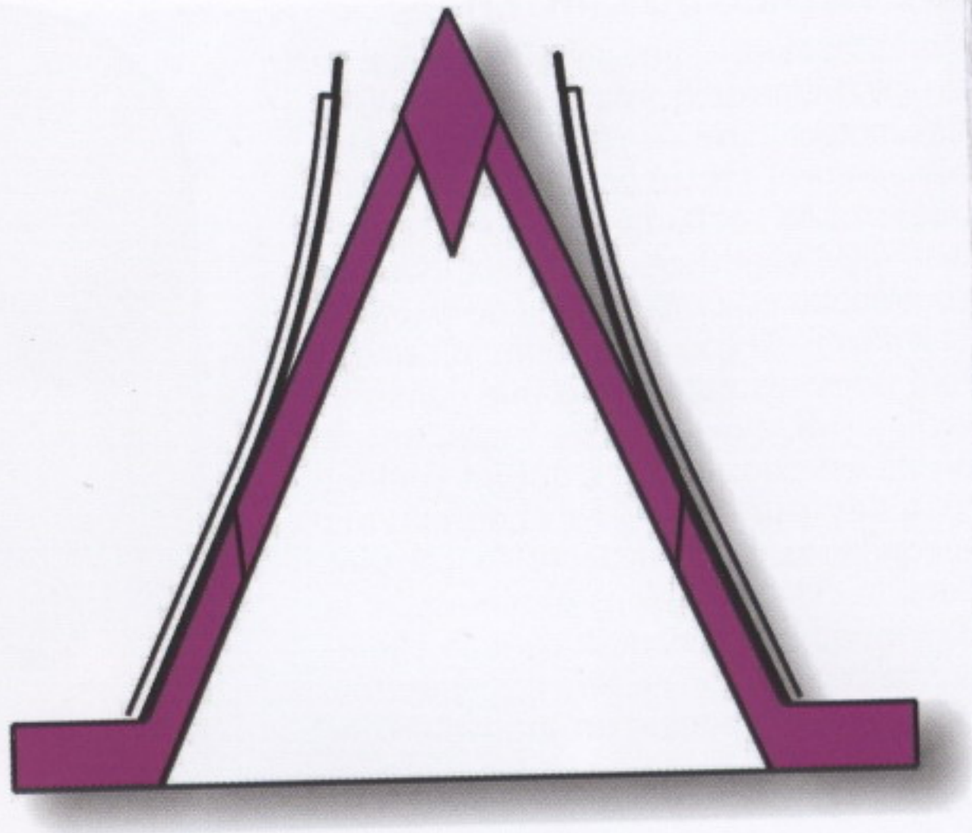


FIG 8/9 MODIFICATION DE L'EMPILAGE DES LAMELLES

FIG 9/9 CLAPETS À LAMELLES V-FORCE





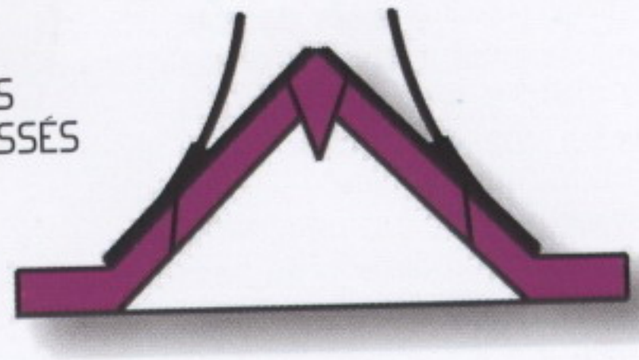


FIG 7/9 **SOLUTIONS POUR ÉVITER LES RÉSONANCES**

Plus on augmente l'épaisseur des lamelles et plus l'énergie nécessaire à leur ouverture est importante. En revanche, les régimes de résonances sont nettement plus élevés.
Plus les clapets sont grands et plus la charge passante aux petites ouvertures est importante. Des études montrent que l'obtention d'une plage de régime étendue est conditionnée par le fait que la surface d'ouverture maxi des clapets ne doit pas excéder 90 % de l'aire de la section la plus grande du carburateur.
Le marché regorge de clapets adaptables utilisant divers matériaux comme la fibre de verre ou de carbone. Ils sont en outre disponibles en plusieurs épaisseurs.
Plus les lamelles sont fines, plus elles sont souples et améliorent le fonctionnement à bas régime et inversement. Les clapets en carbone sont plus rigides que ceux qui sont en fibres de verre, à épaisseur égale. Cela conditionne également leur durée de vie.
Avant d'installer de nouveaux clapets, il convient de vérifier leur épaisseur afin d'optimiser leur fonctionnement, même si 5 centièmes de millimètres peuvent sembler négligeables. Si votre moteur n'arrive pas à prendre des tours, la cause peut provenir de l'épaisseur des clapets.
On trouve aussi des clapets composés de plusieurs couches de lamelles dont l'épaisseur décroît progressivement. Ces éléments ne comportent pas de butée et n'entrent pas en résonance à haut régime. Sur un moteur de route, les clapets peuvent durer plusieurs années. Si l'on est pointilleux avec sa mécanique, il faut quand même envisager de les changer tous les ans.
La modification de la boîte à clapets d'origine consiste à couper les vielles lamelles pour obtenir une longueur égale au tiers ou à la moitié de la longueur d'origine. Si l'empilage en est pourvu, il faut couper le frein en une fine bande. Sinon, couper une bande de 8 mm de large dans une tôle de 2 mm et la contre percer. Montez dans l'ordre les lamelles neuves, les lamelles modifiées puis le frein (fig. 8/9).
Une autre façon de procéder consiste à donner une forme triangulaire aux lamelles. On crée ainsi une rigidité différenciée plus importante à la base et plus faible à l'extrémité. Les clapets sont alors en mesure de s'ouvrir correctement sous la poussée d'un flux léger.
Les vis de blocage ne doivent pas être serrées trop fort mais plutôt mise en place avec du frein-filet type Loctite. Ces empilages offrent une rigidité accrue et autorisent une meilleure allonge et plus de puissance à haut régime car ils sont moins sensibles à la résonance.
Si l'on veut éviter le bricolage, on pourra toujours se procurer un kit de type Orma, Boyesen ou FMF qui offre normalement plus de puissance à bas et moyen régime et laisse le reste de la plage inchangée. Si ce kit existe pour votre moteur, il serait intéressant de l'essayer.
Le modèle "V Force" constitue le dernier cri en matière de clapets adaptables, du moins sur les 125 Enduro (fig.9/9). Il est constitué de deux empilages de lamelles en carbone. La surface totale ouverte reste la même pour 8 lamelles résistant mieux à la résonance. En orientant correctement la charge, l'entrée dans le carter est meilleure et la répartition aux transferts est plus équilibrée.
Attention, il est souvent nécessaire de retoucher l'allumage et la carburation pour obtenir un gain notable.
Les lamelles s'assouplissent dans le temps et doivent être changées souvent, même sur les motos de route. Ce relâchement se traduit par une mise en route laborieuse et la perte de puissance à bas régime car les clapets ne fermant pas bien, la charge refoule. Sur un moteur pointu, le régime maxi baisse progressivement. De toute façon, il n'y a pas moyen d'échapper au remplacement fréquent des clapets sur un moteur poussé, a fortiori sur ceux qui atteignent des régimes de rotation très élevés comme en karting.
Ouverture et fermeture se succèdent quelques millions de fois et la matrice en résine liant les fibres des lamelles se détériore. Il faut donc les changer avant que de petits morceaux de carbone ou de fibre de verre ne s'infiltrent dans les roulements et entre les lumières et le piston en phase de fermeture. N'oubliez pas non plus de contrôler l'épaisseur des lamelles. Des dixièmes de millimètre se traduisent par des milliers de tr/min. Assurez-vous enfin que le conduit d'admission et le convoyeur de la boîte à clapet soient bien alignés et traitez les plans de joint à la pâte pour prévenir tout risque de prise d'air.

L'ENTREE DU CARTER

Après les clapets, une dernière portion de la pipe d'admission prend le relais jusqu'au bas moteur. L'axe de ce conduit doit être parfaitement centré par rapport à l'équipage mobile. La charge entrante est immédiatement centrifugée par la rotation des contrepoids et le mouvement de la bielle.
Si le flux n'est pas correctement calculé, tant dans ses dimensions que dans son inclinaison, avec l'axe de bielle, il sera divisé en deux parties définitivement inégales (fig.10/9). Les écoulements secondaires des transferts aboutissant dans le cylindre seront différents et la distribution de mélange dans la chambre de combustion ne sera pas uniforme. Les conséquences d'un mauvais centrage sont les mêmes sur les moteurs dont la partie terminale du collecteur se divise en canaux débouchant directement dans les transferts.
L'admission directe par clapets dans le carter répond aux mêmes critères de symétrie. Ce dernier type d'admission amène le flux sur un plan tangentiel aux contrepoids plutôt que de face.
Souvent, le cylindre entre profondément dans le bas moteur et possède un passage destiné à mener la charge vers l'équipage mobile. S'il n'est pas possible d'éliminer complètement cet appendice (photos 2/9 et 2/9b), il est possible d'élargir le passage pour ne pas trop contrarier l'écoulement (photos 3/9 et 4/9).
Attention à la modification de la jupe du piston, si cette dernière bouche une partie du collecteur au PMB, au risque de fragiliser la structure. Les angles vifs des contrepoids de l'embiellage font littéralement rebondir le flux entrant. Ce phénomène caractérise les admissions directes dans le bas moteur (photos 5/9 et fig. 11/9). Il est judicieux d'arrondir ces angles puis, pour rendre symétrique le flux entraîné par les contrepoids vers le troisième transfert, il faut ensuite équilibrer l'arbre.
L'admission par disque rotatif est un cas particulier d'admission perpendiculaire au plan longitudinal de la bielle. Les passages de transfert sont donc volontairement différenciés pour obtenir une distribution équilibrée de la charge (photo 6/9).
En résumé, les deux temps doivent faire transiter le mélange air/essence/huile par le bas moteur, ce qui induit une source supplémentaire de frottement que l'on doit limiter au minimum. D'ailleurs, le bas moteur des F1 travaille quasiment sous vide grâce aux pompes du carter sec et à d'autres astuces.
Au final, les frottements du fluide et le barbotage sont quasiment inexistants. Pour donner une dernière idée de l'impact de ces frottements, on se souviendra que les freins hydrauliques qui équipent les camions utilisent le frottement engendré par les turbulences qui se forment entre deux surfaces en mouvement relatif de rotation, lesquelles sont profilées en conséquence. Et le moins que l'on puisse dire, c'est que ce type de frein est plutôt efficace.

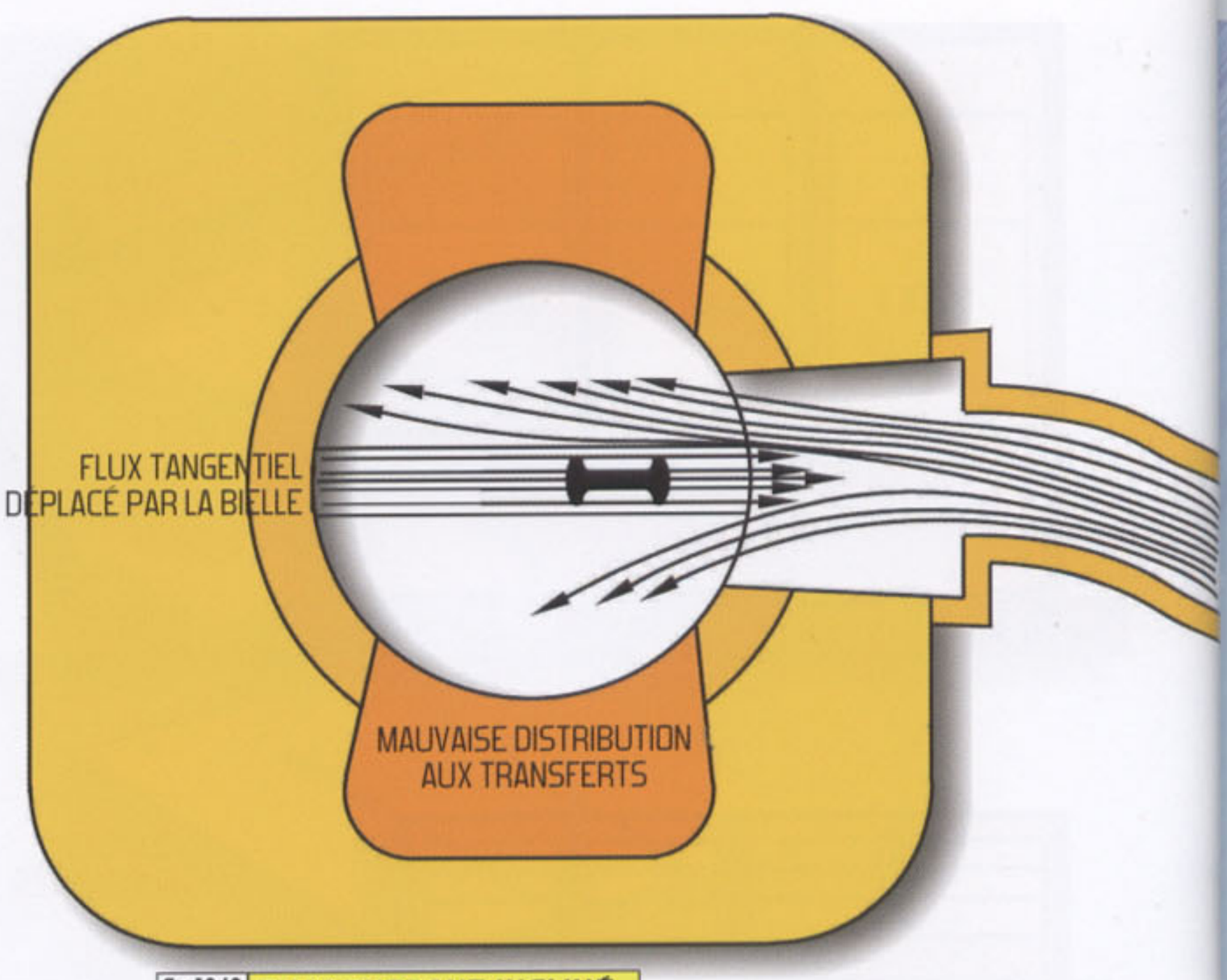


FIG 10/9 **FLUX ENTRANT INCLINÉ**

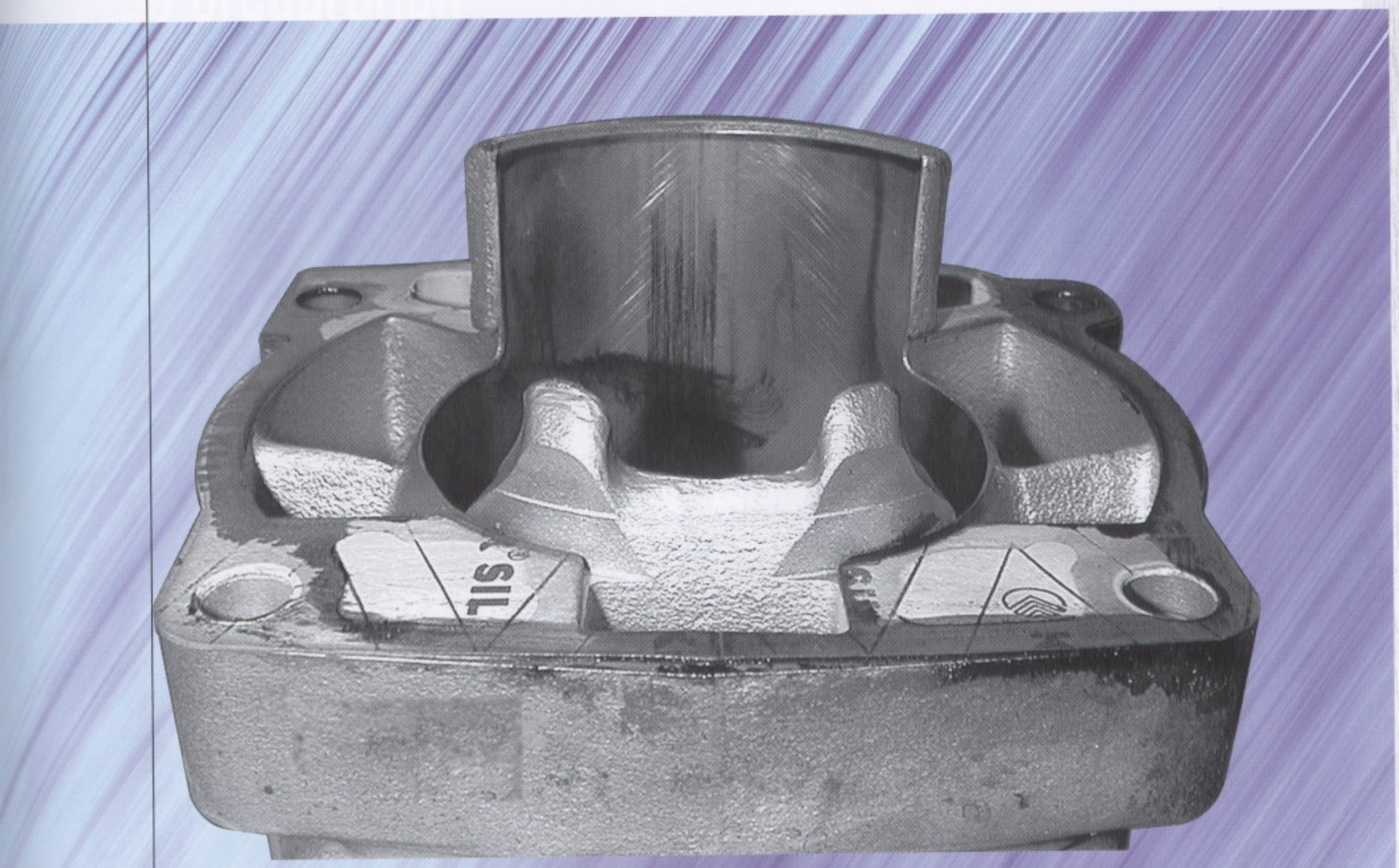
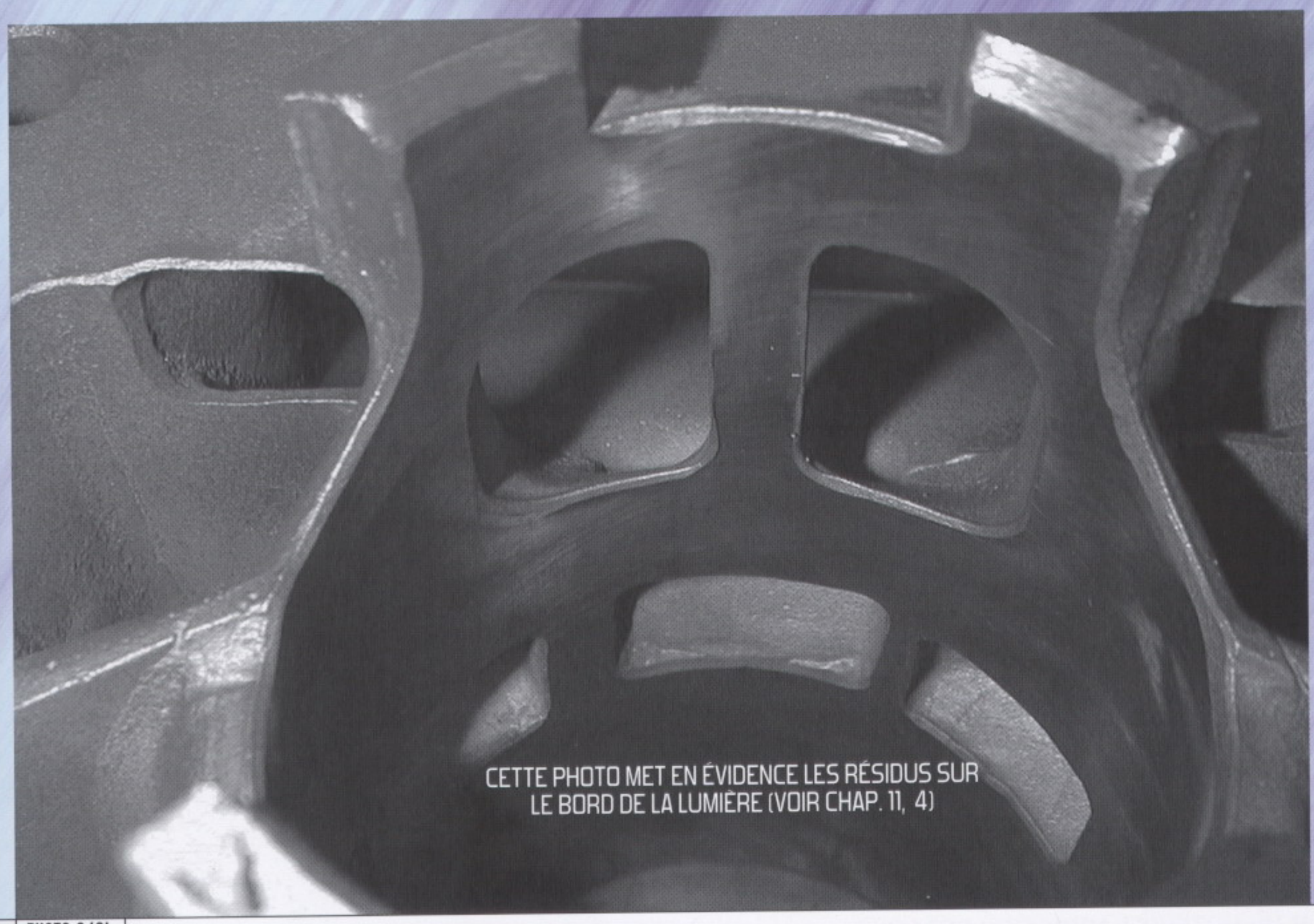


PHOTO 2/9a **LA PARTIE ARRIÈRE DU CYLINDRE EST RACCOURCIE**



CETTE PHOTO MET EN ÉVIDENCE LES RÉSIDUS SUR
LE BORD DE LA LUMIÈRE (VOIR CHAP. 11, 4)

PHOTO 2/9b

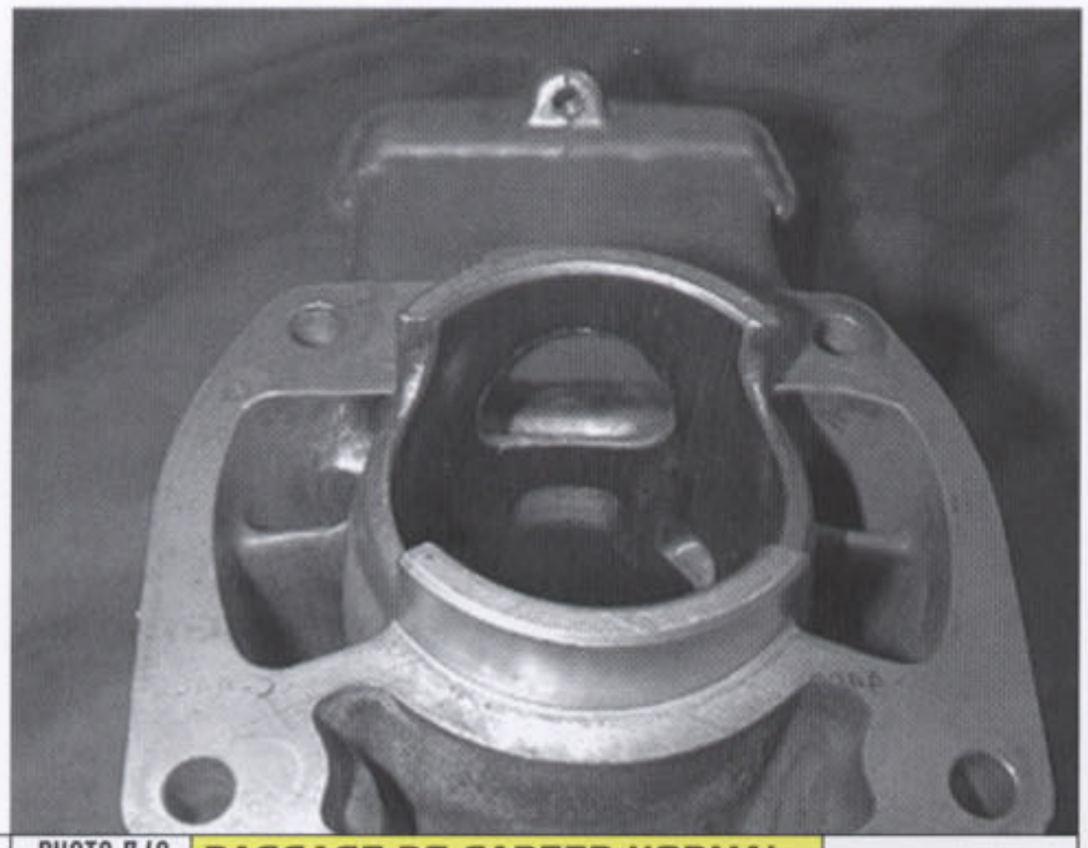


PHOTO 3/9 PASSAGE DE CARTER NORMAL

PHOTO 4/9 PASSAGE DE CARTER AGRANDI

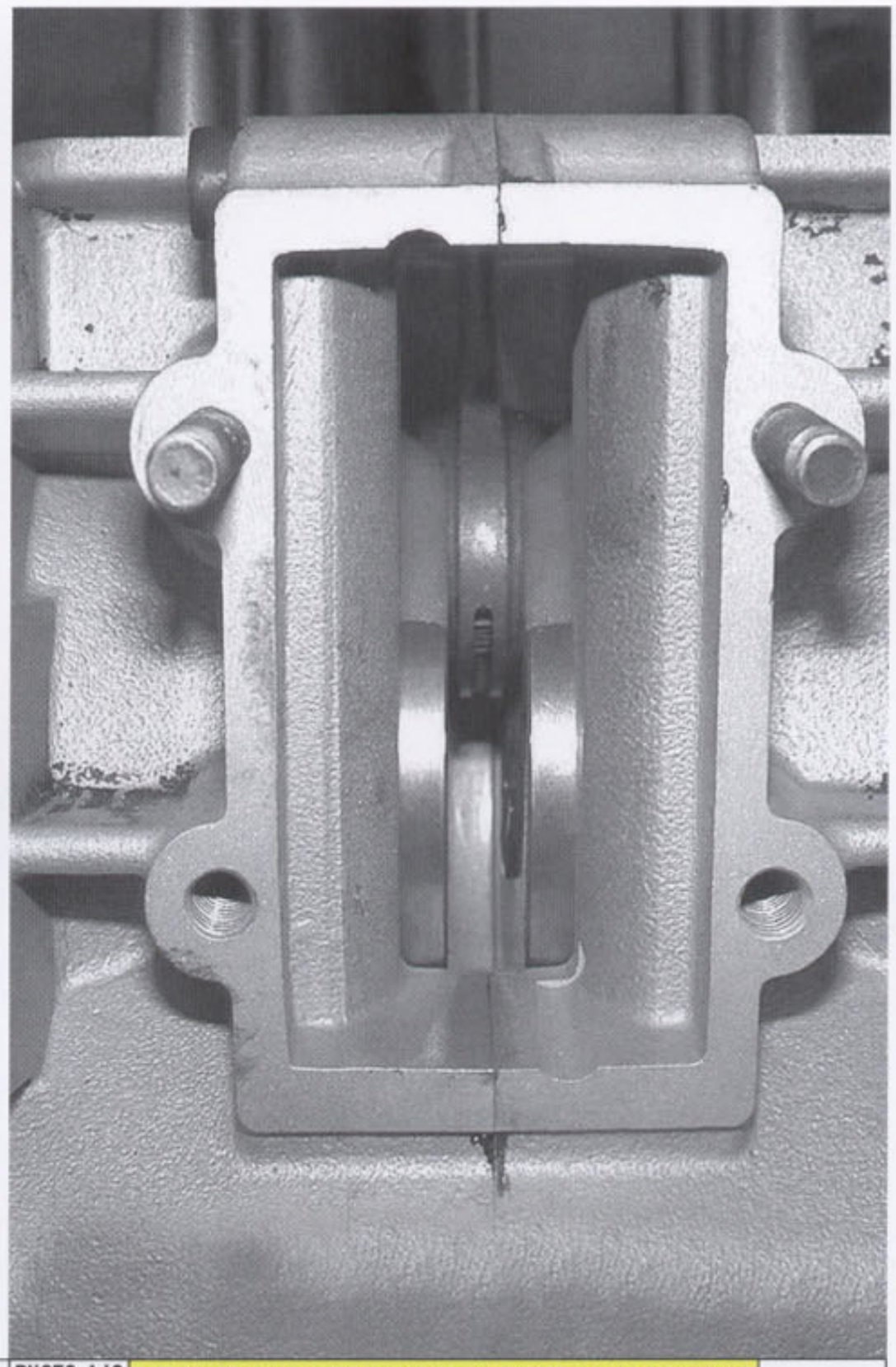


PHOTO 4/9 ILLUSTRATION DE CE QUE RENCONTRE LE FLUX LORSQU'IL ENTRE DANS LE CARTER

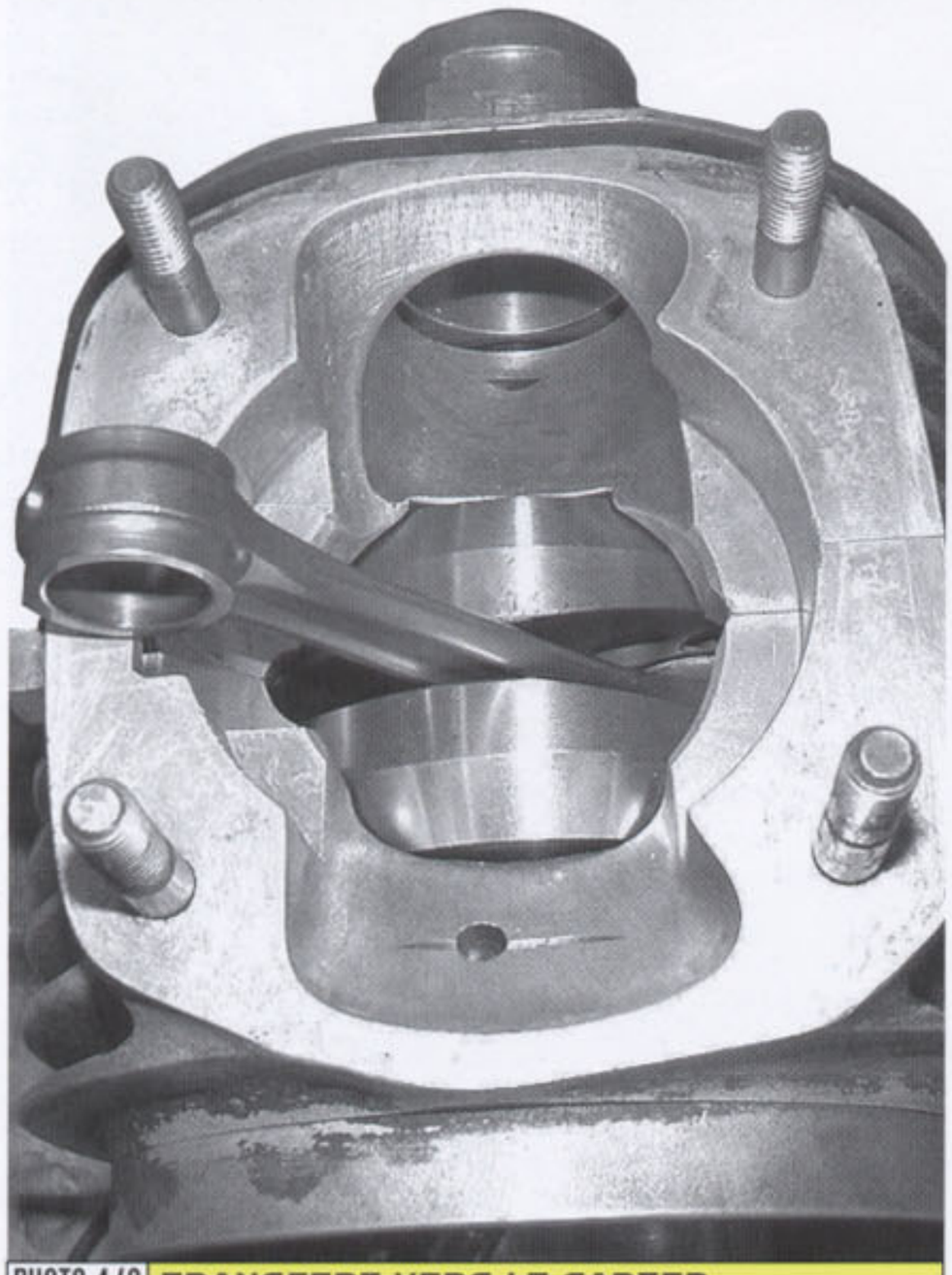
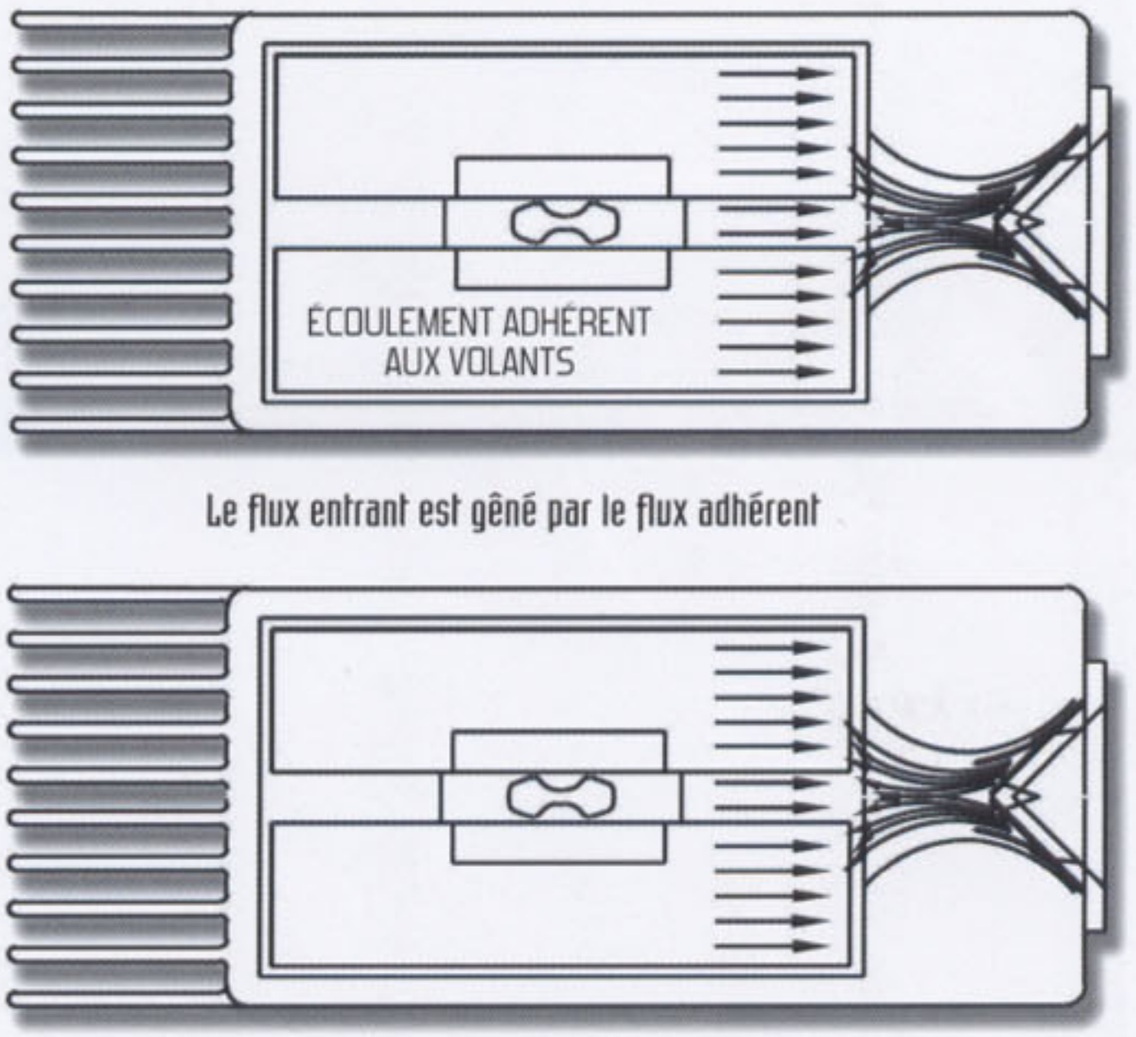


PHOTO 4/9 TRANSFERT VERS LE CARTER SUR UN MOTEUR À ADMISSION ROTATIVE



Le flux entrant est gêné par le flux adhérent

Le chanfreinage des angles réduit le volume du flux entraîné par les masses et favorise l'entrée de la charge

FIG 11/9 FLUX ADHÉRENT AUX VOLANTS

La préparation des moteurs 2 temps

CHAPITRE 10

CARTER MOTEUR

SEPARATION ENTRE CARTER POMPE ET EMBIELLAGE
PERPENDICULARITE CYLINDRE/CARTER
CYLINDRE DESAXÉ

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16

Outre le fait qu'il soutient l'équipage mobile, le carter sert de réservoir et de bouchon pour la partie inférieure de la pompe de transfert. Il ne doit donc être ni trop petit ni trop grand.
Les résultats des expériences menées depuis de nombreuses années ont démontré qu'il n'y a aucun avantage si le rapport entre le volume total du carter-pompe, piston au PMH, et le volume piston au PMB, est inférieur à 1,5 :1. Les carters possédant une séparation ou une protubérance qui s'introduisait dans le piston afin de réduire ce rapport, n'ont fait que rendre ces moteurs sensibles à certains régimes avec des plages d'utilisation réduites. Il y a longtemps, Montesa utilisa un second piston mis en mouvement par le vilebrequin, qui diminuait le volume du carter à chaque tour, ce qui augmentait la compression. Même mise au point pour une moto de trial (Cota 242), cette solution ne donna pas entière satisfaction et fut abandonnée. Dans les moteurs modernes, le remplissage est obtenu par l'effet pompe du carter, mais surtout par la dépression engendrée par les systèmes d'échappement.
Si la pompe travaille trop, le mélange à tendance à s'échapper par l'échappement sans que les ondes de contre-pression ne puissent s'y opposer. De plus, il est inutile de dépenser de l'énergie en pompant le mélange du carter au cylindre si ce même travail peut être accompli par un système d'échappement efficace. Si le volume du carter est trop réduit, les transferts n'auront pas la charge de mélange nécessaire et la pression ne pourra pas grimper.
D'un autre côté, augmenter de façon excessive le volume du bas moteur n'apporte pas grand-chose non plus. Les temps de remplissage étant très courts, la quantité de mélange pouvant passer dans les transferts est limitée. De plus, un volume trop important réduirait la pression engendrée par la descente du piston et l'effet de pompage associé.
Les modifications au carter sont ainsi limitées à la réduction des obstacles rencontrés par l'écoulement de la charge et à l'optimisation des raccordements des transferts au niveau du plan de contact carter/cylindre.

SEPARATION ENTRE CARTER POMPE ET EMBIELLAGE

Sur les moteurs plus anciens, les flasques avaient tendance à centrifuger une partie du mélange contre les parois. Sur les moteurs récents, équipés d'une troisième lumière et de l'admission directe dans le carter, on observe un écoulement tangent à ces flasques et dirigé par la rotation de ces derniers vers cette lumière. Le phénomène apparaît dès que la lumière reçoit la dépression de l'échappement.
Si la tendance de l'époque était de séparer partiellement l'embiellage de la charge, on privilégie aujourd'hui le dégagement de cette zone.

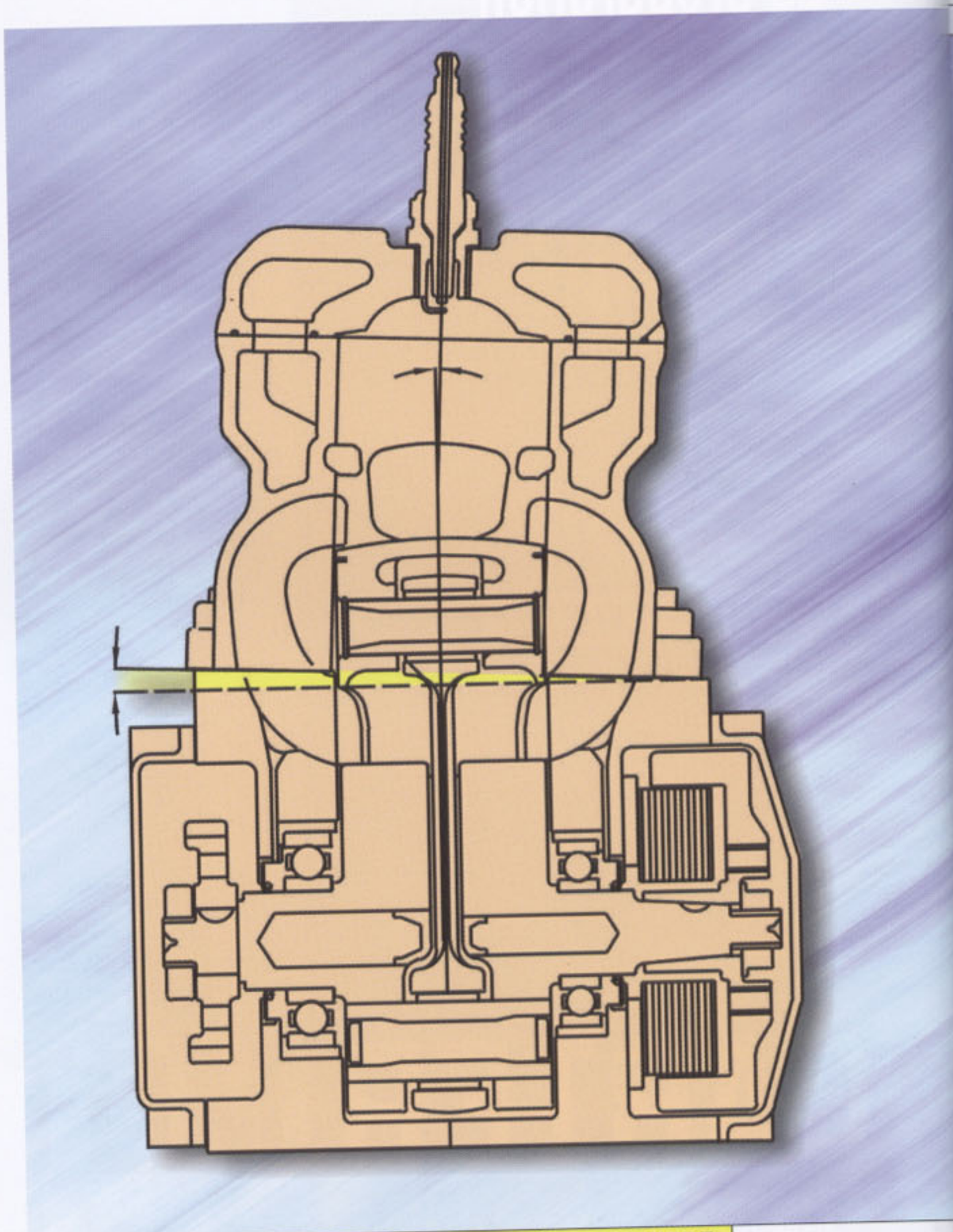
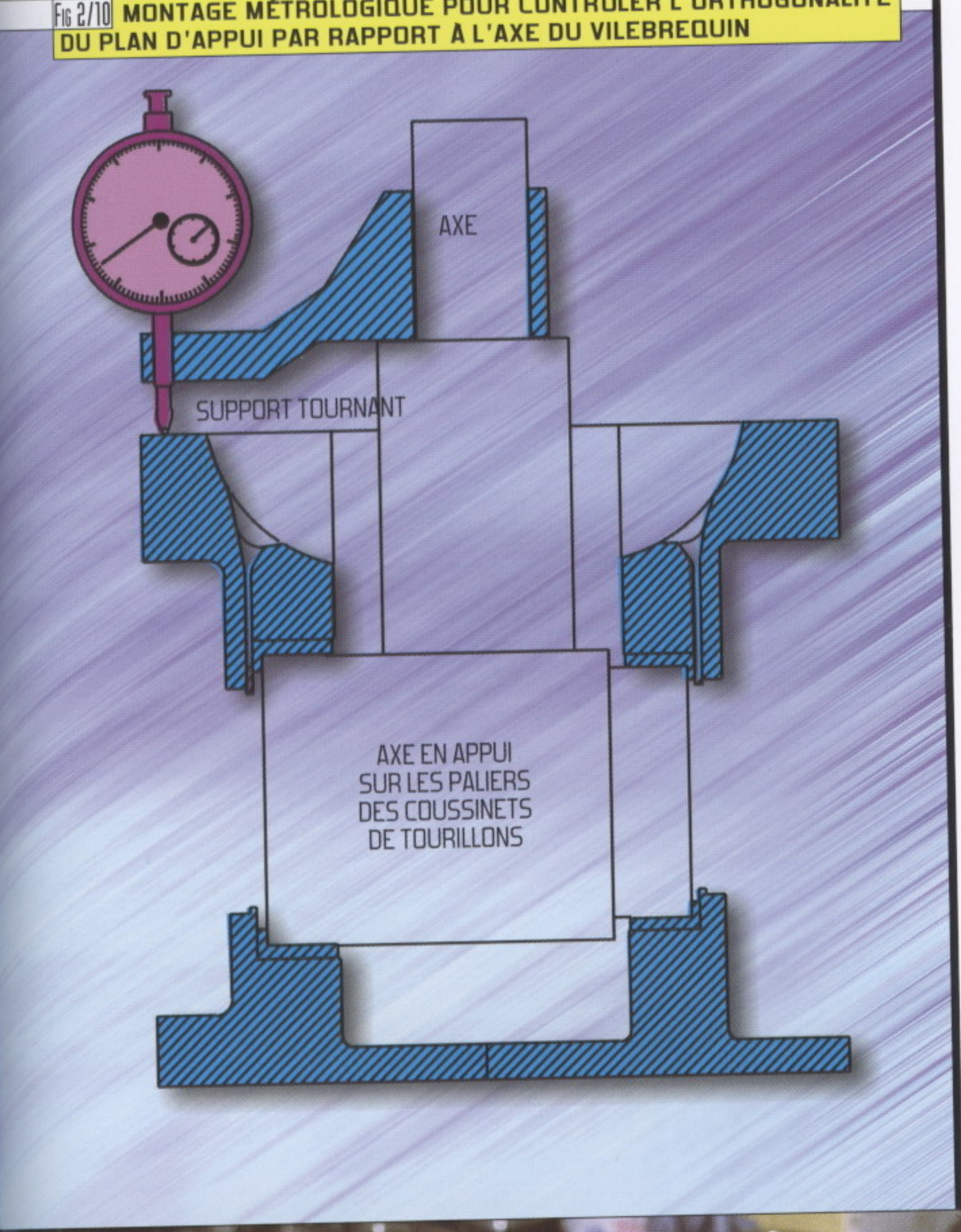


FIG 1/10 MAUVAISE PERPENDICULARITÉ DU CYLINDRE

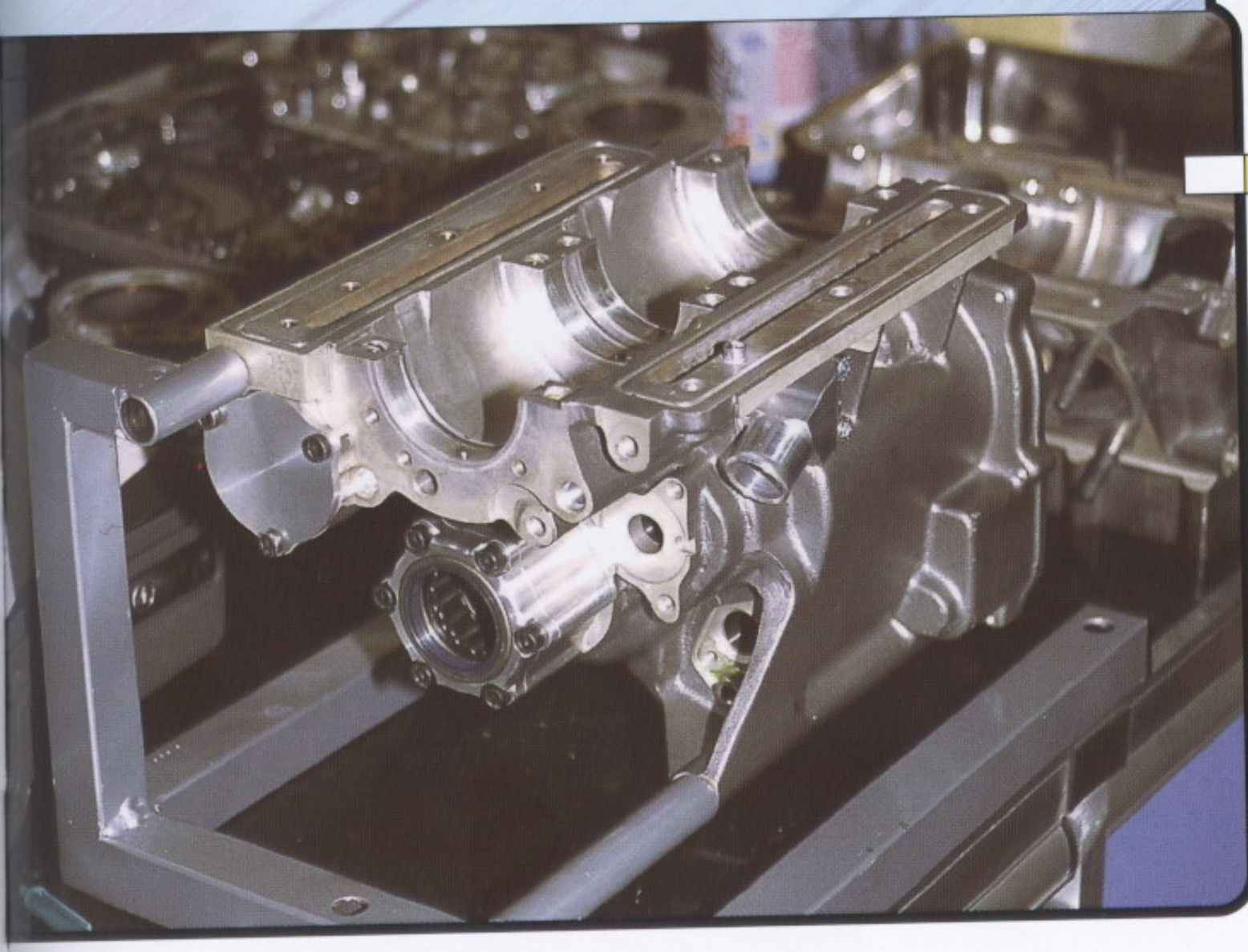
PERPENDICULARITE CYLINDRE/CARTER

L'un des problèmes les plus courants est de rencontrer un léger défaut de perpandicularité entre l'axe du cylindre et celui du vilebrequin (fig. 1/10). Malgré les tolérances et les jeux définis par les constructeurs pour éviter les frottements, un angle d'un centième de degré induit une perte de puissance par frottement. Ceux-ci augmentant avec le carré de la vitesse, un frottement minime induit à haut régime une perte conséquente. Si vous vous apercevez (à la loupe) que l'usure de la jupe du piston n'est pas symétrique par rapport à l'axe du cylindre, il est possible que la tolérance géométrique ne soit pas respectée. Ce défaut aura bien sûr des conséquences sur la cage à aiguille de l'axe de piston et sur le niveau d'usure de la chemise et du segment. Ce genre de défauts est responsable à 90% des différences de puissance avérées entre deux moteurs théoriquement strictement identiques, d'où l'intérêt d'effectuer une métrologie précise au moment du montage ou après une préparation.
Car ce problème peut apparaître après un ré assemblage du bas moteur. En effet; il suffit que les demi-carters soient légèrement désaxés pour que le plan d'embase soit faussé et la présence de pions de centrage n'offre pas de garantie absolue. Parfois, une simple différence de dilatation à 80°C peut être à l'origine du défaut. L'unique méthode de métrologie permettant de vérifier cette perpendicularité consiste à monter un faux vilebrequin au centre duquel on introduit un arbre parfaitement vertical (cet arbre matérialise l'axe du cylindre). On place un comparateur sur un support rotatif monté en bout de l'arbre vertical. Une fois que tout est dégauchi,

Fig 2/10 **MONTAGE MÉTROLOGIQUE POUR CONTRÔLER L'ORTHOGONALITÉ DU PLAN D'APPUI PAR RAPPORT À L'AXE DU VILEBREQUIN**



on contrôle la planéité du plan de joint d'embase (fig.2/10).
Le comparateur centésimal vous indiquera s'il s'agit d'un défaut de planéité ou d'une marche entre demi-carters. Ce contrôle doit être exécuté avec les vis serrées au couple prescrit à l'aide d'une clé dynamométrique et le bas moteur chauffé à la température de fonctionnement usuelle. La meilleure façon d'obtenir une bonne perpendicularité consiste à monter le faux vilebrequin traversé par un arbre qui servira de référence sur la table de rectifieuse. Là encore, on utilisera une clé dynamométrique pour le serrage de la visserie et l'on portera le tout à la température de fonctionnement. Puis on rectifiera le plan de joint en retirant le strict minimum.
Attention à ceux qui veulent utiliser une fraiseuse pour retoucher la surface en question. Cette intervention est tout à fait possible, mais il faut s'assurer que la tolérance de la machine permet ce genre de travail de précision. Les fraiseuses conventionnelles type Huron ou Deckel offrent une précision de 2/100eme de millimètre, quand la tête de broche est bien dégauchie (dégauchir à la pige ne suffit pas). Surfacer le plan de joint en bridant le carter directement sur la table ne donne pas suffisamment de garantie. Au final, il vaudra mieux confier ce travail à des professionnels de l'usinage qui auront sûrement des idées précise sur la manière d'effectuer ces rectifications.
En revanche, un domaine qui reste à la portée de tous est le bon usage de la clé dynamométrique. Malgré l'expérience, un bras de mécanicien ne remplacera jamais un tel outil. D'ailleurs, lorsque l'on vérifie à la clef un serrage manuel, il n'est pas rare de rencontrer des différences de couple pouvant atteindre 20 %.



DEMI CARTER DE 500 V2 HONDA

Comme demi-carters sont en aluminium et qu'ils chauffent, de telles différences de tension interne peuvent se traduire par des fissures ou des déformations. Equipez-vous donc obligatoirement d'une clé dynamométrique (de 1 à 10 daNm, ce qui couvre une grande partie des couples usités) et utilisez-la le plus possible, même si un serrage à 2,5 mkg vous paraît ridicule.

Petit rappel d'unités de couple :
1 Nm (Newton x mètre) = environ 0.1 mk
10 Nm = 1daNm (déca newton x mètre) = environ 1 mkg

CYLINDRE DESAXÉ

Une fois le cylindre parfaitement centré et perpendiculaire à l'axe du vilebrequin, il peut être intéressant de le déplacer dans le sens longitudinal (fig.3/10).
Cette astuce peu orthodoxe est utilisée dans des cas particuliers nécessitant plus de puissance à bas régime. En effet, dans cette position, le piston reste plus longtemps à proximité du PMH durant la première partie de la combustion.
Au chapitre des inconvénients, le piston souffre beaucoup des frottements, les risques de casse sont plus élevés et les reconditionnements plus fréquents. De plus, pour retrouver le bon taux de compression, il faut retoucher l'épaisseur du joint d'embase et ajuster l'avance.
Pour parvenir à désaxer le cylindre, on peut aléser le passage du cylindre dans le carter et agrandir les passages des goujons de serrage. Il existe aussi des chemises rapportées excentriques prévues à cet effet.

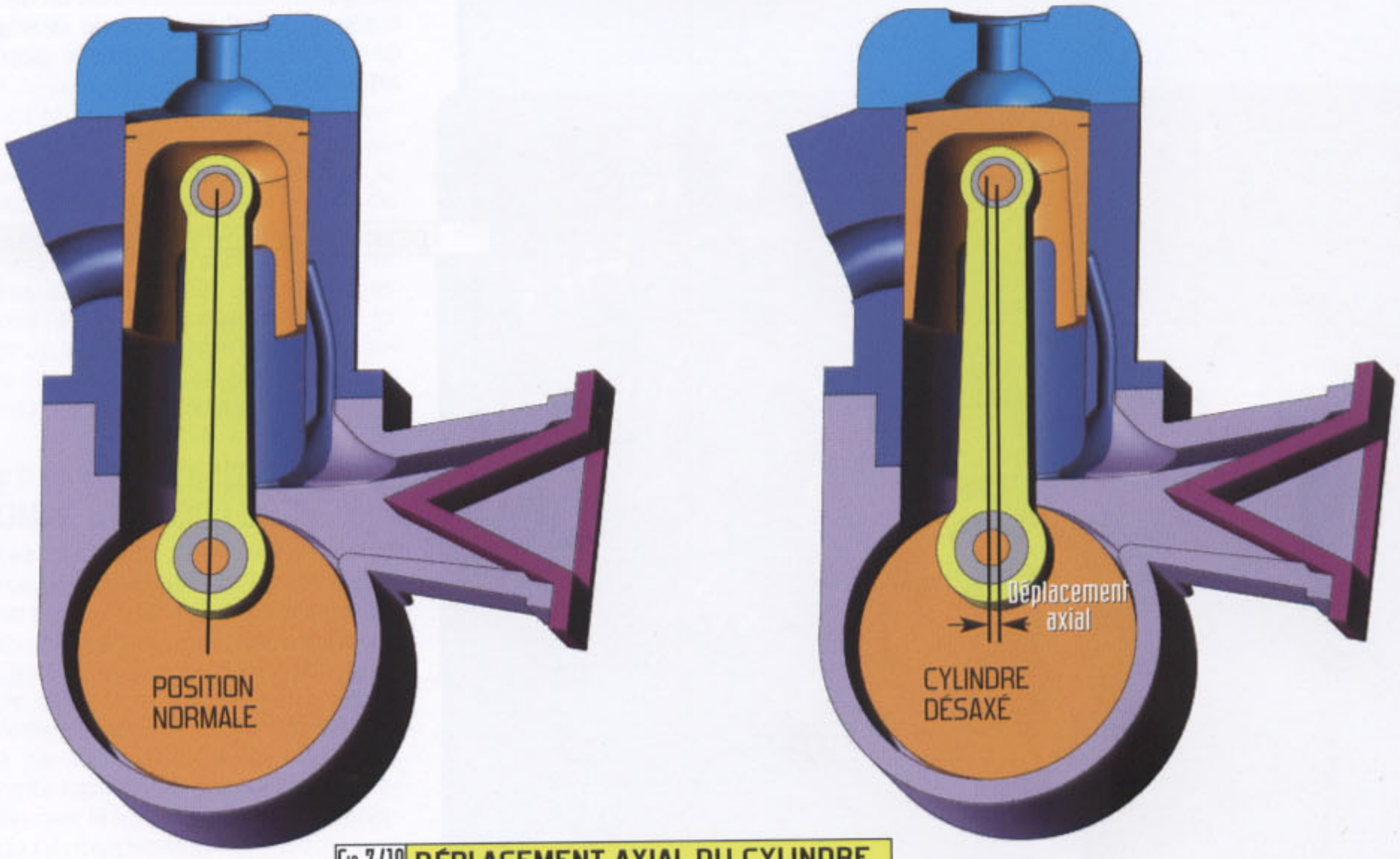


FIG 3/10 DÉPLACEMENT AXIAL DU CYLINDRE

La préparation des moteurs 2 temps

CHAPITRE 11

Tranferts et LUMIERES d'admission

LE BALAYAGE
LES LUMIERES D'ECHAPPEMENT
COMMENT DEFINIR LE DIAGRAMME DE DISTRIBUTION
MODIFICATIONS DU DIAGRAMME ET DES DIMENSIONS DES LUMIERES
AUTRES CONFIGURATIONS
DOIT-ON OUVRIR DE NOUVEAUX TRANSFERTS ?
LA BASE DU CYLINDRE

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16

Les transferts sont les conduits qui vont du bas moteur au cylindre. Les lumières sont les ouvertures à leur extrémité dans le cylindre. La fonction de ces passages est de permettre l'écoulement du mélange du carter au cylindre avec le moins de résistance possible. Si les lumières d'admission et d'échappement ont été modifiées, les retouches sur les transferts sont nécessaires. Augmenter le régime signifie augmenter la quantité de mélange pour des temps de plus en plus courts. Les formes et l'état de surface des transferts sont donc primordiaux. Mais comme ces conduits sont optimisés par construction depuis pas mal d'année, il ne reste que peu d'améliorations possibles de ce coté.

La forme rectangulaire des conduits est motivée par l'apparition de vortex au niveau des angles, vortex qui donnent de l'énergie à la couche limite. Son décollement est ainsi limité et l'écoulement est favorisé. C'est la raison pour laquelle la section rectangulaire donne de meilleurs résultats, surtout au niveau des courbes (fig. 1/11).

Ces vortex présentent néanmoins l'inconvénient de faire subir à l'huile et à l'essence du mélange une force centrifuge qui les faits se déposer sur les parois. C'est seulement à partir d'un certain régime que le carburateur réussit à pulvériser l'essence en micro gouttelettes moins sensibles à ce phénomène. Cela explique en partie qu'une carburation convient plus à une plage de régimes qu'à une autre. Ce fait se vérifie moins sur les systèmes d'injection.

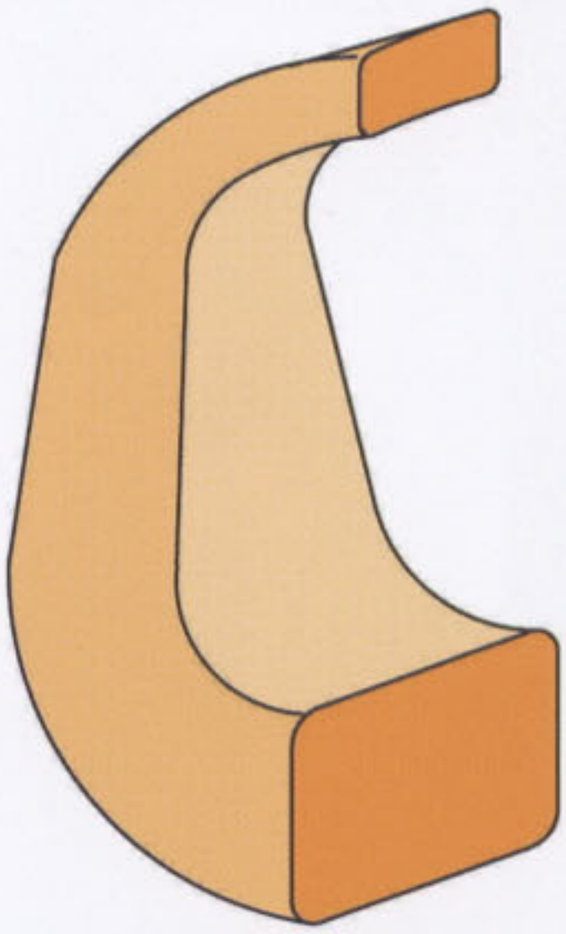
Si la couche d'essence et d'huile qui se dépose sur les parois n'est pas rapidement remise en mouvement, **trois effets indésirables peuvent se produire :**

1. La rugosité des parois est nivelée, ce qui favorise le décollement.
2. L'essence qui rentrera ensuite dans la chambre de combustion le fera sous forme de gouttes plus grosses, avec pour effet est de dégrader la combustion en brûlant plus lentement.
3. Cette couche entraîne l'apparition de «poches» de mélange qui changent radicalement les paramètres de la carburation lorsqu'elles passent dans l'écoulement.

Enfin, il ne sert à rien d'avoir de grands et beaux transferts si le conduit d'admission et la carburation ne sont pas adaptés en conséquence car, répétons-le, leur rôle se limite à conduire le mélange.

Les principales règles à prendre en compte sont :

1. Une surface lisse opposera une moindre résistance à l'écoulement.
   Par lisse, entendez une surface sans accident ni bavure. Les cylindres actuels sont parfaits de ce point de vue, si ce n'est aux niveaux des bords des moules.



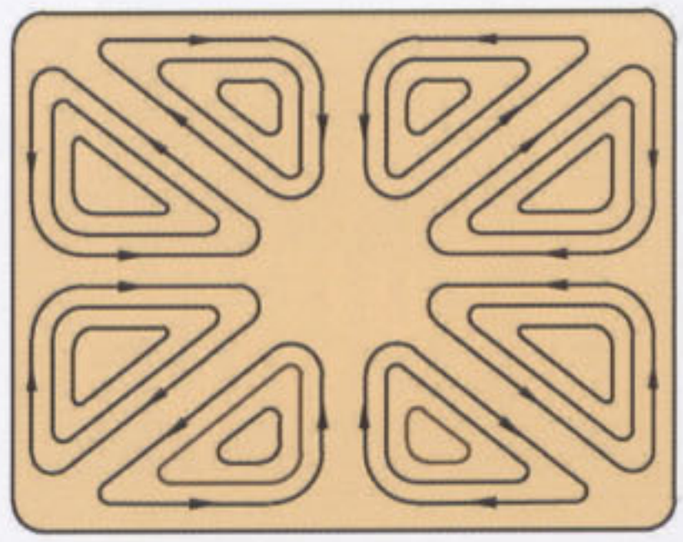


FIG 1/11 TRANSFERTS ET VORTEX DANS UN CONDUIT RECTANGULAIRE

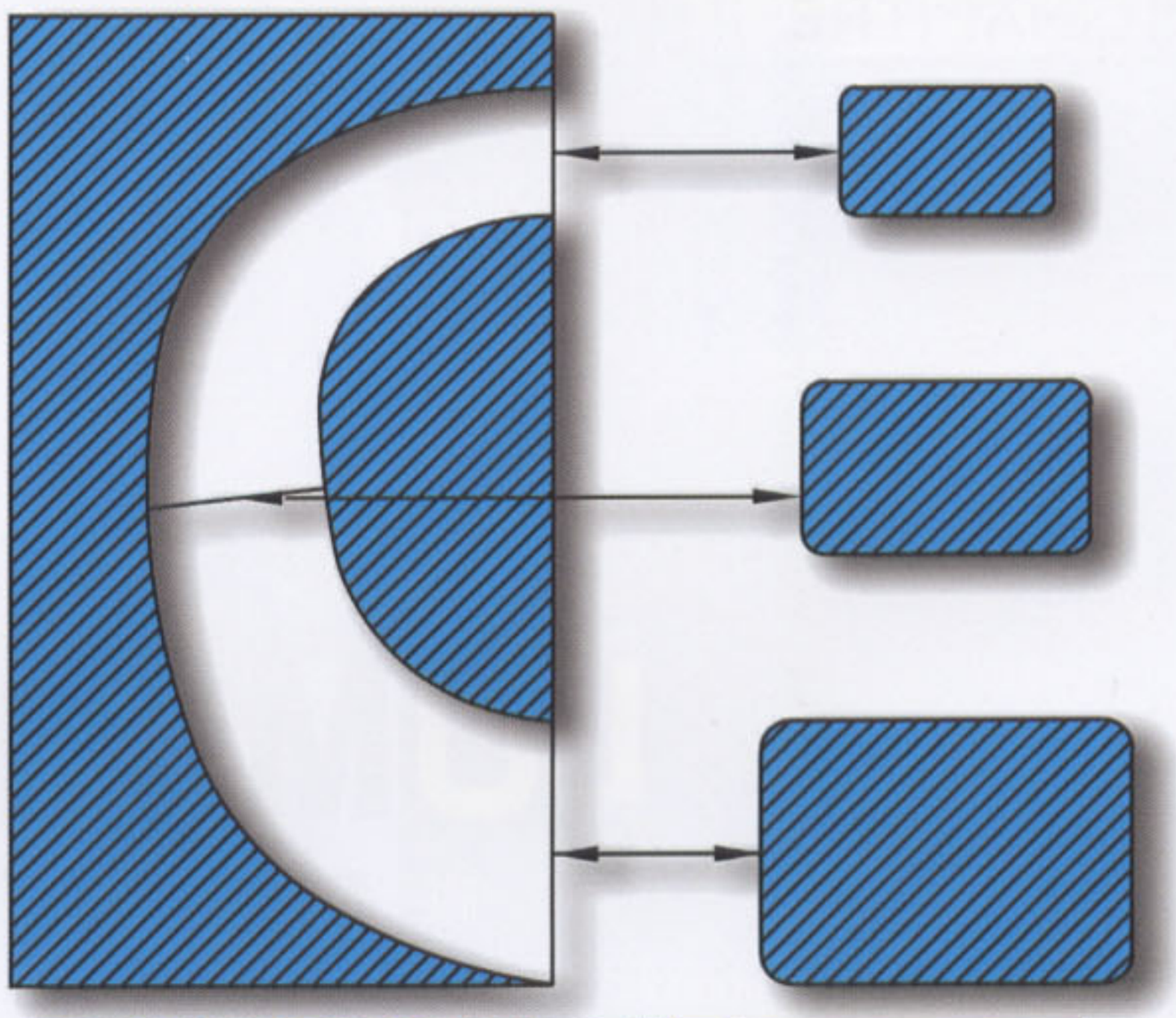


FIG 2/11 RÉDUCTION PROGRESSIVE DE SECTION

FIG 3/11 TURBULENCES OCCASIONNÉES PAR DES COUDES DU CONDUIT

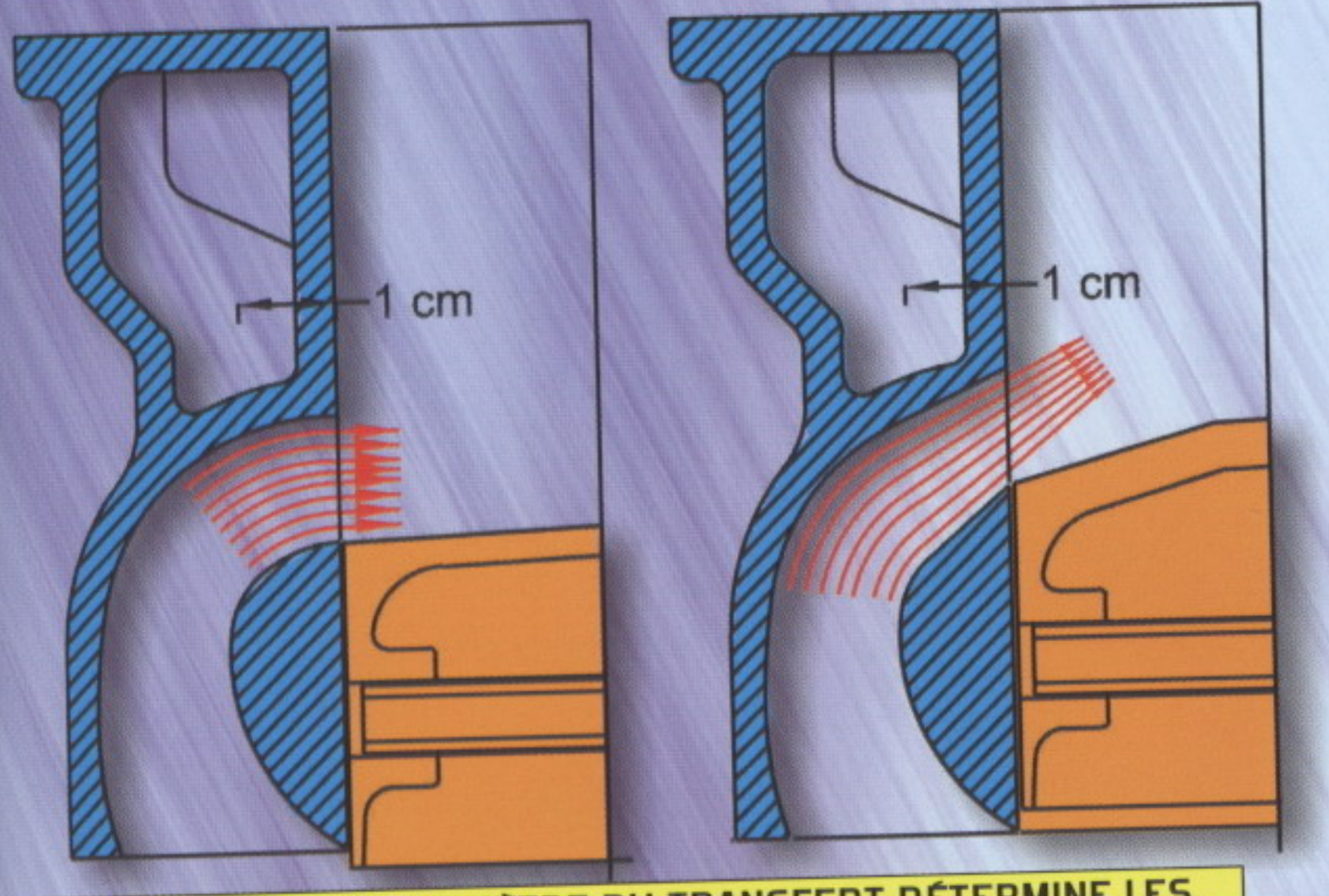
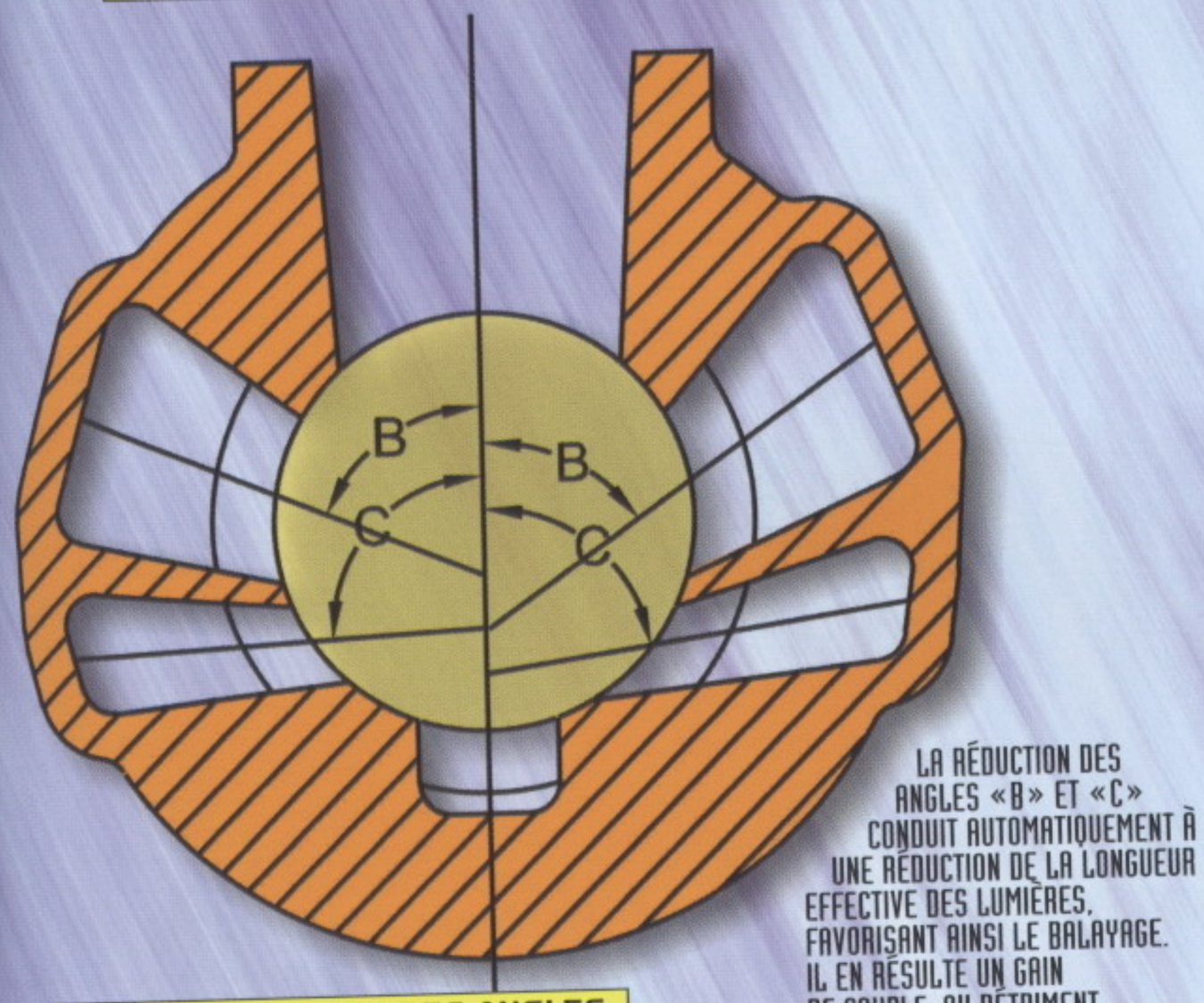


FIG 4/11 **LE DERNIER CENTIMÈTRE DU TRANSFERT DÉTERMINE LES CARACTÉRISTIQUES DE L'ÉCOULEMENT DANS LE CYLINDRE**



LA RÉDUCTION DES ANGLES «B» ET «C» CONDUIT AUTOMATIQUEMENT À UNE RÉDUCTION DE LA LONGUEUR EFFECTIVE DES LUMIÈRES, FAVORISANT AINSI LE BALAYAGE. IL EN RÉSULTE UN GAIN DE COUPLE, AU DÉTRIMENT DE LA PUISSANCE MAXI

FIG 5/11 **LA RÉDUCTION DES ANGLES**

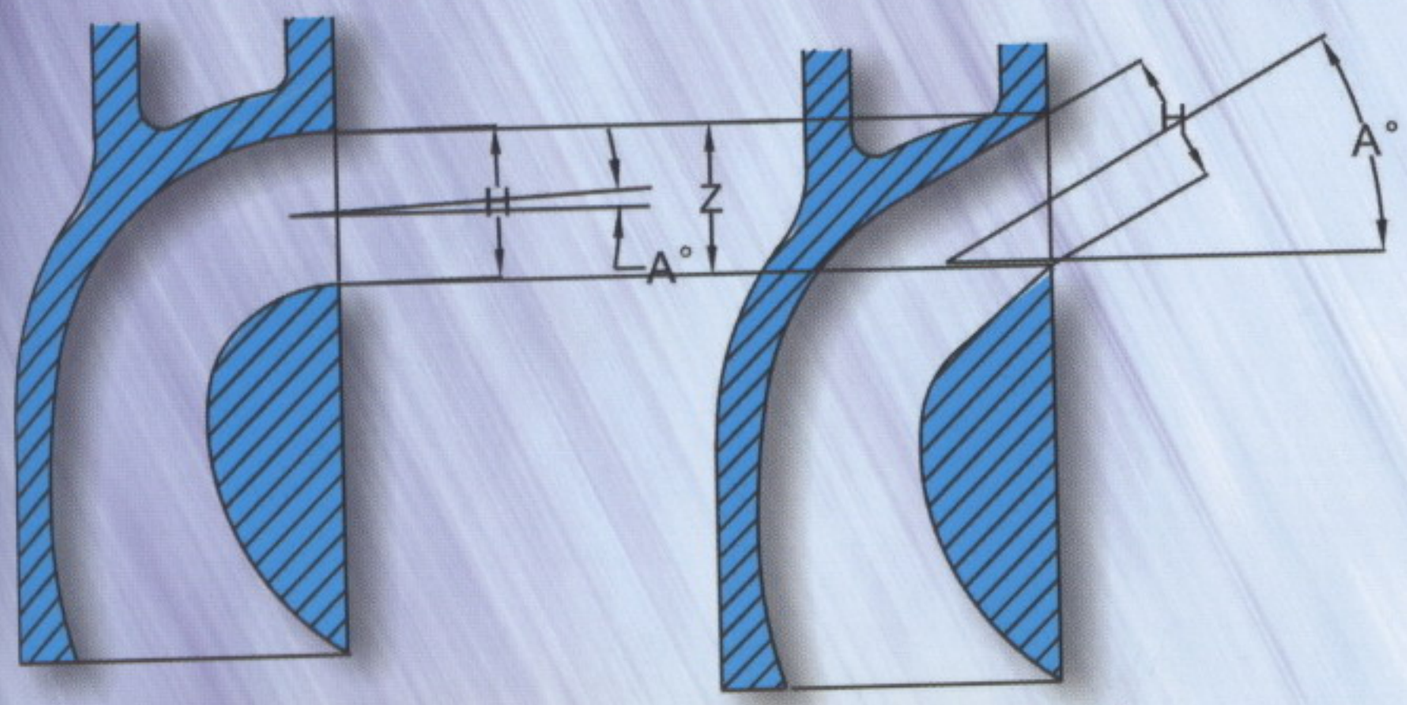


FIG 4/11 **ON REMARQUE QUE L'AUGMENTATION DE L'ANGLE «A» S'ACCOMPAGNE D'UNE DIMINUTION DE LA HAUTEUR EFFECTIVE «H» DE LA LUMIÈRE, MÊME SI LA HAUTEUR RÉELLE «Z» ET DONC LE DIAGRAMME SONT INCHANGÉS.**

Contrairement à ce que l'on rencontre communément sur les préparations artisanales, les surfaces polies ne sont pas les plus efficaces. Elles satisfont plus l'œil que la charge car la couche limite n'y adhère pas et les turbulences sont plus élevées. L'état de surface doit s'approcher du sablage fin ou d'une surface polie passée à la toile pour l'opacifier.

2 Une surface un peu plus rugueuse qu'une surface polie aura l'avantage de remettre en circulation la partie de mélange déposée sur les parois avant qu'elle ne devienne trop importante. Il y aura moins de problèmes de carburation d'un régime à un autre.

3 Avant de modifier ou d'élargir les transferts, il est utile de se procurer un vieux cylindre et d'en faire un écorché, de façon à observer les conduits et les lumières. Ainsi, on peut identifier les points à travailler au niveau de la surface et des inclinaisons, et apprécier les dimensions et l'épaisseur de matière pouvant être retirée.

4 La section des transferts doit diminuer progressivement sans brusque changement de direction (fig.2/11).

5 Les brusques changements de direction sont à éviter absolument. Ils génèrent des pertes de charge colossales et empêchent ainsi un bon écoulement du flux sur une grande partie de la plage de régimes (fig.3/11).

6 Rappelez-vous que le dernier centimètre de conduit débouchant sur la lumière conditionne l'orientation du jet dans le cylindre (fig.4/11).
L'augmentation de l'angle de sortie A et la réduction des angles B et C favorisent le balayage et le couple au détriment de la puissance maxi (fig.5/11).
La puissance est favorisée par des sorties plus horizontales. Ici, la phase de transfert reste inchangée, la hauteur de la lumière est la même, mais ses dimensions sont réduites (fig.6/11).
En réduisant la hauteur effective de la lumière, on augmente la vitesse du jet en direction de la chambre de combustion. En même temps que le piston monte, ces jets balayent la chambre de combustion de haut en bas et sont dirigés plus vers le haut dans la partie opposée à la lumière d'échappement.
Même si on utilise des pistons bombés ou tronconiques avec ce type de transferts, il reste un peu de gaz imbrûlés qui uniformise le mélange en chambre de combustion.
Dans les moteurs qui utilisent ce type de transferts (en majorité en karting 100 cm³), la puissance est obtenue en privilégiant davantage le régime maxi (jusqu'à 19 000 tr/min) que le remplissage du moteur, ce dernier étant limité par les règlements techniques.
Sur les 125, 250 et 500cc cm³ de GP,

où le régime est moindre, l'inclinaison des transferts a pour seul but le remplissage avec des jets horizontaux et des sections de lumières très grandes.

7 La face inférieure des transferts doit être adaptée à l'éventuelle convexité du ciel de piston. Un gabarit « collant » au profil du piston permettra de vérifier le raccordement (fig.7/11) et de noter des différences de quelques centièmes en plus de s'assurer de la symétrie du profil. Les deux transferts doivent être rigoureusement identiques, ce paramètre étant la base de toute préparation de ce niveau. Dans le cas où le piston n'entre pas précisément en correspondance aux faces inférieures, on observerait une brusque variation de la section idéale de l'écoulement. Si le piston se trouve au-dessus du bord inférieur (fig.8/11), il crée un obstacle qui engendre des turbulences en aval de la lumière. S'il se trouve en dessous, les jets conditionnés par l'effet Coanda se contrarieront à la surface du piston. Il en résultera un mauvais remplissage du moteur et un balayage médiocre. L'effet est cependant moins néfaste que dans le cas précédent. Dans les deux cas, les turbulences centrifugent les gouttes d'essence qui finissent sur les parois. Cette partie de la charge ne participe pas à la combustion, mais brûle lentement en générant des dépôts.

8 Le transfert de la troisième lumière (située en face de l'échappement) profite principalement de l'effet Coanda suivant lequel le jet sortant crée une dépression sur le cylindre. L'écoulement recolle à la paroi du cylindre en montant vers la chambre de combustion (fig. 10/11).
Grâce à cet effet, la partie postérieure du cylindre est bien balayée et les angles B et C des transferts latéraux peuvent donc être augmentés car ils n'ont plus à prendre en charge cette mission. Le fait qu'il se crée une dépression vers le haut permet de réduire la valeur de l'angle A. L'écoulement vers le haut de la troisième lumière aidera les flux latéraux à monter eux aussi (fig.11/11). Il n'est donc pas conseillé de toucher à l'inclinaison de la troisième lumière. Il suffit juste d'augmenter sa section en fonction des dimensions des lumières latérales. La présence de cette lumière est essentielle sur les moteurs équipés de clapets car elle permet une transmission directe de la dépression de l'échappement. L'ouverture des clapets s'en trouve anticipée, ce qui favorise le remplissage.

9 Des transferts de petites dimensions autorisent une vitesse de passage supérieure. Pourtant, ils sont plus adaptés aux moteurs routiers, plus souples. Les sections importantes conviennent mieux aux régimes élevés, au cours desquels l'écoulement devient quasi continu.
Sur les moteurs modernes, le nombre de lumières se multiplie. Ne tentez pas d'en ajouter, sauf si vous ne voulez utiliser votre moteur qu'au-dessus de 15 000 tr/min.

10 Il est possible de modifier le profil et les angles des conduits des cylindres en fonte grâce à un apport de matière à base de résine époxy haute température et de poussière d'alu. Il faut passer le tout au four à 200°C pendant une dizaine de minutes. Au préalable, on aura pris soin de bien dégraisser les surfaces et de les marquer suffisamment afin d'améliorer l'adhérence (photo.1/11 et fig. 12/11). Ces résines, qui résistent à l'essence, à la température et aux huiles, pourront ensuite être travaillées et polies, comme le métal de base.

11 Le diaphragme qui sépare deux conduits ne doit jamais être réduit à la taille d'une lame de couteau. En effet, même si l'écoulement est rapide et turbulent, sa vitesse est toujours inférieure à celle du son (320 m/s). Le meilleur profil est arrondi, les profils plus aiguisés sont à laisser aux avions supersoniques (fig. 13/11). De plus, un profil aiguisé divise le flux de façon trop brutale. La moindre inclinaison engendre alors une mauvaise répartition de la charge.

12 Les orifices pour la lubrification des roulements se trouvent à l'entrée des transferts. À cet endroit, les conduits seront modifiés comme indiqué fig.14/11, de façon à recueillir l'huile déposée sur la paroi et à introduire une turbulence favorisant l'apport de mélange vers cette zone.

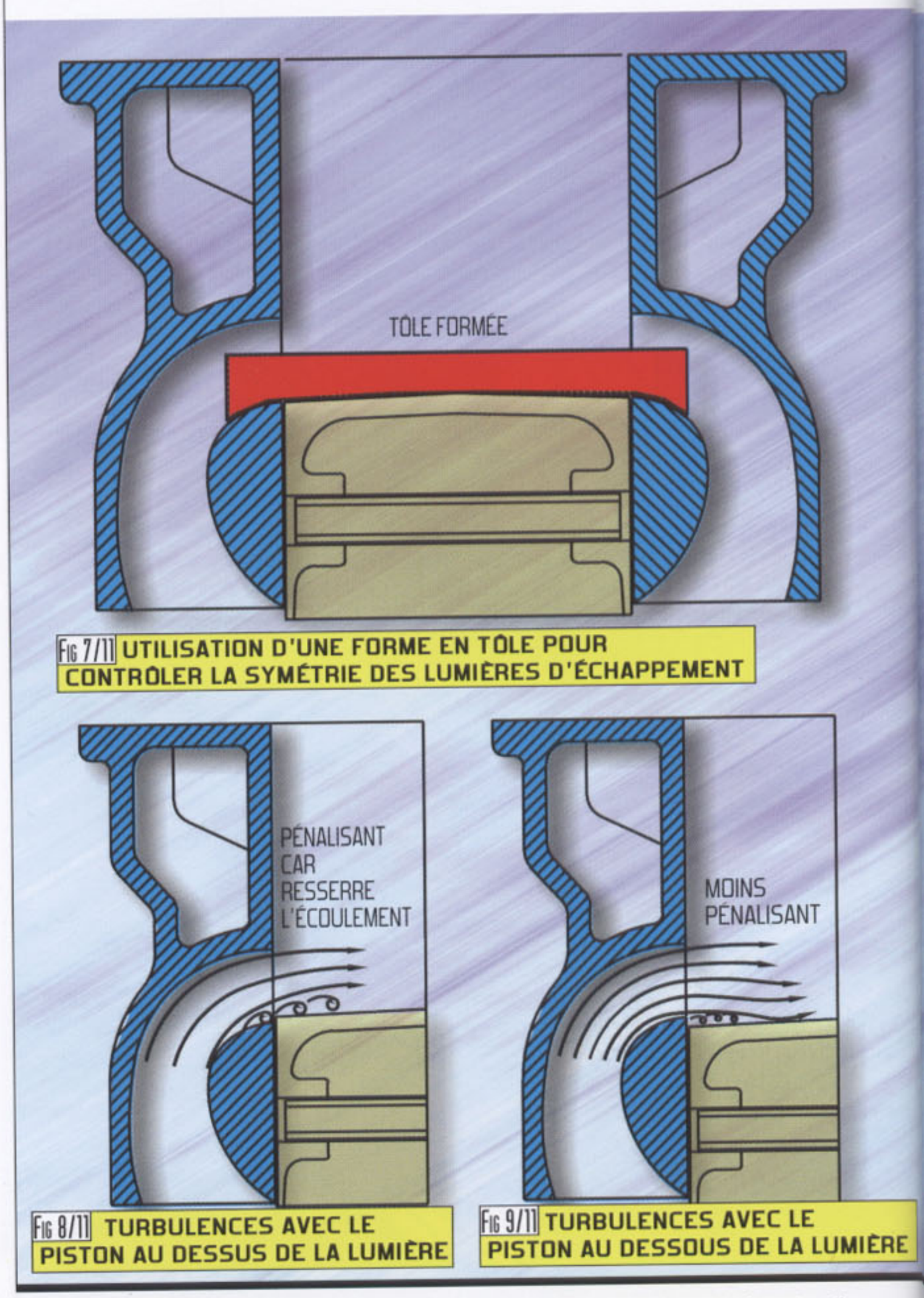


Fig 7/11 UTILISATION D'UNE FORME EN TÔLE POUR CONTRÔLER LA SYMÉTRIE DES LUMIÈRES D'ÉCHAPPEMENT

Fig 8/11 TURBULENCES AVEC LE PISTON AU DESSUS DE LA LUMIÈRE

Fig 9/11 TURBULENCES AVEC LE PISTON AU DESSOUS DE LA LUMIÈRE

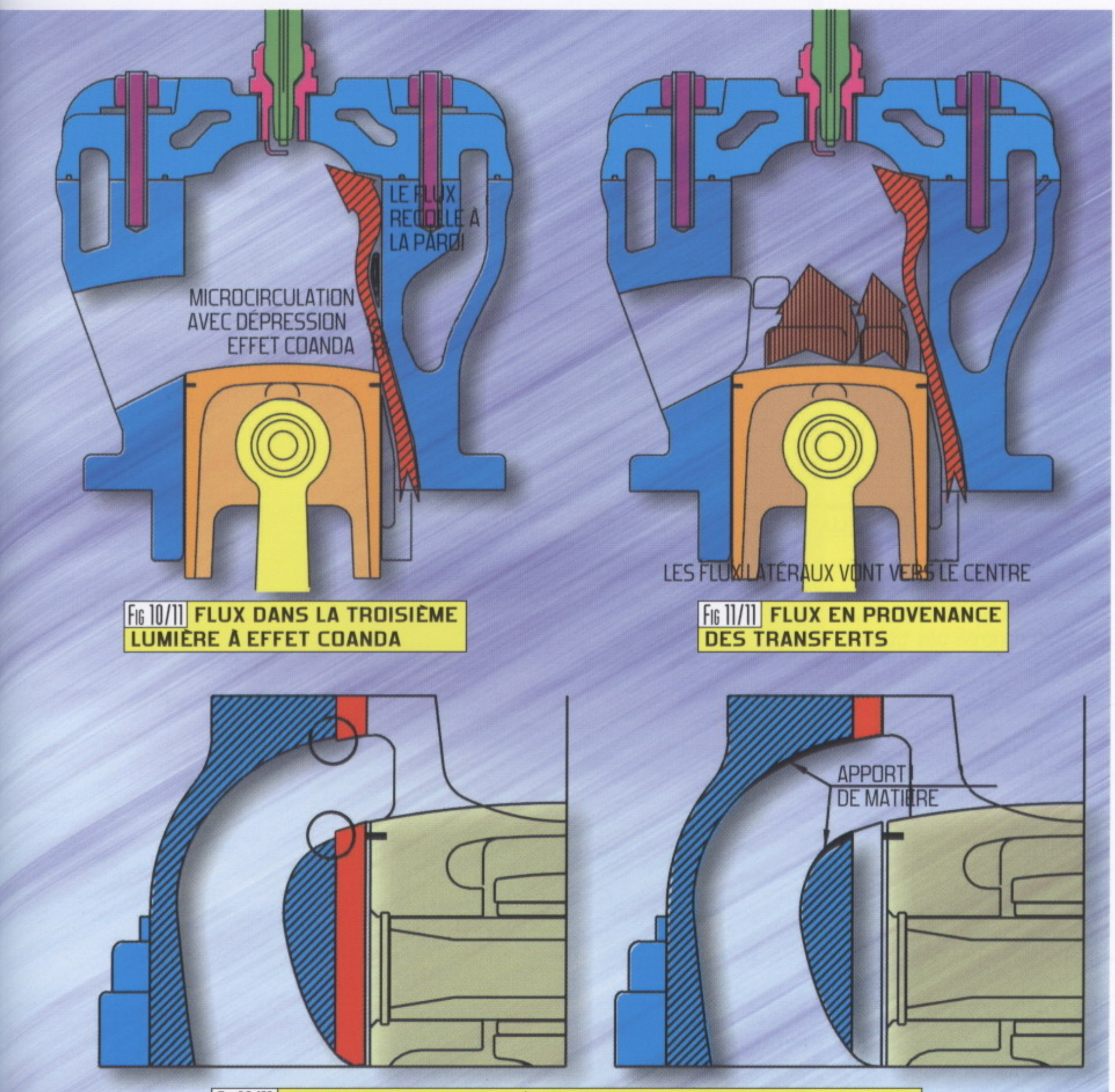


FIG 10/11 **FLUX DANS LA TROISIÈME LUMIÈRE À EFFET COANDA**

FIG 11/11 **FLUX EN PROVENANCE DES TRANSFERTS**

FIG 12/11 **REMPLISSAGE DE MATIÈRE ENTRE TRANSFERTS ET CHEMISE**

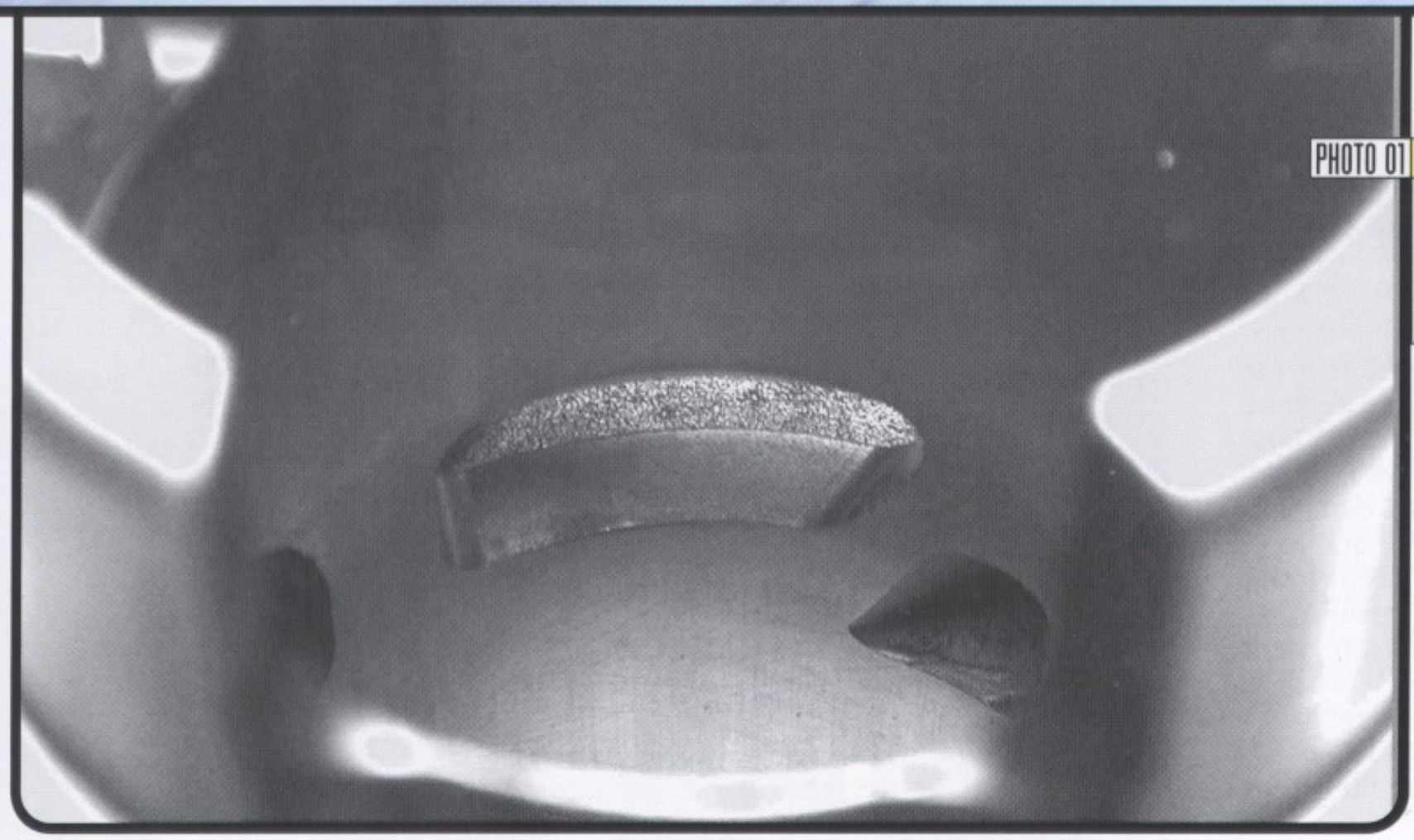


PHOTO 01 **TITRE LÉGENDE**

MISE EN CORRESPONDANCE DE LA LUMIÈRE D'ADMISSION AVEC LE CYLINDRE ET LA CHEMISE.

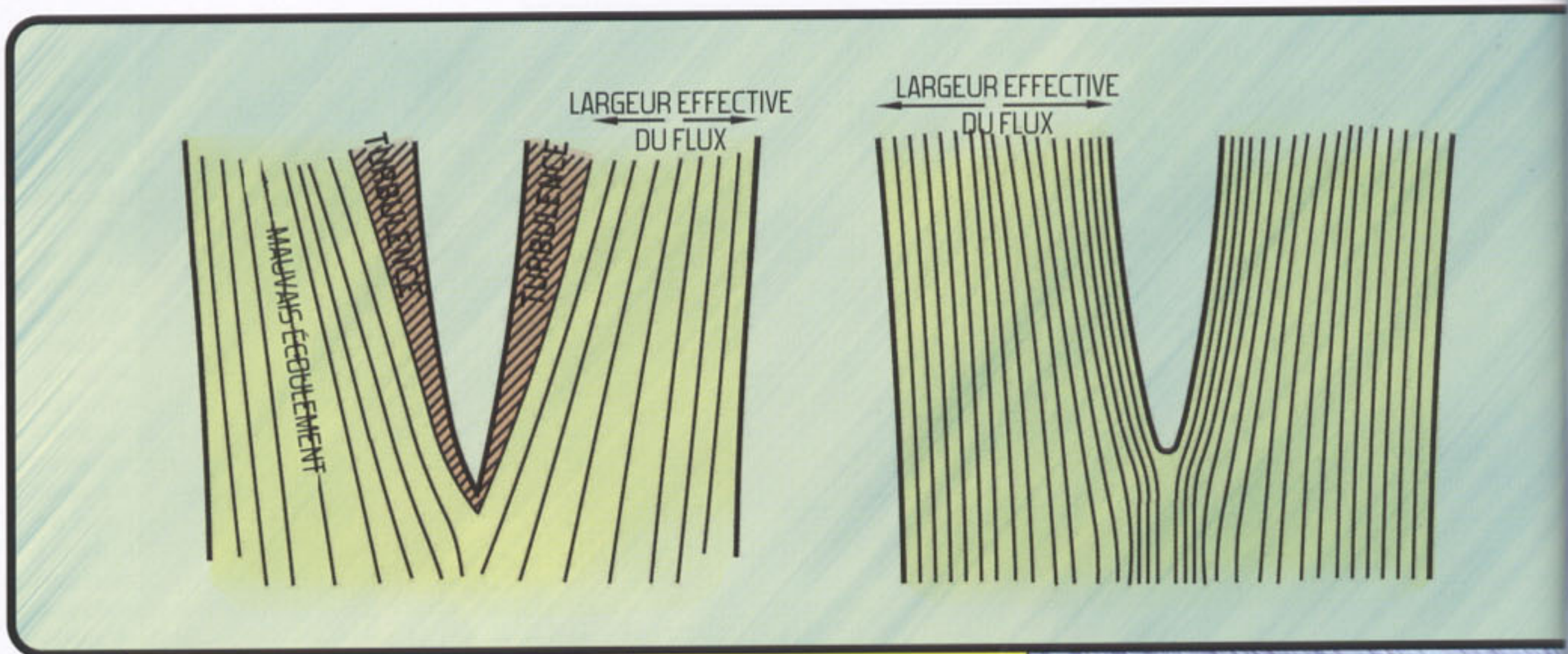


FIG 13/11 COMPARAISON DE DEUX FLUX À LA SÉPARATION DES TRANSFERTS

13 L'extrémité du cylindre qui entre à l'intérieur du carter doit toujours être arrondie et évasée. On limitera ainsi les turbulences à l'entrée des transferts (fig.15/11). Parfois, au PMB, la base du piston obstrue la section de passage. Modifier la base de la jupe en conséquence est souhaitable, mais risque néanmoins de fragiliser le piston (fig.16/11).

14 Il faut s'assurer que les joints d'embase ne mordent pas sur les sections des transferts et que cylindre et carter s'épousent parfaitement, y compris après le serrage. Un décalage d'un dixième de millimètre réduit à néant la qualité des raccordements.

15 Si vous n'avez pas l'expérience ou êtes indécis, ne touchez pas à la hauteur ni à l'inclinaison du dernier centimètre de conduit. L'outillage requis, en plus d'un bon coup de main, consiste en un jeu de fraises montées sur un flexible à air comprimé (type dentiste ou micromécanique). Ce travail demande beaucoup de patience et d'attention, mais le résultat est inégalable. Les zones moins accessibles pourront être travaillées à l'aide d'un appareillage ressemblant à celui de la figure 17/11.
Le risque majeur de ce genre de modification, outre une erreur dimensionnelle ou une cote « bouffée », est de faire une erreur angulaire et de ne pas modifier exactement les transferts de la même façon. Les moteurs y sont très sensibles. Il faut donc toujours utiliser un gabarit tel que celui décrit au point 7. Les constructeurs utilisent des moules de fusion très précis. Votre œil et votre main feront difficilement un travail aussi précis si vous n'avez pas une bonne expérience. Exercez-vous d'abord sur un vieux bloc de 103 SP avant de fusiller le kit HRC de vos rêves.

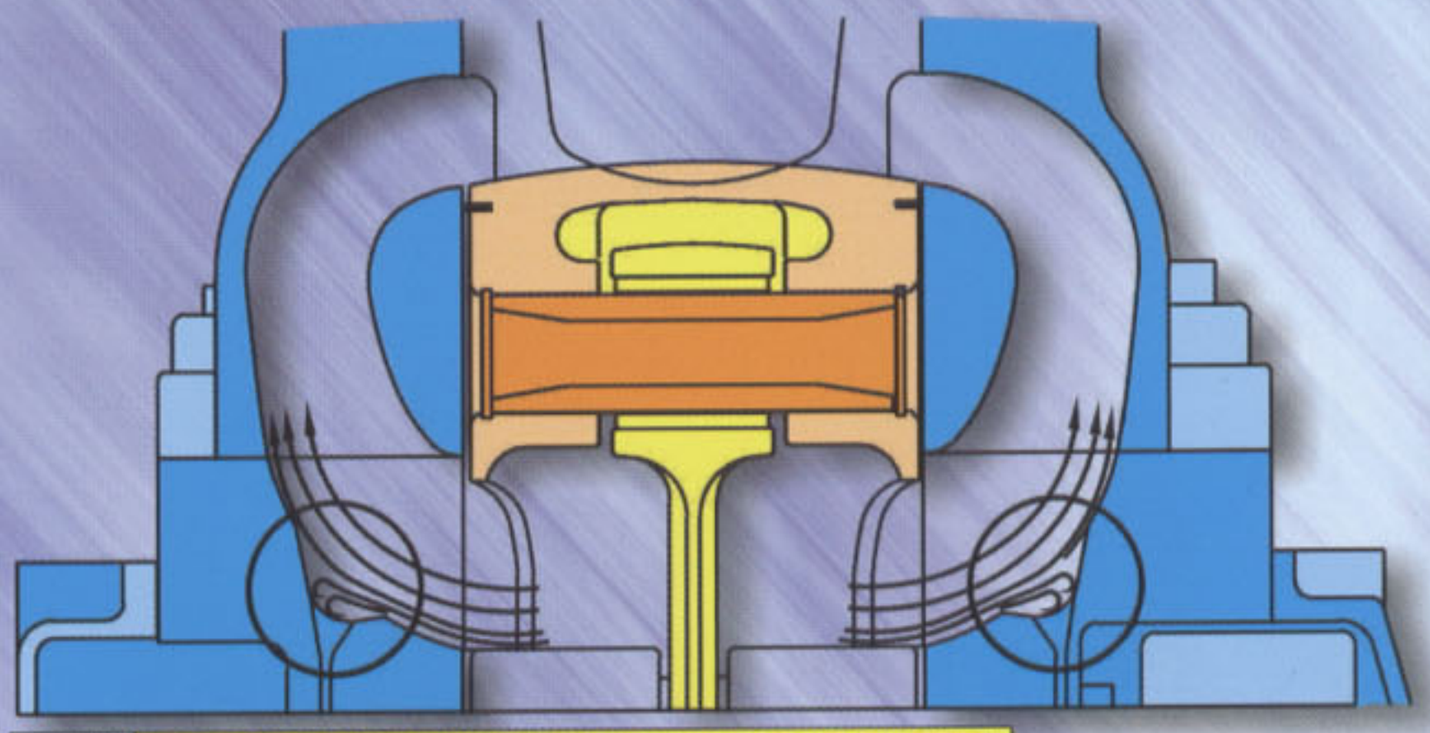


FIG 14/11 PASSAGES D'HUILE POUR LES COUSSINETS

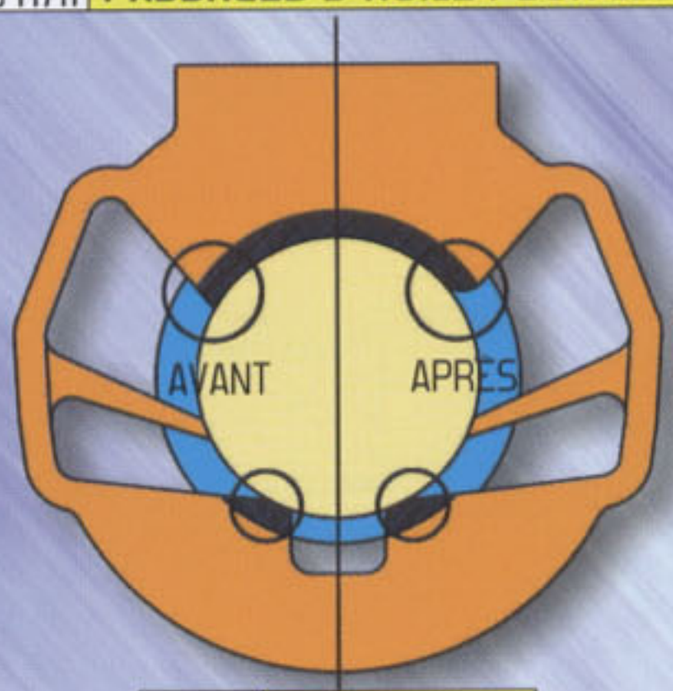


FIG 15/11 EBAVURAGE SOUS LE CYLINDRE

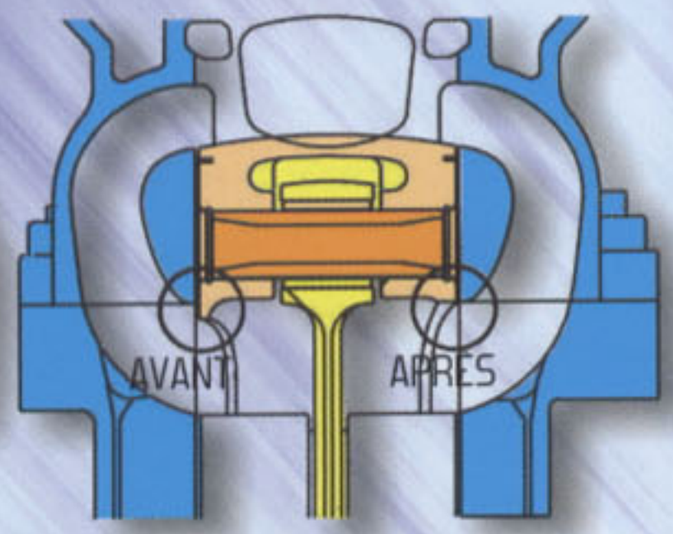


FIG 16/11 MODIFICATIONS À LA BASE DU PISTON

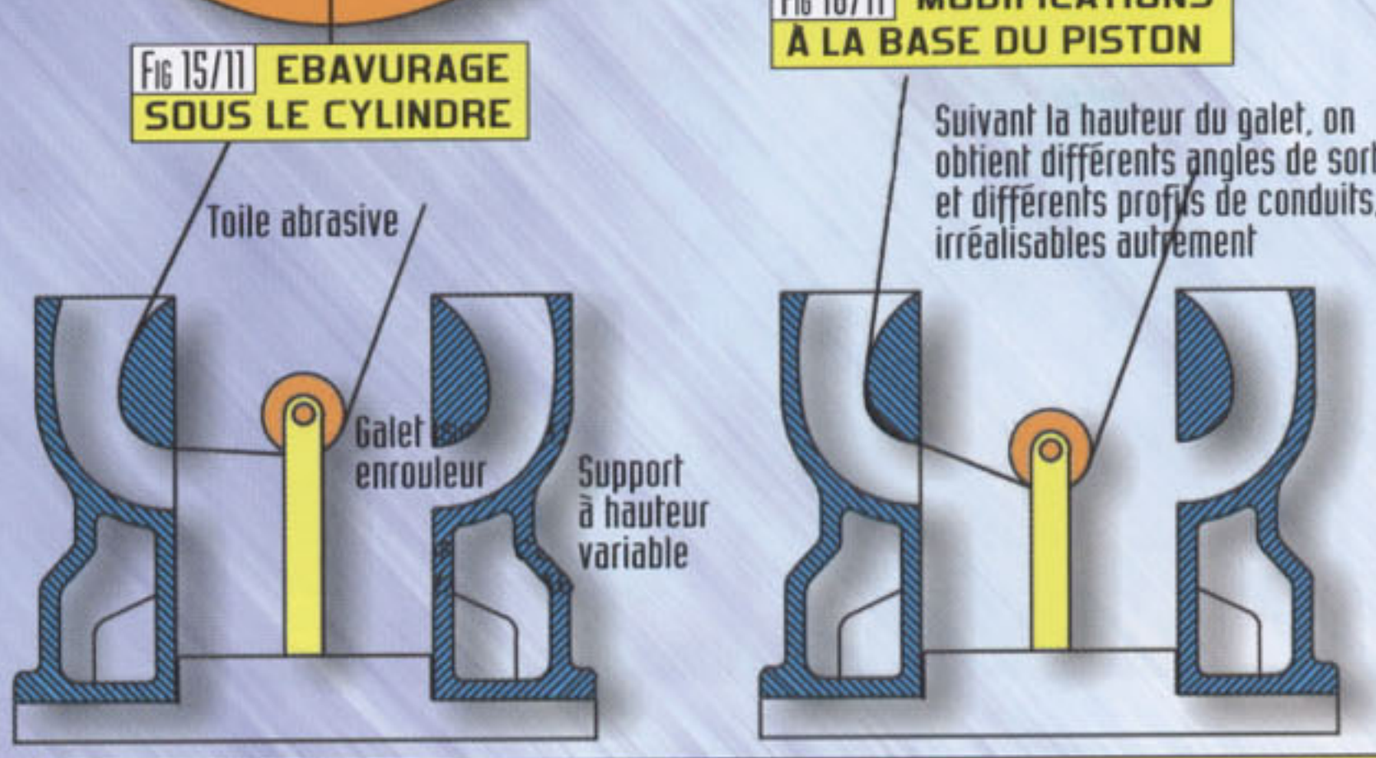


FIG 17/11 OUTILLAGE POUR MODIFIER LE PROFIL INTERIEUR D'UN TRANSFERT

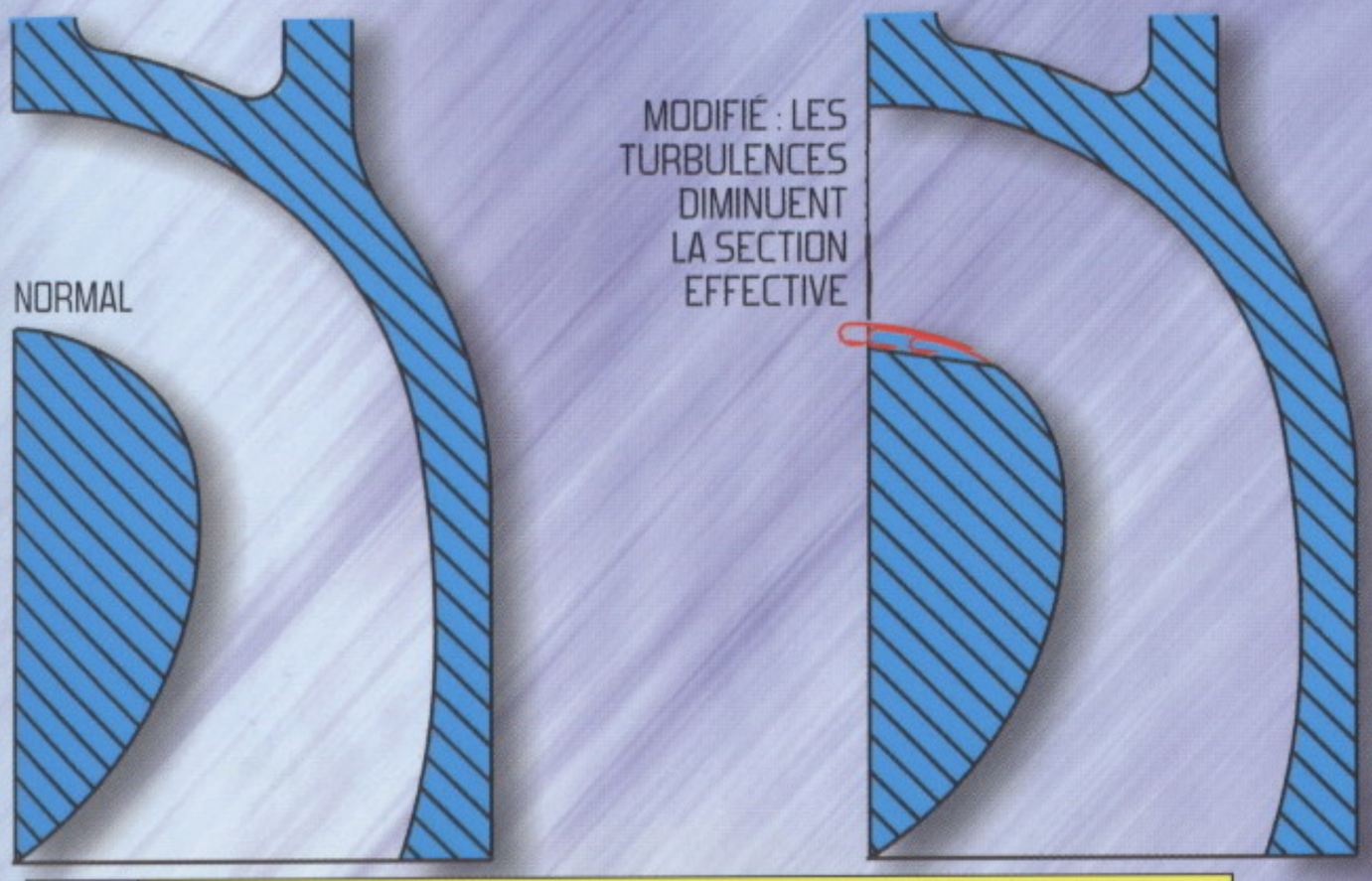


Fig 18/11 **LA LUMIÈRE MAL RETOUCHÉE SUBIT DES TURBULENCES. IL PASSE MOINS DE MÉLANGE.**

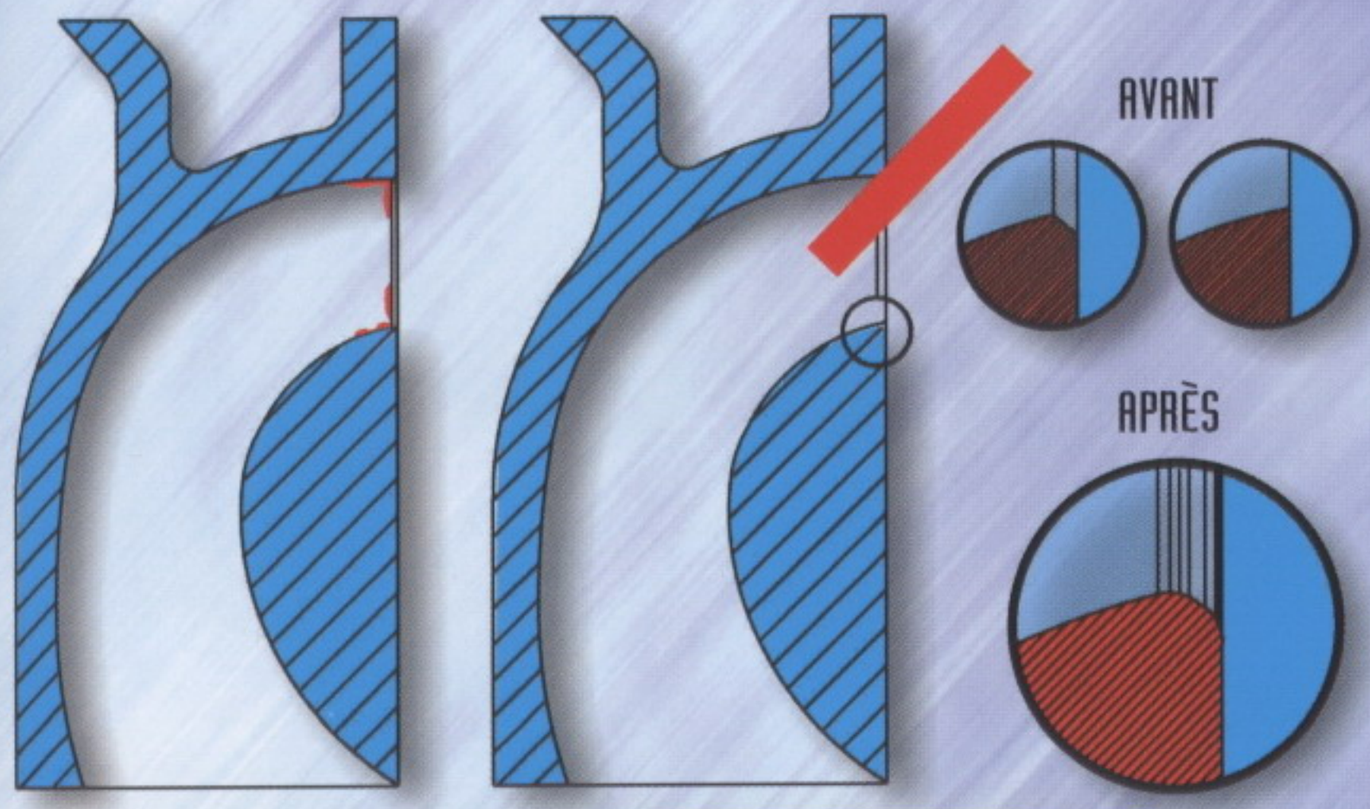


Fig 19/11 **RÉSIDUS**

Fig 20/11 **RÉALISATION D'UN RAYON AUX ANGLES DE SORTIE**

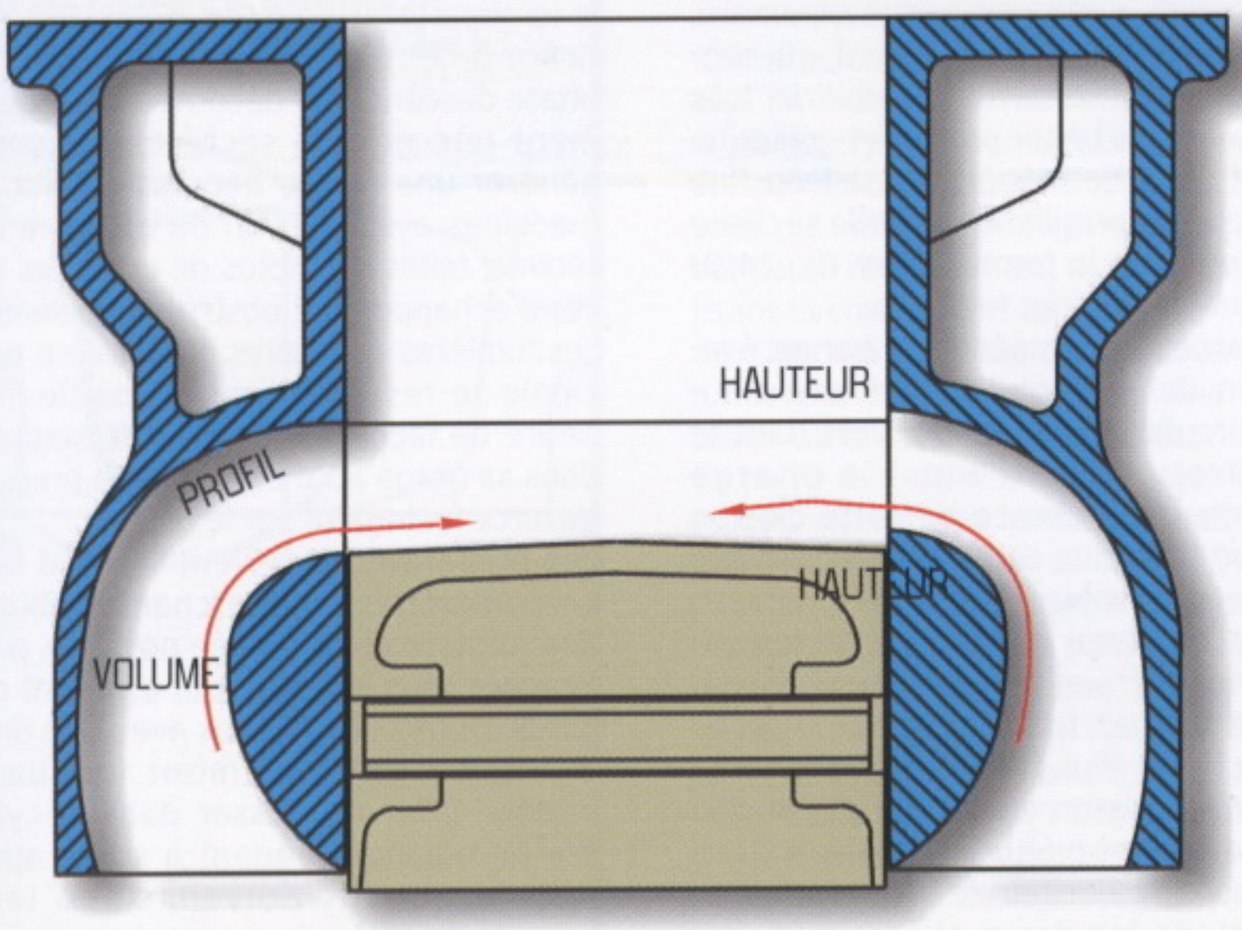


Fig 21/11 **CONTRÔLE DU PROFIL, DE LA HAUTEUR ET DU VOLUME D'UN TRANSFERT**

Une erreur classique est souvent constatée lorsque le cylindre est rehaussé par le biais d'une entretoise ou de joints multiples, afin de varier les phases et avancer ou allonger les ouvertures de transferts.
Dans la plupart de ces cas, la face inférieure des lumières d'admission est retouchée. Et là, soit l'angle de sortie est mauvais, soit la courbure des conduits est trop accentuée, ce qui induit une hausse des turbulences avant les lumières (fig.18/11).

16 Il faut systématiquement vérifier que les résidus de moulage à l'entrée des lumières ont bien été éliminés (fig.19/11). Le cas échéant, il faut arrondir l'angle de l'arête, même si un chanfrein destiné au segment a été prévu. La formation de vortex en aval de la lumière sera d'autant limitée (fig. 20/11).

17 Dernière chose et sûrement la plus importante, assurez-vous que formes, dimensions, inclinaisons, volumes et surfaces des transferts et des lumières de la partie droite sont absolument identiques à ceux de la partie gauche. Une erreur de symétrie se répète au niveau de l'écoulement dans le cylindre. La distribution du mélange est faussée et la combustion n'aura pas les qualités attendues (fig.21/11). Toutes les recherches ont montré que la puissance maximale pouvant être tirée d'un moteur dépend essentiellement d'un flux le plus uniforme possible remplissant la moitié du cylindre opposée à l'échappement. Si l'écoulement est asymétrique ou mal distribué, le remplissage et la puissance en souffriront automatiquement. Les restes de gaz de combustion pollueront le mélange en augmentant les risques de détonation. Leur température est très élevée et augmente celle de la charge entrante.
Pour que les vitesses soient elles aussi égales, la section et le volume des transferts doivent être identiques. Pour contrôler ces paramètres, il suffit de remplir de liquide les transferts une fois bouchés et de comparer les quantités introduites. Des gabarits vous permettront de contrôler les profils des conduits, mais il existe une autre méthode (fig.22/11). Elle consiste à introduire une pâte polyuréthane plastique que l'on retirera (avec un peu de patience) après solidification. Une fois coupées dans l'axe, il suffit de superposer les sections des deux côtés pour identifier les éventuels défauts de symétrie et de forme. Si vous n'êtes pas copain avec votre dentiste (le contraire est plutôt rare) pour vous procurer de la pâte à empreinte dentaire, vous pouvez vous rabattre sur du Devon Flexueux 30 ou éventuellement sur du silicone standard, mais mieux vaut ne pas être pressé.

Plus simplement, on pourra procéder à l'examen visuel des dépôts sur le ciel du piston après une période de fonctionnement (photo 2/11). Un dépôt non uniforme entre les deux côtés trahira une mauvaise distribution de la charge. L'accumulation de dépôts et de calamine dépend de la qualité de combustion des gouttes les plus grosses qui tendent à circuler sur le bord inférieur du flux entrant. Dans les cylindres à chemise rapportée, cette dernière peut être positionnée avec un léger décalage angulaire (fig.23/11). Dans ce cas, même si l'écoulement n'interfère pas avec la position des transferts, la distribution des résidus de combustion formera toujours un angle avec l'axe du piston.

18 Enfin, ne vous laissez pas tenter par un élargissement inconsidéré des lumières, en ne laissant entre elles qu'une faible quantité de matière. À chaque cycle, la pression agissant sur le piston agit aussi sur la culasse comme pour l'éloigner du bas moteur. S'il n'y a pas assez de matière entre les lumières, des déformations ou des fissures peuvent apparaître.

LE BALAYAGE

Par le passé, le balayage était la préoccupation principale des motoristes. La charge fraîche entrante devait chasser les restes de la combustion précédente.
Encore aujourd'hui, de nombreuses personnes pensent que cette phase est primordiale. En fait, à moins que les dimensions relatives à l'échappement dans son ensemble soient mauvaises, il reste très peu de gaz de combustion dans le cylindre sur la plage de régime utile du moteur. Aujourd'hui, la tendance s'est inversée grâce à l'efficacité des échappements modernes. Priorité est donc donnée au remplissage du moteur.

LES LUMIERES D'ECHAPPEMENT

Il y a quelques années, on augmentait démesurément la taille de cette lumière, en cherchant à évacuer le plus de gaz possible. On privilégiait donc la taille de la lumière plutôt que la ligne d'échappement. La découverte et l'étude poussée du fonctionnement des pots de détente a eu pour conséquence une réduction des dimensions de cette lumière.
Si sa section et celle du collecteur sont trop grandes, il n'y a qu'une brusque chute de pression accompagnée d'une brève dépression dans le cylindre, trop rapide en tout cas pour permettre une bonne évacuation des gaz brûlés. Surtout, l'onde de retour créée est tellement brève qu'elle n'est utilisable qu'à haut régime.
Ensuite, la cloison qui divisait la lumière d'échappement en deux conduits très courts a disparu. Elle n'existe encore que sur les moteurs de compétition très poussés sur lesquels les lumières sont démesurées, y compris à l'échappement. Cette paroi évite simplement au segment de rentrer dans ces lumières très larges et de se briser par l'effet guillotine du piston. Si cette cloison est trop fine (moins de deux millimètres), elle se dilate sous l'effet de la température (fig.24/11) et risque de bloquer le piston.
Trop large, elle empêche la bonne évacuation des gaz et entraîne une nouvelle circulation de ces derniers dans le cylindre, polluant ainsi la charge entrante. La présence de cette cloison rend un peu plus complexe l'étude des systèmes de valve à l'échappement.
Un bon système de valve à l'échappement ne contraint pas seulement l'écoulement des gaz, mais fait varier la durée de la phase. Plus il se rapproche de la section du piston et de la lumière d'échappement et mieux il travaille.
On trouve majoritairement aujourd'hui une grande lumière ovale assistée par deux petites lumières auxiliaires surnommées "boosters", normalement situées au niveau de la partie haute de la lumière principale (fig.25/11).
Grâce à cette architecture, le piston en phase descendante découvre immédiatement une grande section de façon à générer une rapide dépression. Sur les machines ayant besoin de couple à bas régime, telles les motos de cross, les valves d'échappement obstruent également ces lumières auxiliaires. La lumière principale se resserre dans sa partie inférieure de façon à repousser le segment dans sa gorge au moment où la pression s'exerce fortement sur le piston.
Les préparateurs doivent souvent faire un compromis en cherchant à obtenir une lumière la plus large possible, pour évacuer tous les gaz, tout en ayant des dimensions compatibles avec une onde de retour suffisamment longue et intense pour repousser dans le cylindre le mélange tendant à sortir après le balayage. Ils doivent aussi tenir compte de la durée de vie du segment, dépendante en partie de la forme des

FIG 22/11 CONTRÔLE DU PROFIL

LE DÉPÔT DE CALAMINE EST DIFFÉRENT SELON LE PROFIL DES TRANSFERTS

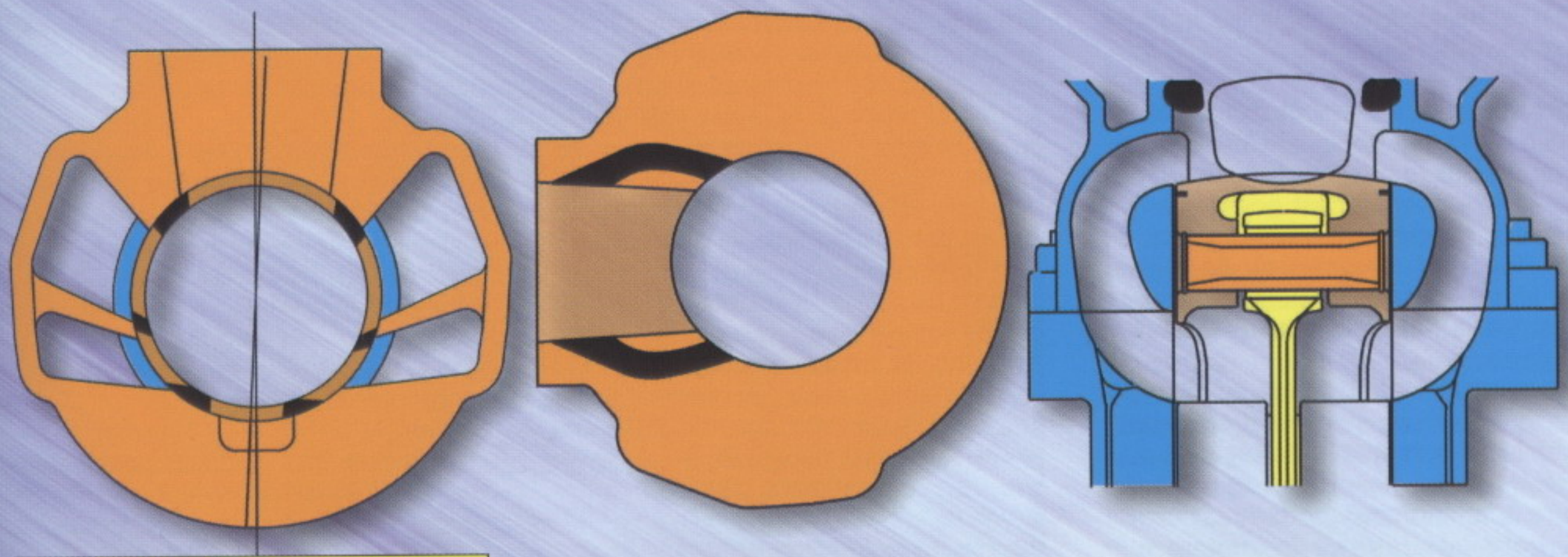


FIG 23/11 MAUVAISE MISE EN PLACE D'UNE CHEMISE RAPPORTÉE

FIG 25/11 LUMIÈRE D'ÉCHAPPEMENT SECONDAIRES (BOOSTERS)

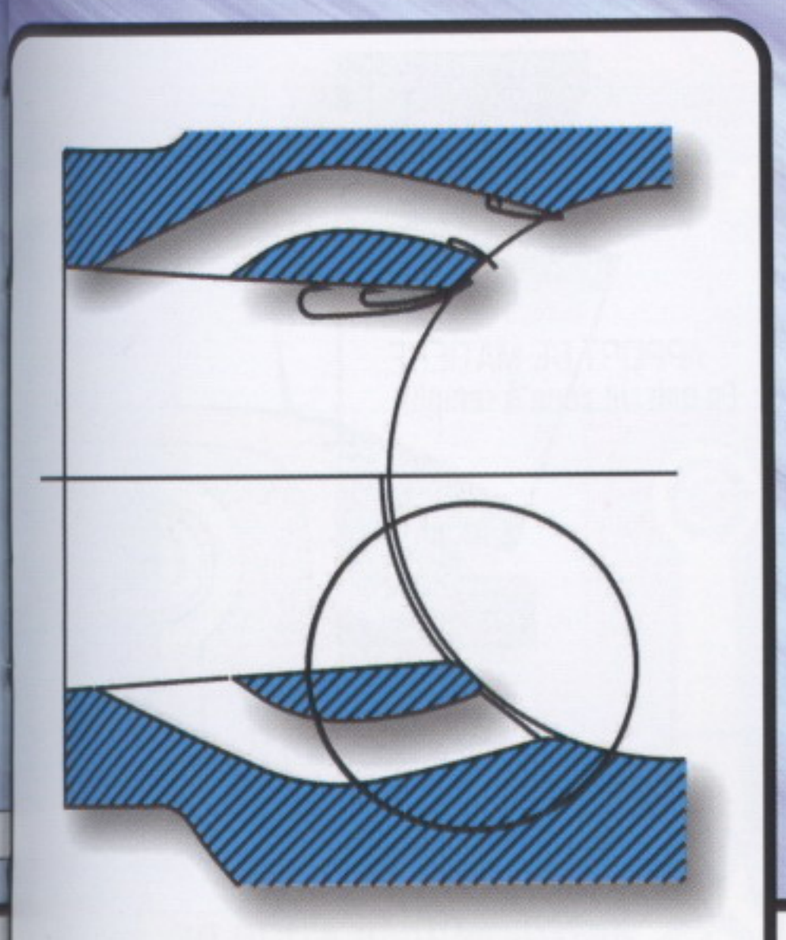


FIG 26/11 ÉBAVURAGE ET MISE AU RAYON DES BORDS DE LA LUMIÈRE D'ÉCHAPPEMENT

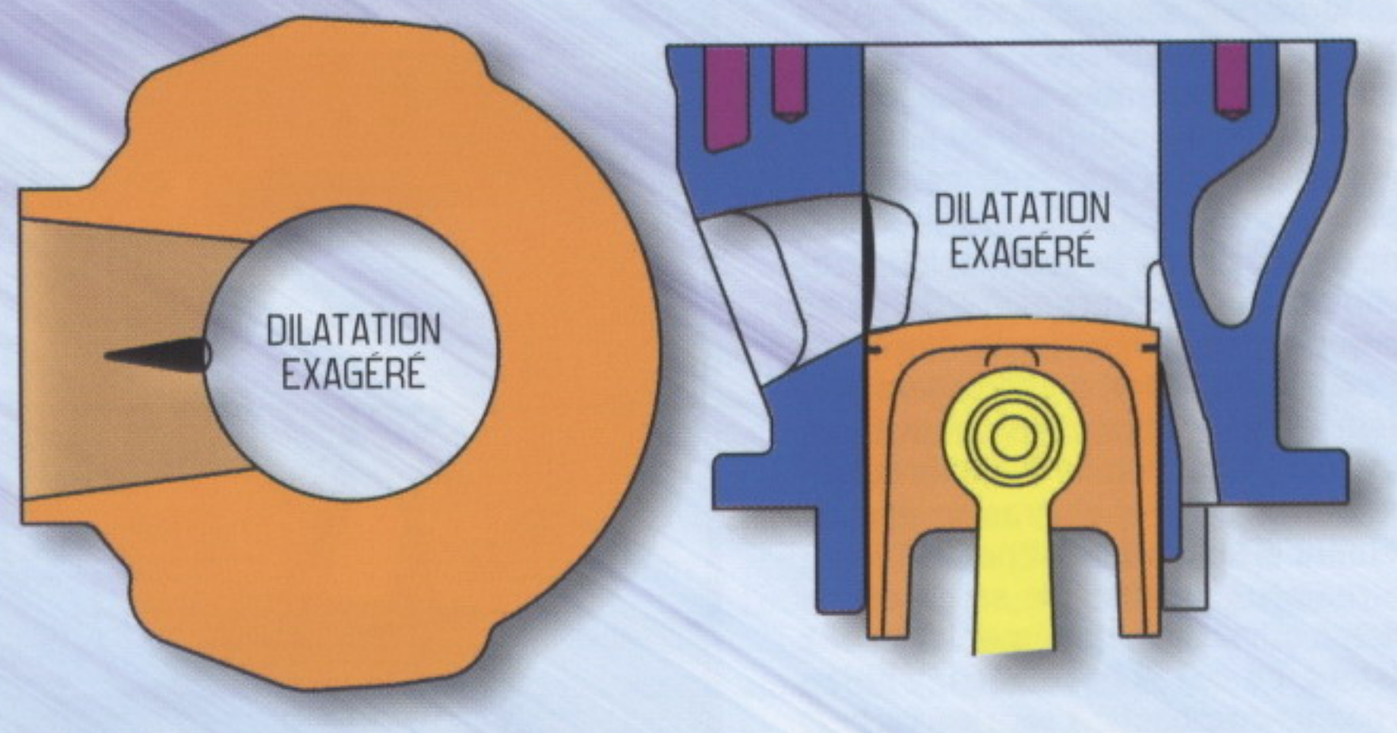


FIG 24/11 DILATATION DU CONDUIT D'ÉCHAPPEMENT

lumières. Élargir la lumière d'échappement offre toujours un gain de puissance sur toute la plage, sans pénaliser aux bas régimes. Par contre, prolonger la phase d'échappement en augmentant la hauteur de la lumière, déplace la plage utile du moteur en augmentant la puissance au régime maxi, mais en en pénalisant la courbe en bas.

Sur les moteurs de compétition où la lumière d'échappement est énorme, la plage utile est de 3 à 4000 tours à partir de 10 000 tr/min. L'utilisation de tels moteurs n'est pas facile et demande de bonnes capacités de pilotage. Donc, si l'usage du moteur ne se limite pas à la piste, il vaut mieux ne pas avoir la main trop lourde sur le flexible.

Le recours aux valves d'échappement a permis de gagner à bas régime. Ces valves ne dispensent pas d'une correspondance parfaite entre chambre de résonance et passages. Ces systèmes constituent tout de même un obstacle pour l'écoulement des gaz brûlés. Dans l'autre sens, ils s'opposent également au retour des ondes de pression.

Néanmoins, toutes proportions gardées, c'est souvent grâce au couple qu'on gagne les courses, et non pas avec la puissance maxi. Et ce résultat ne s'obtient qu'avec ces valves.

Après l'éventuelle intervention sur les dimensions de la lumière principale, l'autre travail important consiste à arrondir les angles vifs dans le but de sauvegarder le segment et de limiter également l'apparition de turbulences en aval de la sortie (fig.26/11).

En intervenant ainsi sur les angles vifs, on limite également les points chauds susceptibles d'être à l'origine d'un auto-allumage ou d'une dilatation excessive.

Si la température augmente encore, la lubrification peut devenir critique à cet endroit, zone la plus chaude d'un moteur deux temps. Un angle vif qui se dilate un temps soit peu est très dangereux pour la longévité du piston, surtout sur un moteur en cours de rodage.

Ce n'est pas un hasard si la majorité des serrages sont en correspondance avec cette zone.
Lors de l'agrandissement d'une lumière d'échappement, principale ou auxiliaire, il vaut mieux rester dans la partie haute. En effet, le segment est poussé par les gaz d'échappement vers la paroi du cylindre. Il est donc plus sûr de conserver le rétrécissement des sections pour éviter que l'anneau n'entre dans les lumières.
A la remontée, la situation du segment est tout autre, puisqu'il n'est en contact avec le cylindre que par sa seule élasticité. Un effort moindre est donc nécessaire pour le repousser dans sa gorge.
Le bord inférieur de la lumière d'échappement doit être aligné avec la surface du piston au PMB. Il est inutile d'avoir une section de lumière d'échappement grande si elle n'est pas entièrement utilisée.
Si le piston n'atteint pas le bord inférieur de la lumière d'échappement, la phase sera plus courte, puisqu'il la refermera plus tôt. Sur les moteurs très poussés, ces dixièmes de millimètres peuvent avoir des conséquences énormes.
Par ailleurs, il est inutile d'être équipé d'une belle paire de boosters si leur profil comporte des courbes à 90° et de brusques changements de diamètre (fig. 27/11). Là encore, on accordera correctement les sections des conduits en fonction de la section de la lumière auxiliaire. Inutile en effet d'agrandir inconsidérément si la lumière est petite.
Assurez-vous que lors de sa descente, le piston ouvre simultanément les deux boosters. Le cas échéant, l'évacuation des gaz de combustion sera perturbée.
Il existe une astuce très simple pour effectuer ce type de contrôle. Il suffit de se procurer deux petites ampoules semblables à celles de l'arbre de Noël ou d'un tableau de bord. En mettant à profit la conductibilité électrique du piston et du cylindre, il devient facile de vérifier la simultanéité de l'ouverture des lumières et même d'apprécier leur parallélisme par rapport au ciel de piston.
Comme toujours, il est possible de vérifier cette propriété géométrique par l'examen du piston. Un cylindre bénéficiant d'une bonne symétrie de conduits sera caractérisé par un dépôt uniforme.
Dans la première partie de l'échappement, il est facile de se rendre compte d'éventuels problèmes de forme.
Si après avoir fait tourner le moteur un moment, vous vous apercevez qu'il y a dans la première partie de l'échappement des points plus encrassés qu'ailleurs, c'est que l'écoulement des gaz est perturbé à ces endroits. Dans ces zones, il y a des turbulences et des chutes de vitesse des gaz d'échappement. Soit il faut éliminer un relief en amont de ces points, soit ils sont dans un creux et il faut les boucher par apport de matière (fig.28/11).

D'autre part, si la lumière a été agrandie, l'orifice dans lequel s'emmanche le collecteur doit l'être en conséquence. Bien souvent, on observe à cet endroit un étranglement : la surface de la section totale de la lumière principale et des boosters est supérieure à celle du diamètre du collecteur. Or, même en désirant une forte réponse de la détente, la surface de l'orifice du collecteur doit être au moins égale à l'aire totale des lumières.
En outre, la lumière d'échappement ne devrait jamais avoir une largeur excédant 70 % de l'alésage (fig.29/11). Si cette valeur est dépassée, la durée de vie du segment sera très courte. Le rayon de raccordement de la partie inférieure de la lumière doit être égal à 1/5ème de l'alésage. Il n'est pas rare de voir des rayons beaucoup plus petits, au détriment de la longévité du segment.
Sur les moteurs remis à neuf après chaque course, le pourcentage peut atteindre 72 % maximum. Bien évidemment, la probabilité de casser est plus élevée.
Pour éviter d'en arriver à parier sur la survie du moteur, la lumière d'échappement des cylindres de compétition est divisée en deux par la mince cloison décrite précédemment.
Pour calculer la surface d'une lumière, ne tenez compte que de sa projection plane (fig. 30/11) et pas de la circonférence interne du cylindre.
Suivant le principe de "mismatching", on empêche les gaz d'échappement de revenir en arrière en créant une marche de quelques millimètres sur le conduit de sortie. Spécialement dans la partie basse où la vitesse de l'écoulement est plus faible, cette marche bloque les gaz poussés en sens inverse par l'onde de contre-pression.

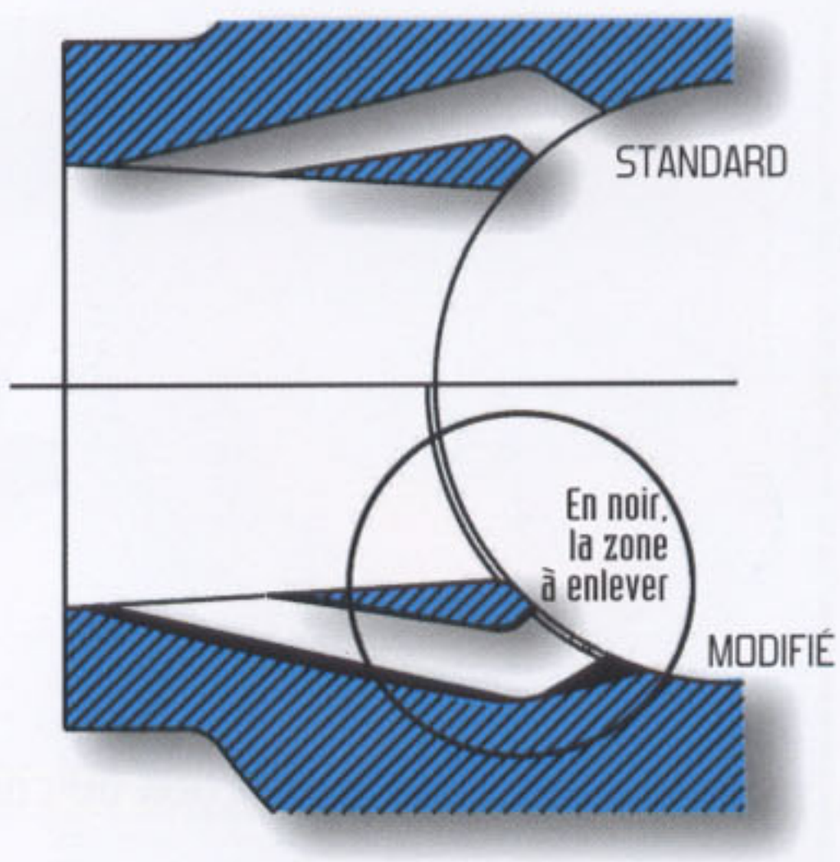


Fig 27/11 **MODIFICATION DES BOOSTERS**

Fig 28/11 **MODIFICATION DE LA LUMIÈRE PRINCIPALE**

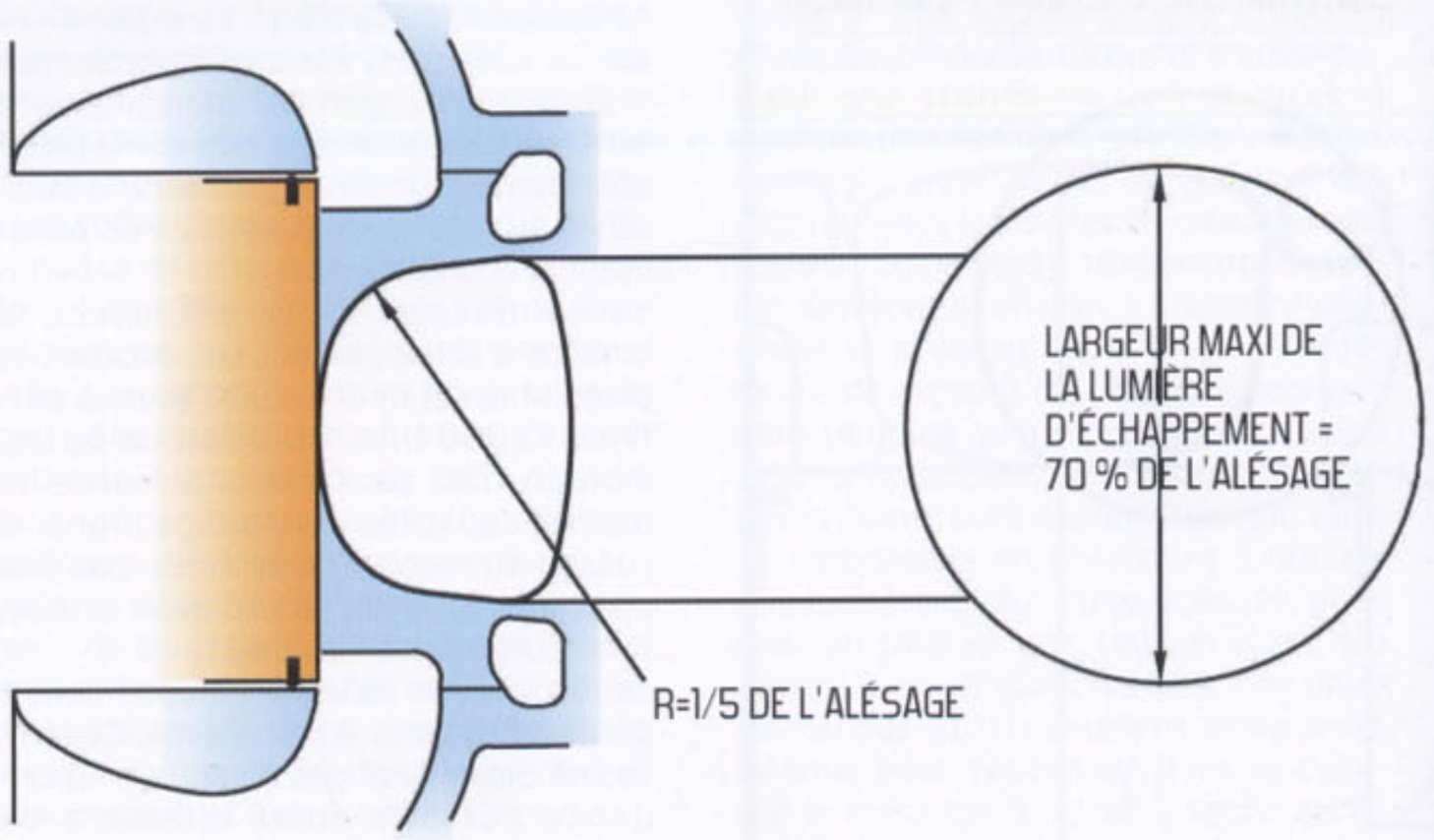


Fig 29/11 **LARGEUR MAXIMALE DE L'ÉCHAPPEMENT**

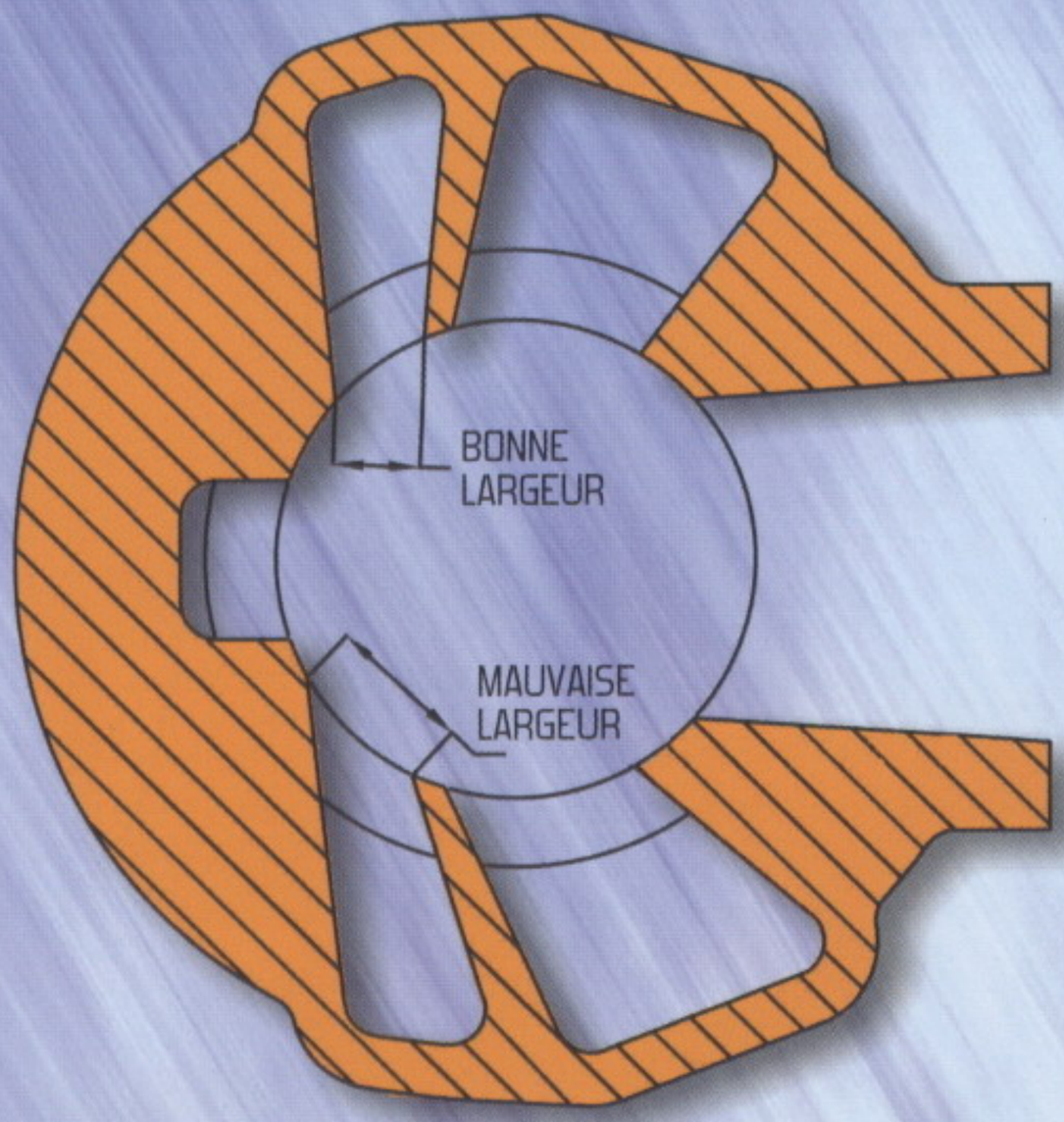


FIG 30/11 **MÉTHODE DE MESURE DE LA LARGEUR D'UNE LUMIÈRE**

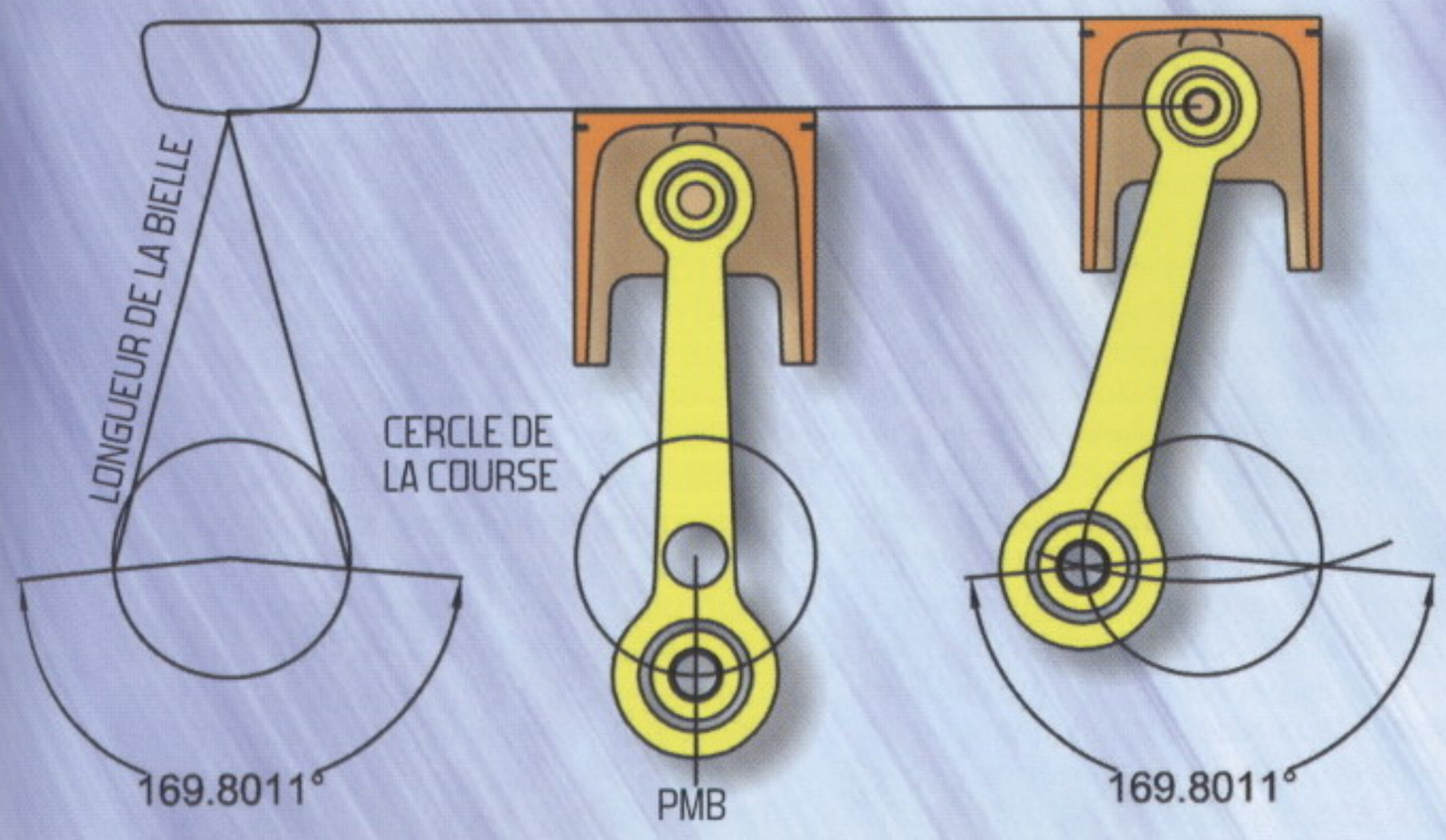


FIG 31/11 **CALCUL GRAPHIQUE DE LA PHASE D'ÉCHAPPEMENT**

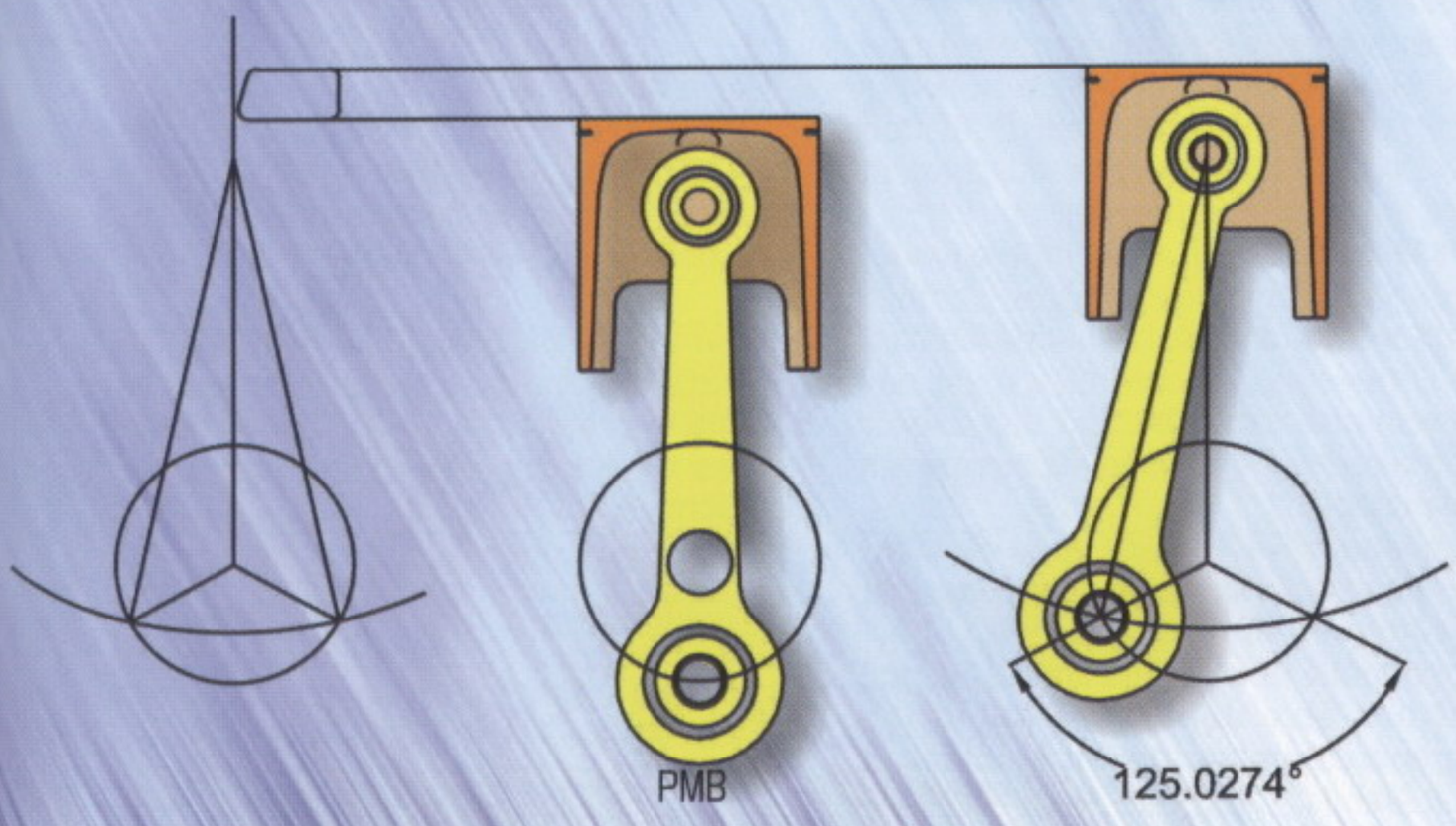


FIG 32/11 **CALCUL GRAPHIQUE DE LA PHASE DE TRANSFERT**

COMMENT DEFINIR LE DIAGRAMME DE DISTRIBUTION

Avant de le modifier, il est utile de connaître la distribution existante.
Pour trouver les valeurs, on utilise le goniomètre après dépose de la culasse. En déplaçant le piston dans le cylindre, on mesure les angles nécessaires au parcours de chaque lumière.
La phase d'admission et de transfert peut poser problème si elle a lieu par des fentes dans la jupe de piston. Il suffit alors de retirer le collecteur d'admission pour prendre la mesure.
Dans un souci de clarté, il est souhaitable de faire un schéma des différentes phases où les valeurs relevées seront notées (fig.31-32/11).
L'utilisation d'un logiciel de CAO peut s'avérer utile. En effet, la précision des valeurs angulaires sera mieux restituée. Ce programme vous donnera les centièmes de degré. Cependant, il n'y a que vous pour prendre les mesures précisément. Si vous vous en tenez au papier et au crayon, dessinez toutes les pièces à l'échelle 1/4 : le piston et ses éventuels passages, le cylindre et ses lumières, l'axe de piston, la longueur exacte de la bielle et enfin le cercle parcouru par la tête de bielle.
Pour chaque point représentant une ouverture ou une fermeture de lumière par le piston, il faut reporter la longueur de bielle le long du cercle à l'aide d'un compas.
Dans le cas d'une admission contrôlée par le piston, n'oubliez pas que c'est le bord inférieur de ce dernier qui gère le début et la fin de phase.
En reliant les points au centre, on obtient des angles symétriques par rapport au PMH et au PMB.
On observera un profil asymétrique à l'admission uniquement dans le cas d'une distribution par disque rotatif.
Avec un rapporteur d'angles, vous reporterez les phases et les hauteurs désirées. Vous aurez alors sous les yeux la représentation complète de vos nouvelles lumières.
Lors de la prise de mesure sur le cylindre, il faut tenir compte de la distance entre le piston au PMH et le plan supérieur du cylindre dans le cas. Mais cette opération est plus facile à faire qu'à décrire.
Il existe sur le marché un rapporteur d'angle électronique très sophistiqué qui se fixe sur le vilebrequin et permet d'obtenir toutes les phases au dixième de degré. Mais le prix de cet appareil ne le rend pas vraiment à la portée de toutes les bourses.
Il est effarant de constater qu'un grand nombre de personnes tentent tout et n'importe quoi pour gagner de la puissance sans essayer d'abord de faire varier le diagramme. Bien sûr, il n'existe pas de règle absolue concernant les variations à apporter car chaque moteur, à ce niveau de précision, est différent.

Dans la mesure ou de nombreux règlements interdisent la modification des lumières, il ne reste plus qu'à procéder à des essais en faisant varier l'épaisseur du joint d'embase. Plus le joint est épais et plus le cylindre est haut. Si la hauteur atteinte par le piston ne varie pas, les lumières d'échappement et d'admission s'ouvrent plus tôt. La plage du moteur est alors déplacée vers le haut.
Cette méthode comporte trois défauts principaux : le taux de compression est plus bas, le squish est plus haut et parfois, le piston ne découvre pas totalement toutes les lumières.
Dans la configuration inverse, où le joint d'embase est plus fin, les effets s'inversent également. Là encore, une épaisseur de joint donnée peut parfaitement fonctionner sur un moteur et ne pas convenir à un autre théoriquement identique.

MODIFICATIONS DU DIAGRAMME ET DES DIMENSIONS DES LUMIERES

Il s'agit d'un paragraphe important puisque son but est de clarifier quelques points concernant les dimensions des lumières et leurs effets sur la courbe de puissance. Le passage des fluides d'admission et d'échappement à travers le moteur est conditionné par ces valeurs. Généralement, un élargissement des lumières conduit à une hausse de puissance sans trop influencer les régimes utiles. Des modifications sur un plan vertical induisent elles aussi une hausse de la puissance mais surtout, la plage utile est réduite et déplacée vers le haut.
Dans l'hypothèse la plus probable où vous n'êtes pas en train de concevoir un moteur mais simplement de le modifier, il vous faudra tenir compte de la matière que vous pourrez enlever dans les conduits tout en préservant la convergence à l'admission et la divergence à l'échappement. Cette matière conditionne les dimensions maximales que peuvent atteindre vos lumières.
En dépassant cette limite, les conduits auront un profil rectangulaire ou biconique (fig.33/11). Les fluides seront ralentis au point que le résultat risque d'être inverse à l'effet souhaité.
Il faut garder à l'esprit que l'objectif est d'obtenir une charge la plus conséquente possible en même temps qu'une vitesse optimale. Un conduit de 100 cm^2 sur moteur de 125 cm^3 peut toujours contenir une charge monstrueuse, mais si la vitesse est trop faible, le fonctionnement même du moteur sera remis en cause. Inversement, le fluide passant dans une section d'1cm^2 aura une vitesse très élevée, mais la charge ne pourra pas être augmentée.
Ainsi, un certain équilibre est à respecter pour réussir à conjuguer vitesse élevée et charge importante. Par ailleurs, la distance entre chaque transfert doit être suffisante pour garantir un maximum de surface d'appui au segment.

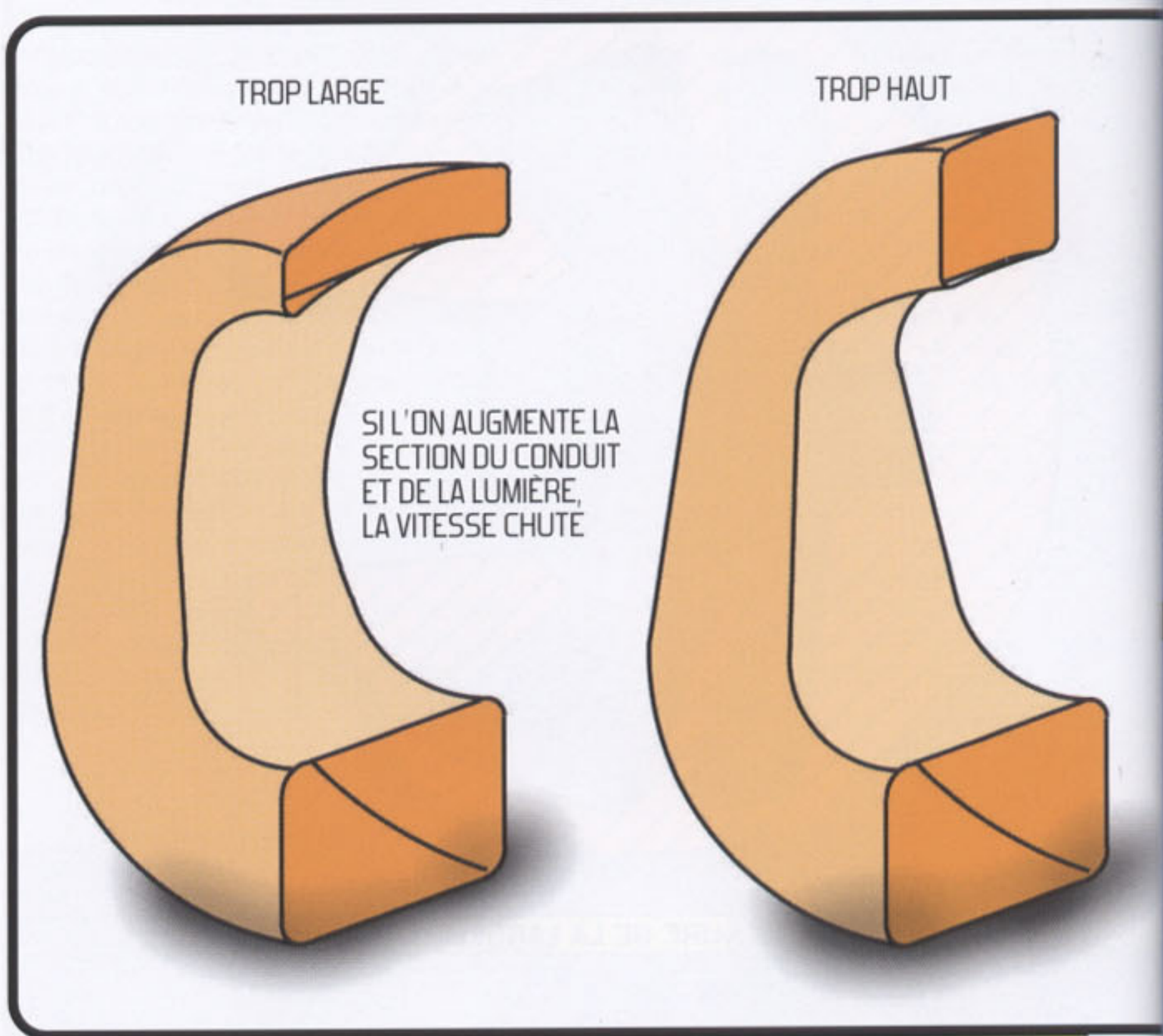


FIG 33/11 MAUVAIS ÉLARGISSEMENT DES TRANSFERTS ET DES LUMIÈRES

Si les transferts sont proches de la lumière d'échappement, il faut s'assurer qu'il reste au moins trois millimètres de matière entre eux et cette lumière. On évitera alors d'éventuelles dilatations dangereuses pour le piston. En résumé, il est impossible de transformer un cylindre en gruyère. Les agrandissements en tout genre mettent sa résistance mécanique à rude épreuve dans un plan vertical. Et une rupture horizontale peut être envisagée sur un cylindre trop fragilisé.
Les efforts verticaux sont principalement digérés par les parties métalliques séparant deux transferts. Et encore, on ne mentionne pas les dilatations thermiques qui s'ajoutent à ces contraintes.
Comme pour les autres étapes de la préparation, il faut toujours considérer le moteur dans son ensemble et ne pas se concentrer sur le gain hypothétique d'un seul paramètre. Un compromis entre largeur et hauteur existe et doit tenir compte de la section du conduit, avant et après modification.
Dans le même esprit, il est inutile d'augmenter la section des lumières d'admission sans toucher à l'échappement ni aux transferts. Le contraire n'est pas bon non plus sauf s'il s'agit de générer volontairement un déséquilibre (voir en fin de chapitre).
Les abaques 34-35-36/11 vous donnent les intervalles angulaires des phases et les régimes de puissance maxi correspondants. Ces valeurs limites ne doivent pas être dépassées au risque d'obtenir un moteur délicat à utiliser et creux en bas.

4 degrés en plus ou en moins peuvent paraître bien dérisoires. Sur notre 125 cm^3 de 54 x 54mm, une différence de 128 à 132 degrés se traduit par 0,38 mm.
En ce qui concerne la surface des lumières, on doit travailler avec une unité de mesure peu commune : la seconde par surface/volume. Cette unité représente le temps durant lequel une surface est ouverte par rapport à la cylindrée du moteur. On peut la simplifier en s/cm et on remarque qu'elle a la dimension de l'inverse d'une vitesse. L'ouverture degré par degré peut être convertie en seconde au régime maxi voulu par le biais de la formule suivante :

$$\text{Secondes} = \frac{\text{degrés}}{\text{nombre de tours x 6}}$$

Par exemple: 13000 tr/min = 13000 x 360 degrés/60 secondes, c'est-à-dire 13000 x 360/60 degrés/seconde. D'où le coefficient "x6" de la formule qui correspond à 360/60 = 6.

Pour une phase d'échappement de 190° à 13000 tr/min, la surface totale de lumière d'échappement plus les boosters de 9 cm^2 et une cylindrée de 125cm^3, on a :

$$\frac{190}{13000 \text{ x}6} = 0.0024358 \text{ s}$$

et $\frac{9}{125} = 0.072$ cm-1

Soit 0.0024358 x 0.072 = 0.0001754 s.cm-1

DURÉES MAXIMALES POUR L'ADMISSION PAR DISQUE ROTATIF OU PAR PISTON

RÉGIME DE PUISSANCE MAXI TR/MIN	DURÉE EN DEGRÉS, À RÉPARTIR AVANT ET APRÈS LE PMH
8 000	160-170
9 500	170-175
11 000	185-200
12 000	195-210
14 000	200-225

La durée de l'admission par disque rotatif a la même largeur. En revanche, l'avance à l'ouverture peut être anticipée de 110 à 145° par rapport au PMH. À 14000 tr/min, l'ouverture peut commencer à 147° avant le PMH et fermer 78° après le PMH

FIG 34/11 **DURÉE MAXIMALE D'UNE PHASE D'ADMISSION CONTRÔLÉE PAR PISTON**

DURÉES MAXIMALES POUR L'ÉCHAPPEMENT

RÉGIME DE PUISSANCE MAXI	DURÉE EN DEGRÉS
6 500	120-124
8 000	124-128
9 000	126-130
10 000	128-132
11 000	130-134
12 000	132-136
13 000	134-148
14 000	136-142

Ces données sont relatives aux transferts principaux. Celui qui fait face à l'échappement peut avoir une durée légèrement supérieure mais le plus souvent, elle est plus faible.

FIG 35/11 **DURÉE MAXIMALE DE LA PHASE DE TRANSFERT**

DURÉES MAXIMALES POUR L'ÉCHAPPEMENT

CYLINDRÉE	UTILISATION	RÉGIME DE PUISSANCE MAXI	DEGRÉS
50	VELOCITA	15 000	208-210
2X62	VELOCITA	14 500	206-208
80	CROSS	12 000	196-200
125	TRIAL	5 500	154-158
125	STRADALE	10 500	185-192
125	CROSS	11 500	194-196
125	VELOCITA	14 000	202-204
250	ENDURO	8 000	180-184
250	CROSS	10 000	186-188
350	CROSS	9 000	184-186
500	CROSS	7 500	180-184

Pour les systèmes équipés d'une valve à l'échappement, ces valeurs peuvent être augmentées de quelques degrés

FIG 36/11 **DURÉE MAXIMALE DE LA PHASE D'ÉCHAPPEMENT**

Il ne reste plus qu'à comparer cette donnée aux intervalles suivants :

- Admission par le piston de 0.00014 à 0.00016
- Admission par disque rotatif de 0.00018 à 0.00019
- Lumières d'admission de 0.00008 à 0.00010
- Lumières d'échappement de 0.00014 à 0.00018
- Lumières d'échappement + valve de 0.00014 à 0.00020

Il n'y a pas de données relatives à l'admission par clapets car la durée d'ouverture est complètement indépendante des dimensions physiques de ces derniers. Ils s'ouvrent et se ferment en fonction des phénomènes dynamiques liés à la charge et de la rigidité des lamelles. Vous le constaterez vous-même, ces valeurs se retrouvent dans les moteurs de compétition. Il est rare d'avoir recours à l'élargissement des lumières et des conduits sur ces produits haut de gamme.

C'est même plutôt le contraire. Il est banal de s'apercevoir que ces valeurs sont dépassées. En revanche, il y a souvent des erreurs d'inclinaison verticales ou horizontales.

Aussi est-il plus souvent nécessaire de recharger les parties ratées que d'élargir les lumières (fig.37/11).

AUTRES CONFIGURATIONS

En combinant une valeur basse à l'échappement avec une valeur forte au transfert, on obtient un moteur plein de couple, une plage d'utilisation étendue mais une puissance limitée.

Le remplissage n'est volontairement confié qu'à l'admission car l'échappement est très long avec de hautes fréquences de résonance. Le piston exploite totalement l'explosion et n'ouvre la lumière d'échappement qu'une fois cette pression retombée.

L'élargissement des lumières sert essentiellement à adoucir la courbe de puissance de moteurs trop brutaux. Sur les moteurs de vitesse, le discours est évidemment opposé. On cherche à avoir des valeurs élevées à l'échappement pour des surfaces de lumières relativement réduites. Un vieux principe voulait qu'en procédant ainsi, on obtienne une pression élevée dans le carter. Elle se transformait en de multiples flux très énergiques dans le cylindre lesquels, en créant de fortes turbulences, effectuaient un balayage efficace.

En réalité, la dépression produite par l'échappement aide aussi au rappel du mélange dans le cylindre. Du coup, si les lumières d'admission étaient plus grandes, le mélange s'échapperait en trop grande quantité et aucun échappement ne pourrait le faire revenir en arrière, spécialement à bas régime.

En outre, il est facile de comprendre que plus la lumière d'échappement s'ouvre tôt, plus la pression qui s'engouffre est forte.

Le signal de décompression dans le cylindre est d'autant plus élevé.
Même si on renonce ainsi à une partie de la pression sur le cylindre, on augmente la quantité de charge fraîche admise et donc le nombre de phases car le moteur monte en régime. Les échappements modernes équipés d'un système de valve à l'échappement autorisent le maintien de fortes valeurs de transfert. En effet, en réduisant de 20 à 25 % les dimensions de l'échappement à bas régime, ils profitent des fortes sections à pleine ouverture. Au fur et à mesure que le régime augmente, les chambres de résonance se ferment, la section totale est libérée graduellement et la puissance se concentre à haut régime.
Répétons-le, la convergence du conduit est plus influente que les dimensions des lumières au niveau du remplissage et de la qualité du jet, d'où l'importance de l'attention apportée aux transferts.

DOIT-ON OUVRIR DE NOUVEAUX TRANSFERTS ?

Dans le temps, les préparations artisanales comprenaient le fraisage de nouveaux passages sur le cylindre ou de trous judicieusement placés sur le piston. Toutes les méthodes pour envoyer le mélange dans le cylindre peuvent être valables. Cependant, il ne nous semble pas que celle-ci soit la meilleure.
Il n'y a qu'à voir les cylindres des motos de compétition qui ne comportent que 4 transferts plus les fines cloisons à l'échappement. Et pourtant, ces motos sont parmi les plus performantes du monde.
Parfois, ces passages supplémentaires étaient pratiqués pour deux raisons. Lubrifier l'axe du piston et refroidir la jupe pour s'adapter à des climats chauds sur des moteurs équipés de seulement deux transferts et refroidis par air.
D'autres exceptions existent, comme les moteurs volontairement équipés de 2 transferts sous dimensionnés pour en limiter la puissance. Deux transferts ne sont pas nécessairement synonymes de faible puissance. Voyez les moteurs de kart qui doivent avoir une bonne puissance associée à une plage d'utilisation étendue du fait de l'absence de boîte de vitesses. Ces moteurs n'ont que deux transferts plus celui placé au dessus des clapets, un allumage fixe, un carburateur sous dimensionné, et délivrent quand même plus de 30 chevaux.

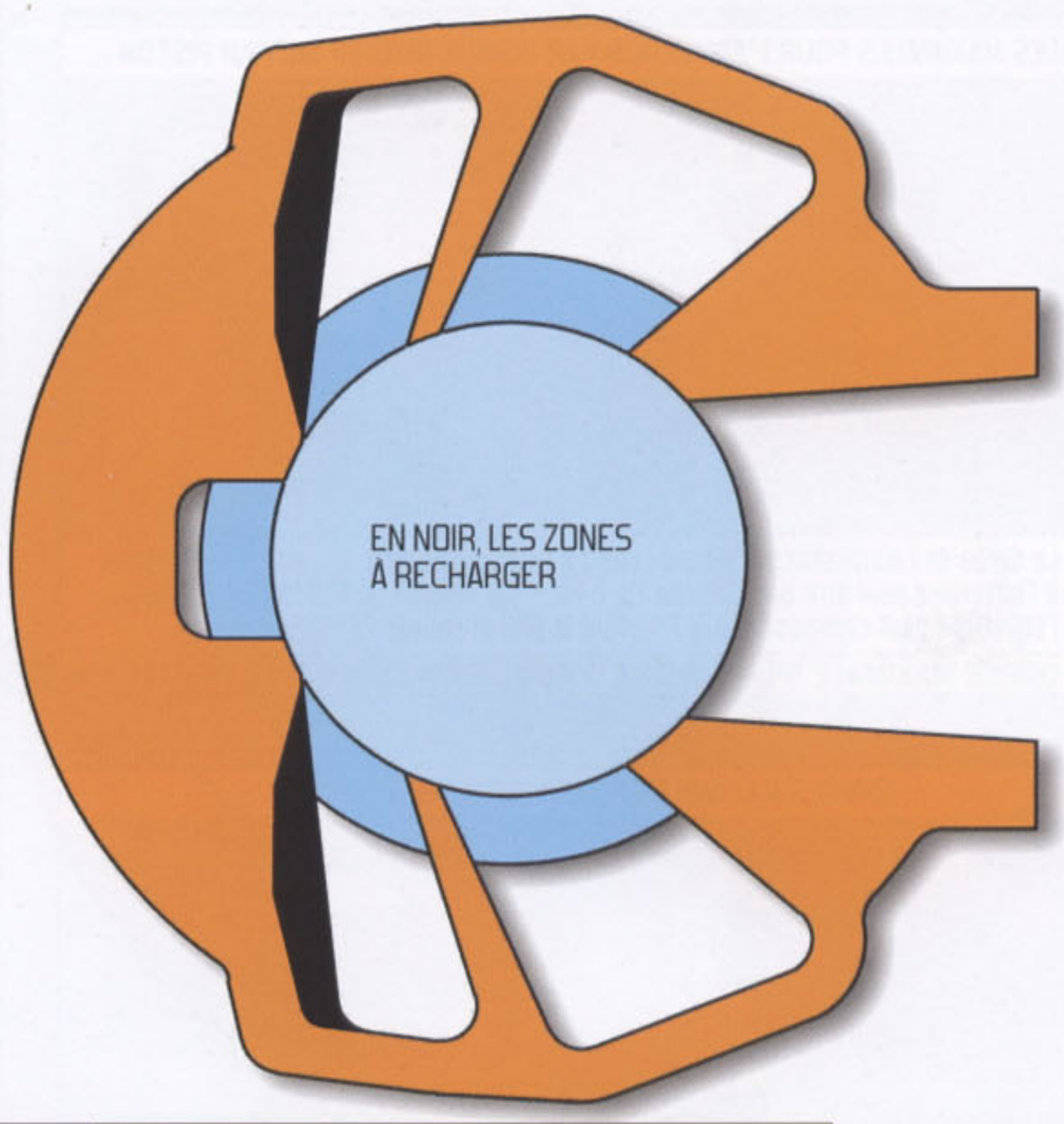


FIG 36/11 APPORT DE MATIÈRE DANS LES TRANSFERTS POUR AMÉLIORER LE FONCTIONNEMENT

Sauf pour les quelques exceptions citées ci-dessus, les travaux décrits précédemment sont largement suffisants.

LA BASE DU CYLINDRE

Beaucoup de moteurs de compétition modernes sont équipés d'un système d'admission directe dans le carter. Cette solution technique simplifie grandement la conception, puisque les cylindres sont plus compacts et permettent une meilleure admission ainsi qu'un meilleur refroidissement.
La partie basse du cylindre, destinée à son centrage dans le bas moteur, constitue le seul inconvénient de cette architecture. En rentrant assez profondément dans le carter, cette zone nuit clairement à l'introduction optimale du flux (voir chapitre 9). Ce point est facile à vérifier, même moteur monté : il suffit de déposer la boîte à clapets et de regarder à l'intérieur du conduit d'admission.
Pourquoi cet appendice alors ? Tout simplement parce qu'en production, les cylindres sont empilés les uns sur les autres et que sans cette partie, une telle fabrication serait impossible. Ensuite, même si les fabricants souhaitaient la retirer, cette opération quasi manuelle coûterait trop cher.
À cause de cette paroi, une partie de la charge est déviée vers le bas en direction de l'embiellage. À cet endroit, le mélange subit des turbulences capables de séparer l'essence de l'air. Même si cette essence réintègre le flux plus tard, c'est sous forme de grosses gouttes qui perturbent momentanément la carburation surtout en phase d'admission.
Au cas par cas, il faudra choisir entre chanfreiner les arêtes de cette paroi en dirigeant le flux vers les transferts latéraux, élargir au maximum l'orifice quand il y en a un ou encore couper directement cet appendice au raz du bord supérieur du conduit d'admission, après s'être assuré que ça ne nuira ni au centrage du cylindre ni au guidage du piston. ■

La préparation des moteurs 2 temps

CHAPITRE 12

DE LA L'échappement LUMIÈRE au silencieux

FONCTIONNEMENT DE L'ECHAPPEMENT ET DE LA DETENTE
1- LE CALCUL DE LA LONGUEUR TOTALE
2- PARTIE INITIALE DU COLLECTEUR D'ECHAPPEMENT
3- DIMENSIONS DU CÔNE DE DETENTE
4- CÔNE DE REFLEXION OU CONTRE-CÔNE
5- LA PARTIE CENTRALE
6- LE TUBE DE FUITE
7- LE SILENCIEUX
LE CATALYSEUR
LES DISPOSITIFS LIES A L'ECHAPPEMENT
LES VALVES À L'ÉCHAPPEMENT
LES AUTRES DISPOSITIFS
LES ÉCHAPPEMENTS POUR HARTING
LE TRAVAIL SUR LE CONDUIT D'ECHAPPEMENT
L'ENTRETIEN DE L'ECHAPPEMENT
LE NETTOYAGE
LES BOSSES
LE SILENCIEUX

Si les moteurs modernes atteignent aujourd'hui des sommets en termes de puissance et de disponibilité, c'est avant tout grâce aux études faites sur l'échappement. Quand un échappement de quatre temps très optimisé apporte un gain de 15 à 20 %, le passage d'un simple tube à un système d'échappement bien étudié induit sur un deux temps un gain pouvant dépasser largement les 100 %.

Avant, il suffisait d'élargir à outrance la lumière d'échappement et d'adapter un tube en cherchant à accorder le rendement à un régime défini.

La durée était volontairement réduite tout comme la plage d'utilisation qui se limitait à 3 ou 4000 tours.

Aujourd'hui, les lumières sont au nombre minimum de trois mais plus petites. Par-dessus tout, en plus d'une détente particulièrement étudiée, les échappements sont équipés de chambres de résonance qui s'ouvrent et se ferment et de valves qui découvrent plus ou moins la surface des lumières. La durée varie automatiquement ainsi que la réponse a des fréquences bien déterminées. Il n'est pas rare que les motos de route bénéficient d'une durée de 190° et plus alors qu'il y encore 10 ans, de telles valeurs étaient réservées aux machines de course. Ce sont les valves qui s'occupent de réduire de 20 à 30 degrés la durée à bas régime.

Même si la phase reste symétrique, des variations d'une telle amplitude améliorent le rendement sur une plage très étendue. On bénéficie désormais d'une puissance utilisable de 3000 à plus de 10000 tours sans faire cirer l'embrayage, ce qui était impensable il y a peu.

Les chambres de résonance, ne pouvant qu'être ouvertes ou fermées, sont toujours associées aux valves. Si elles étaient indépendantes, le moteur n'irait bien qu'au ralenti et au régime maxi (photo 1/12). Avec les valves, elles peuvent travailler à certains régimes où la seule variation de phase serait insuffisante.

Les échappements d'origine sont très performants au point que les fabricants livrent directement les constructeurs pour leurs modèles sportifs avec une garantie de résultat. Les spécialistes de l'échappement ne sont pas légion pour les machines telles le kart ou le scooter des neiges... À l'instar de sa conception, la réalisation d'un échappement est particulièrement délicate. Ainsi, la mise en œuvre des soudures sur des tôles fines n'est pas non plus une partie de plaisir et demande une bonne compétence.

Malgré la qualité des produits disponibles, certaines personnes aiment à tester des modifications dont elle ne connaissent pas vraiment les conséquences. Les pages qui vont suivre constituent une aide précieuse pour calculer les dimensions d'un échappement performant.

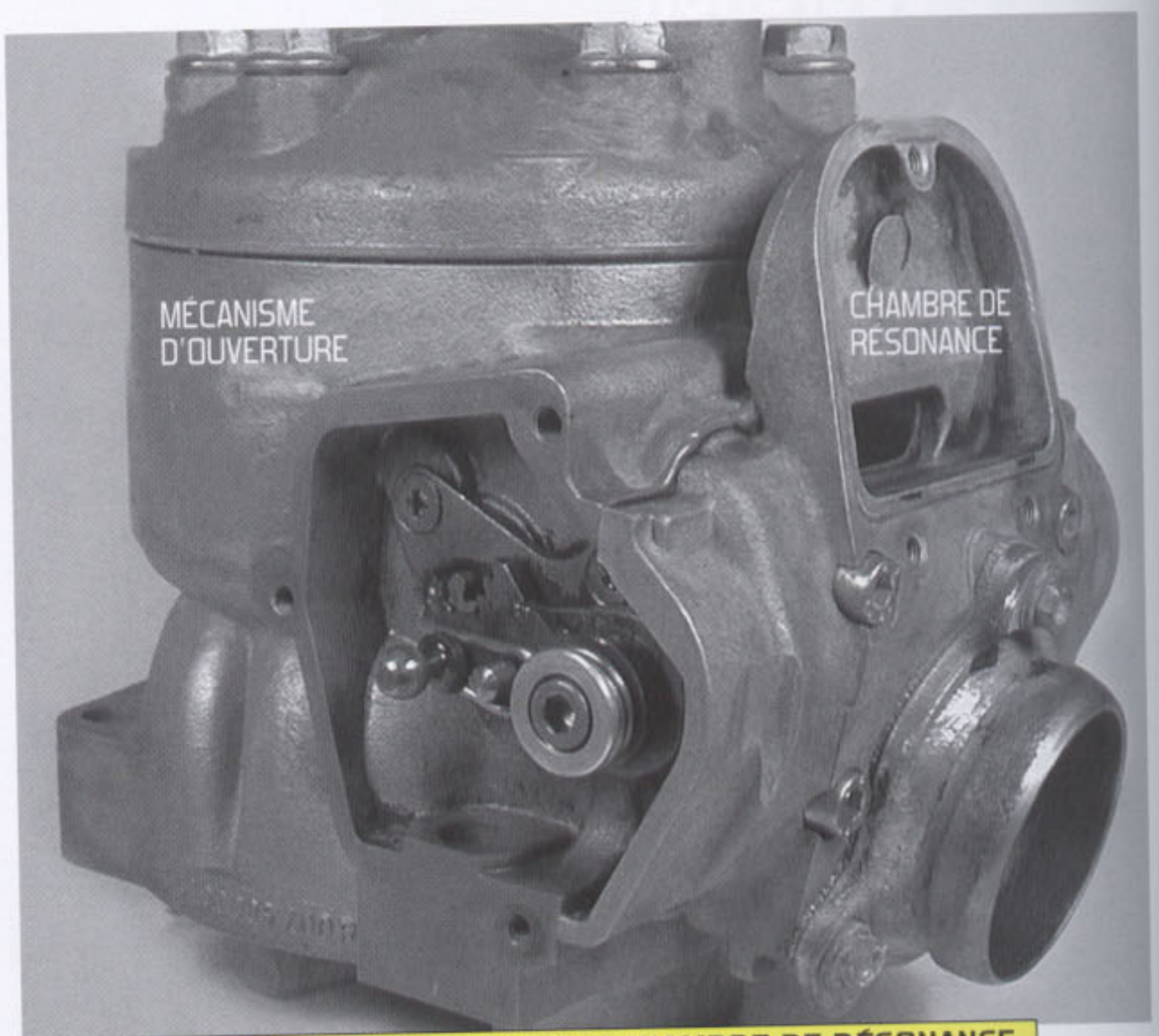


PHOTO 1/12 VALVE À L'ECHAPPEMENT ET CHAMBRE DE RÉSONANCE

Le plus difficile sera ensuite de trouver le bon compromis entre la forme idéale et l'encombrement sur la machine. L'accessibilité mécanique, les fixations, l'aérodynamique sont autant de paramètres qui font que le produit final n'est jamais le modèle idéal.

FONCTIONNEMENT DE L'ECHAPPEMENT ET DE LA DETENTE

À partir du moment où la lumière d'échappement s'ouvre, il se forme une "torpille" de gaz très chauds passant par le collecteur et qui aboutit dans un volume progressivement plus important. Dans cette zone, ces gaz de combustion perdent en vitesse et en température du fait de la variation de volume. C'est le phénomène de détente, très important quant aux performances du moteur.

Cette torpille de gaz laisse derrière elle une dépression dans le cylindre. Comme les lumières d'admission sont ouvertes, le mélange du carter profite de cette dépression pour passer dans le cylindre. Le remplissage comme le transfert sont favorisés par cette dépression. Le mélange est poussé par la surpression du carter due à la descente du piston, et il est aspiré par la dépression d'échappement.

Si le mélange n'était transféré que par la surpression du bas moteur, il n'arriverait pas à passer complètement dans le cylindre. Le temps dont il dispose pour le faire est bien trop court aux régimes actuels. Grâce à la dépression, une plus grande quantité de mélange passe dans le cylindre et finit même parfois dans l'échappement.

Jusqu'aux années 50, le mélange finissait en grande partie dans l'atmosphère pour cette raison. Les silencieux coniques faisaient plus de bruit qu'autre chose et les puissances étaient loin des standards actuels.

Un technicien hollandais du nom de Kaaden, qui travaillait alors sur les moteurs de course, eut l'idée de réduire sensiblement la section de sortie à l'aide d'une plaque. Et là surprise, la puissance ne chuta pas mais se mit à augmenter.

Les gaz, en étant réfléchis par le rétrécissement, génèrent une espèce d'écho : la fameuse onde de contre-pression. Cette onde repousse la quasi-totalité du mélange qui a réussi à s'échapper sans pénaliser l'évacuation des gaz de combustion. Au lieu d'être perdue dans l'atmosphère, cette portion de mélange participe activement à la combustion suivante. Aujourd'hui, il existe des abaques pour la conception de l'échappement en fonction du résultat désiré.

Des logiciels spécifiques sont également disponibles. Leurs prix varient de la gratuité à 500 Euros.

Ils présentent l'avantage de simuler la variation de nombreux paramètres moteurs en fonction des modifications de l'échappement. Des programmes plus complets mais aussi plus complexes sont destinés aux professionnels. Ils sont beaucoup plus chers et nécessitent un ordinateur puissant.

Même s'il faut vivre avec son temps, une vieille méthode graphique vous permettra d'aborder très honorablement la conception d'un silencieux avec trois fois rien. Elle est valable pour tout type de moteurs allant du dé à coudre au 500 de cross en passant par les 125 de vitesse et les kartings.

D'un abord facile, cette méthode ne nécessite qu'une calculatrice et donne de très bons résultats pour peu que l'on procède à une inévitable adaptation au cas par cas. Pour réaliser l'échappement lui-même, de la tôle de 0,7 à 1 mm d'épaisseur est particulièrement indiquée. Il ne faut pas utiliser d'inox car ce matériau est trop rigide. Les nombreuses soudures finiront par se rompre sous l'effet des vibrations et des variations thermiques.
De plus, l'inox est un matériau clair qui a tendance à conserver la chaleur. La détente des gaz en pâtit car ces derniers ne sont pas suffisamment refroidis.

1- LE CALCUL DE LA LONGUEUR TOTALE

La longueur axiale principale est celle mesurée du piston au milieu de la surface de réflexion (toujours mesurée sur l'axe). Un petit schéma valant mieux qu'un long discours, le dessin de la figure 1/12 met cette longueur plus clairement en évidence.
Son calcul tient compte de la durée totale de la phase, de la vitesse moyenne des gaz (environ 520 m/s) et du régime auquel on souhaite le rendement d'échappement maximal.

La formule tenant compte de ces paramètres est la suivante :
Longueur (m) = (durée angulaire de phase x 520)/(régime de rotation x 12)

Dans le cas d'un échappement intégrant une valve, on utilise la durée de phase, valve complètement ouverte.
Aussi étrange que cela puisse paraître, on ne tient pas compte de la cylindrée dans le calcul de cette longueur. Un échappement de 50 cm^3 ou de 125 cm^3 peut donc avoir la même longueur. La valeur en relation avec la cylindrée est, à part la durée, le volume. Comme nous le verrons plus loin, il dépend des surfaces des lumières d'échappement, elles mêmes dépendantes de la cylindrée et de la puissance potentielle.
Sur un moteur de vitesse possédant une grande lumière d'échappement, la section de la détente sera proportionnellement plus importante que celle d'un moteur aux lumières plus petites.
À ce stade, il faut se munir d'une grande feuille, d'une règle et d'un crayon pour dessiner en coupe longitudinale le profil de l'échappement à l'échelle 1. Ce n'est qu'à la fin du calcul des cotes caractéristiques qu'on pourra procéder au façonnage d'un moule en plâtre. Ce dernier servira de base à la mise en forme et à la découpe de patrons en carton qui serviront ensuite à la découpe de la tôle.
Durant tout le processus, on se souviendra qu'il faut absolument éviter les courbes trop brusques et les arêtes vives.
On commence par dessiner la longueur principale déterminée. Elle servira d'axe longitudinale. Ensuite, on procède à la détermination du diamètre de sortie, du diamètre maxi de détente et de la longueur du tube de fuite.

Fig 1/12 DETERMINATION DE LA LONGUEUR DE L'ÉCHAPPEMENT

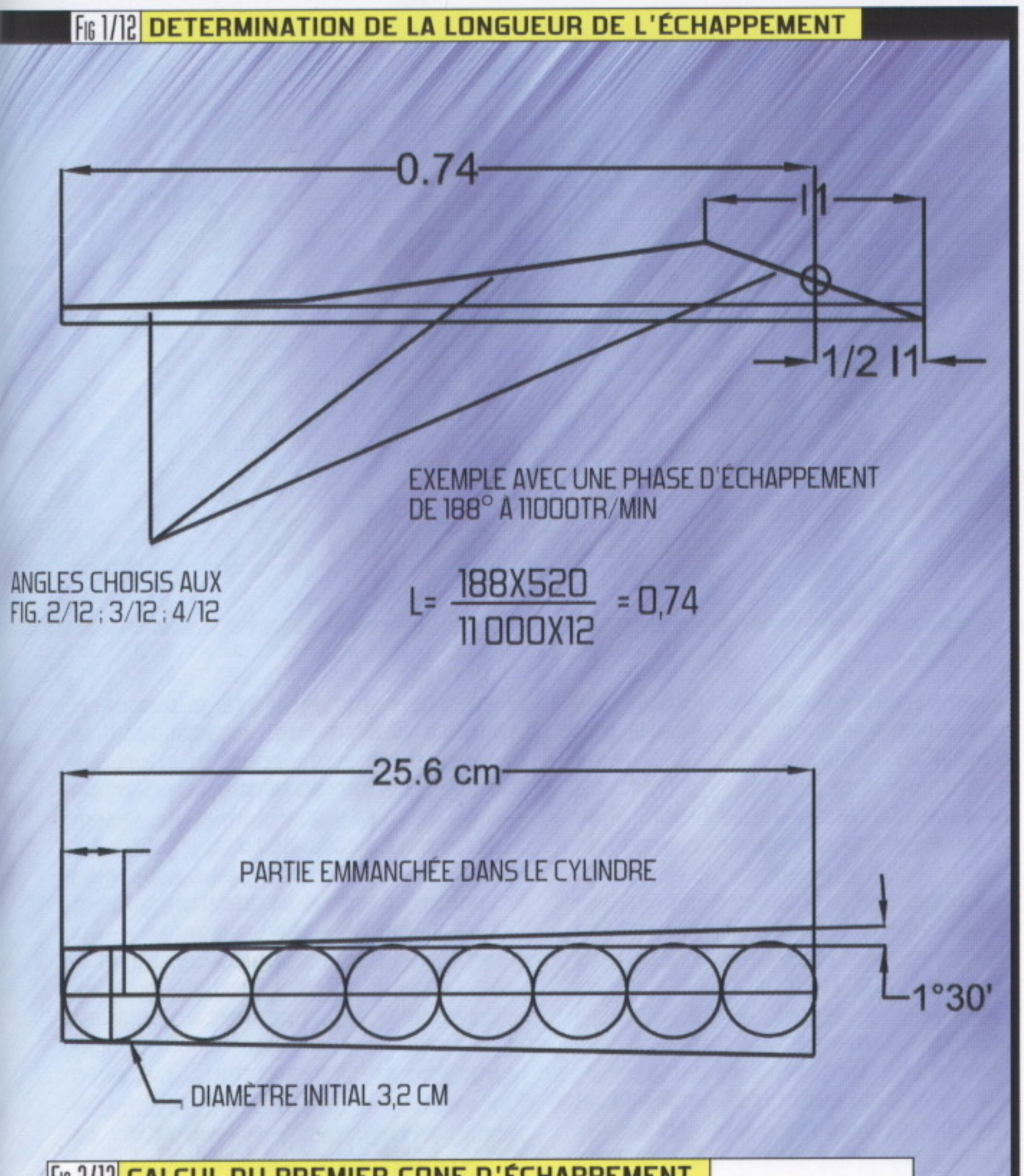


Fig 2/12 CALCUL DU PREMIER CONE D'ÉCHAPPEMENT

La longueur de ce cône est égale à 6 à 12 fois le diamètre initial.
Ce diamètre à la même surface que la sortie du cylindre. Le diamètre final est obtenu soit par une augmentation de l'aire initiale de 10 à 15 %, soit simplement augmenté par une demi-conicité comprise entre 1 et 2,5%.
Dans notre cas, le diamètre initial est de 3,2 cm, multiplié par 8, soit 25,6 cm.

2- PARTIE INITIALE DU COLLECTEUR D'ECHAPPEMENT

La partie qui va de la lumière à l'entrée du collecteur n'est pas moins importante que les autres. Un saut brusque ou une conicité trop prononcée produisent des turbulences qui peuvent avoir des effets négatifs. Ralentir les gaz à leur sortie engendre la formation de poches qui sont repoussées dans le cylindre par l'onde de contre-pression. De plus, ces poches gênent le retour du mélange vers le cylindre. En bref, le système entier est pénalisé par une section de sortie trop étroite.
Ceci est surtout valable pour la partie du collecteur qui va de la lumière au pot proprement dit, cette partie dans laquelle se trouvent les systèmes de valves.
Pour obtenir la puissance maximale avec une phase à la limite des 200°, le diamètre final de la première partie du collecteur devrait avoir une section supérieure de 10 à 15 % par rapport à celle de la lumière. Normalement, on préfère donner une demi-conicité comprise entre 1 et 1.5° et se satisfaire du diamètre ainsi obtenu (fig.2/12).
Par-dessus tout, l'angle de divergence dépend de la longueur totale de cette partie et du raccord à la section suivante. Ainsi, sur un moteur de vitesse à collecteur court dont la partie suivante est à 8°, on peut arriver à 2.5° afin de ne pas avoir une variation de section trop brusque. Une détente dont la conicité est plus progressive, permet de maintenir la valeur autour des 1.5°.
En ce qui concerne les échappements de cross, il faudra choisir cette conicité ou le diamètre final en fonction d'une longueur beaucoup plus importante, indispensable à l'obtention d'une plage de régimes étendue.

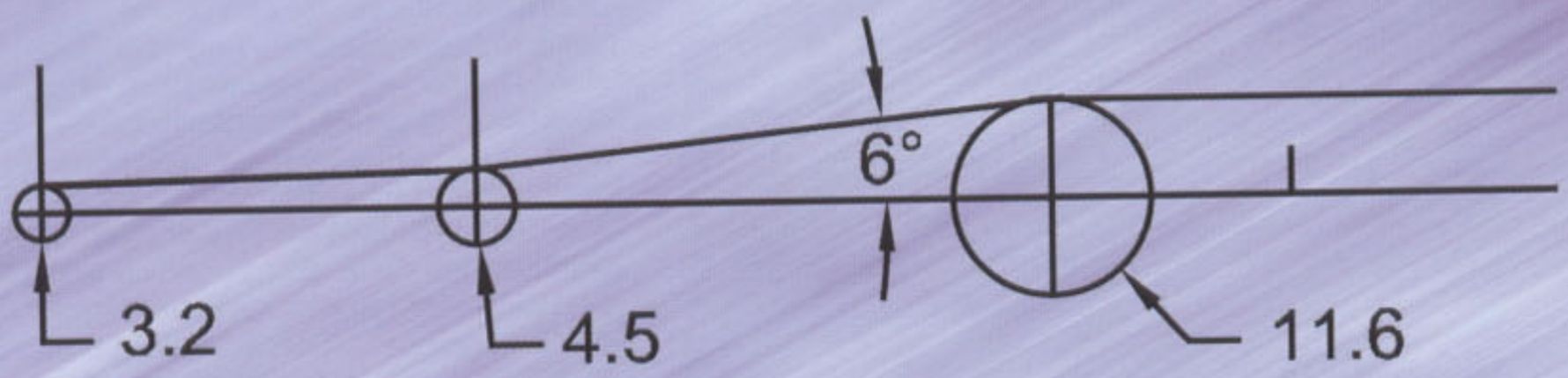


FIG 3/12 **CALCUL DU SECOND CONE D'ÉCHAPPEMENT**

On choisit ensuite la conicité du second cône. Dans notre cas, le demi-angle est de 6°. Le calcul de la longueur suit la condition suivante : le diamètre final doit avoir une aire égale à 6,7 fois l'aire du diamètre initial (diamètre de fin du premier cône de 4,5 cm) Soit 4,5 2 x p x 1/4 = 15,904 cm² = aire de diamètre initial Et 15,904 x 6,7 = 106,557 cm² = aire du diamètre final.
Racine carré de 106,557 x 4 / p = 11,648 cm = diamètre final arrondi à 11,6 cm
Finalement, la longueur de ce cône relie les deux rayons des diamètres initial et final.

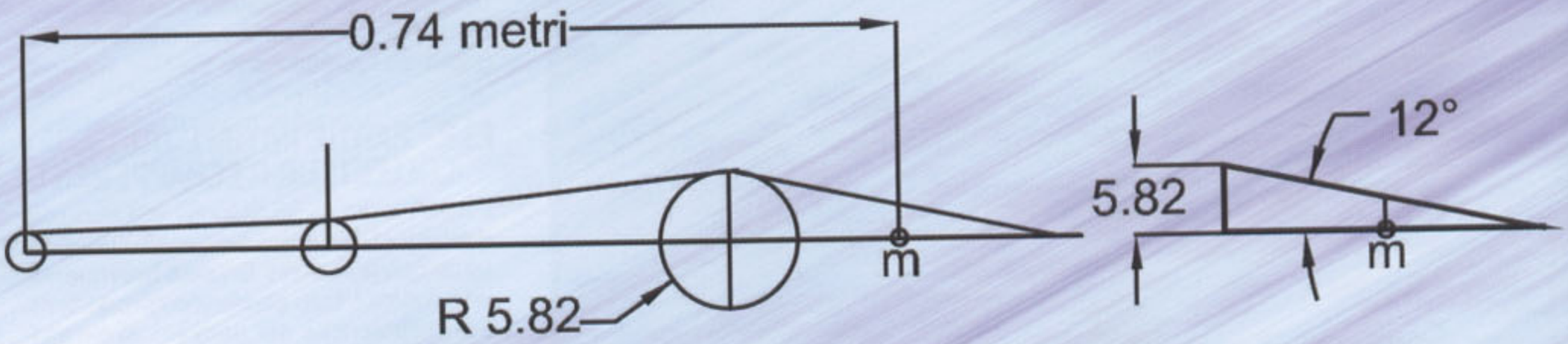


FIG 4/12 **CALCUL DU CONTRE CONE**

Il faut déterminer le demi-angle du contre cône, ici de 12°. Pour cela, le milieu m de la projection orthogonale du cône sur l'axe longitudinal (droite D) doit correspondre à la fin de la longueur totale initialement trouvée (fig. 1/12, soit 0,74 m).
Par le point m situé à 0,74 m de l'origine, passe la hauteur égale au demi-rayon R soit h 5,82/2 cm. Ces deux hauteurs sont perpendiculaires à l'axe d. Enfin, la droite passant par les extrémitésde R et H forme avec l'axe D l'angle recherché.

La puissance maximale sera obtenue pour une longueur égale à 6 à 8 fois le diamètre final de la partie précédente, ou du diamètre initial du collecteur. En renonçant à une partie de la puissance, on peut multiplier ce diamètre 11 à 12 fois de façon à élargir la plage utile. C'est d'ailleurs la raison pour laquelle les collecteurs des motos de cross zigzaguent autant à l'avant du moteur.
Allonger cette longueur de quelques centimètres permet d'adoucir un moteur particulièrement brutal et inversement.
La détermination de cette longueur doit tenir compte de la partie de collecteur emmanchée dans le cylindre.

3- DIMENSIONS DU CÔNE DE DETENTE

La demi-pente devrait être d'environ 8° pour bénéficier d'une onde de contre-pression importante.

Un divergent plus ouvert induit une contre-pression plus intense mais très brève. Il devient alors délicat de l'exploiter sur une plage étendue.
Inversement, une demi-pente inférieure de 4° engendre une onde de longue durée mais de faible intensité. Sur les machines de vitesse dont la plage de régime utilisable est réduite, on trouve des valeurs comprises entre 6 et 8° contre 4 à 6° pour les cross jusqu'à 250 cm³ et 6 à 7° pour les cylindrées supérieures.
Les cônes, divergents ou convergents, à tronçons multiples sont les plus modernes. Leur conception est évidemment plus délicate ainsi que leur fabrication. Quant à leur modification... S'ils suivent le même principe que les autres, ces pots possèdent néanmoins l'avantage de fonctionner sur une gamme de fréquences plus étendue mais surtout, la détente s'accorde parfaitement aux collecteurs plus longs.

Il n'est pas souhaitable de dépasser 3° entre chaque tronçon. Le cas échéant, la vitesse chute brutalement et la couche limite se décolle de la paroi. Que l'angle de sortie soit unique ou multiple, la section finale du cône doit être égale à 6,7 fois celle du diamètre initial. Le calcul du diamètre final découle de cette égalité et s'obtient par l'équation suivante :
avec Df = diamètre final et Di = diamètre initial.
Une fois le diamètre déterminé, on choisit l'inclinaison des parois en sachant que plus elle est faible, plus la longueur augmente et inversement (fig.3/12).

4- CÔNE DE REFLEXION OU CONTRE-CÔNE

Pour renvoyer l'onde d'échappement vers le cylindre, une paroi plane suffirait. Cependant, l'onde de contre-pression prématurée est trop brève. Elle impliquerait un retour des gaz d'échappement

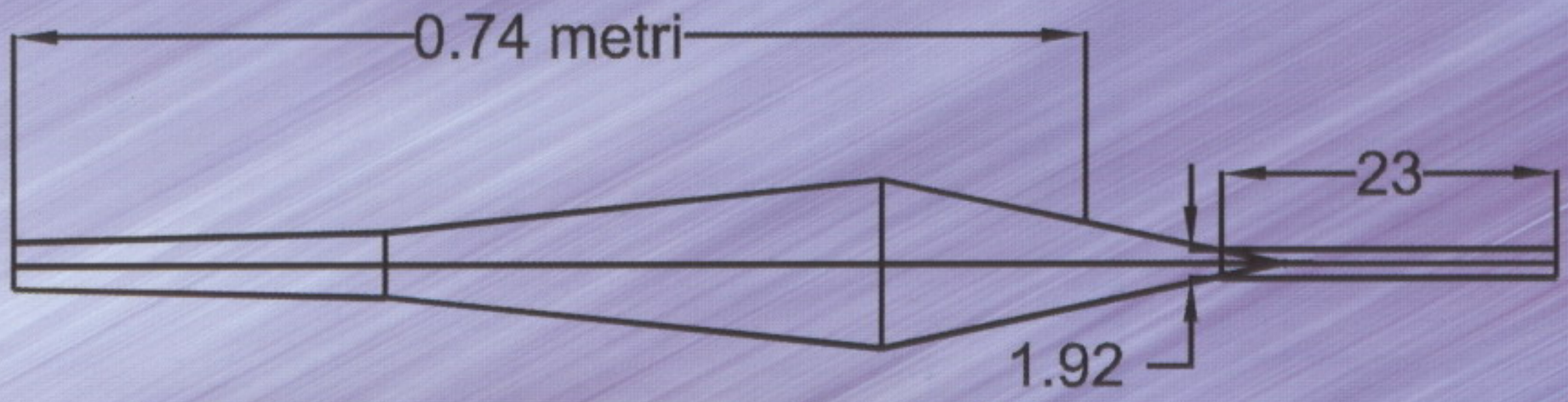
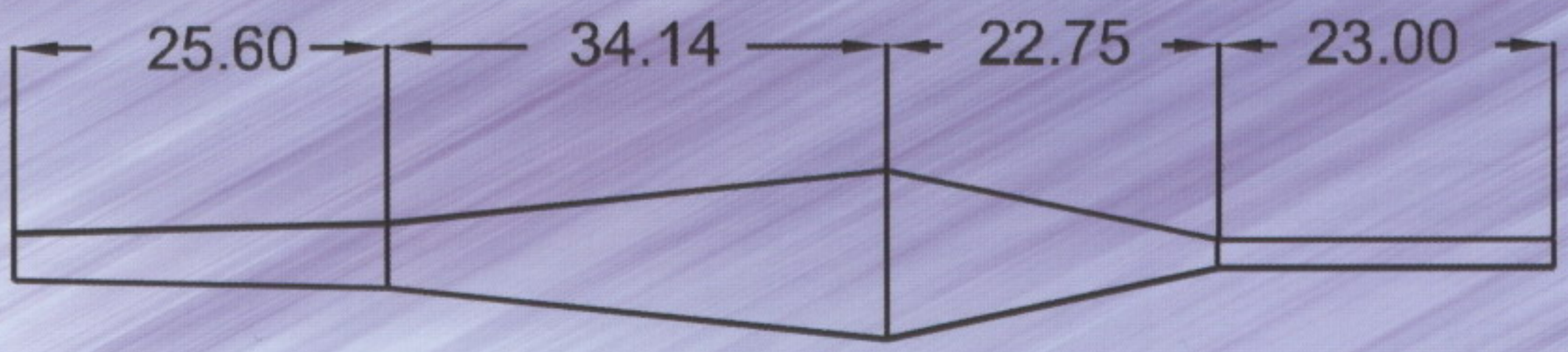


FIG 5/12 **CALCUL DU TUBE DE FUITE**

On remarque qu'il n'y a aucune partie cylindrique sur le pot, à l'exception du tube de fuite. Son diamètre sera compris entre 58 et 62 % du diamètre initial. Sa longueur sera égale à 12 fois le diamètre choisi.
60 % de 3,2 = ø de 1,92 cm 1,92 x 12 = 23 cm
Le tube de fuite sera soudé au contre cône au niveau de la section de même diamètre.



FORME ÉLÉMENTAIRE

FORME POSSIBLE POUR UN USAGE DONNÉ

FIG 6/12 **PROJECTION FINALE DE L'ÉCHAPPEMENT**

dans le cylindre, d'où une hausse de pression néfaste à la fin de phase de transfert.
Un profil conique permet aux gaz de remplir complètement le volume de détente avant le départ de l'onde de retour. Plus cette conicité est faible et plus la durée de la contre-pression sera longue.
Normalement, on multiplie par deux la conicité de la détente moins quelques degrés, du moins dans le cas d'une conicité unique. La valeur théorique maximale est d'environ 18° (fig.4/12).
Dans le cas d'une conicité multiple de détente, on prendra, pour le convergent de réflexion, la moyenne des divers tronçons plus deux degrés.
Ce cône est positionné de façon à ce que la moitié de sa longueur coïncide avec la longueur totale d'échappement prédéterminée.
Plus sa conicité est importante et plus la chute de puissance après la valeur maxi est rapide. L'échappement se comporte comme un véritable limiteur de régime.

5- LA PARTIE CENTRALE

Le volume et la longueur de cette zone résultent plus des dimensions des autres parties que d'un véritable calcul.
Une fois la longueur totale déterminée, la détente et le cône de résonance définis, on a une idée du volume de la partie centrale cylindrique. Si la première partie de l'échappement est longue et que les conicités définies sont faibles, cette partie centrale sera pratiquement négligeable.
Sur les échappements à conicités multiples dont la première partie est généralement plus courte, la zone centrale est automatiquement plus importante. Les pots des motos de cross, compte tenu de leur géométrie particulière, en sont naturellement dépourvus.
Sur les motos de vitesse actuelles, conçues pour atteindre leur puissance maxi à très haut régime, la longueur de l'échappement est très courte et la partie centrale n'existe pas vraiment.

6- LE TUBE DE FUITE

Cette partie fait office de réducteur et empêche les gaz de sortir sans faire leur travail de résonance.
Le diamètre du tube de fuite doit être compris entre 58 et 62 % de celui du collecteur et sa longueur vaut 12 à 13 fois le diamètre calculé (fig.5/12).
Si le diamètre est trop faible ou la longueur trop importante, les gaz d'échappement ne sont pas correctement évacués : la résonance repousse les gaz brûlés qui n'arrivent pas à sortir du cylindre tandis que la phase de transfert souffre d'une surpression au lieu d'une dépression. Le remplissage du cylindre en charge fraîche n'est donc pas optimal

et la courbe de puissance stagne ; le cylindre surchauffe et le piston est le premier à en subir les conséquences.
La meilleure façon de diagnostiquer ce dysfonctionnement reste l'examen du ciel de piston (carbonisation de l'huile entre autres).

Le raisonnement contraire s'applique en cas de diamètre trop important et de faible longueur. Les gaz s'échappent sans accomplir leur travail de contre-pression et la puissance ne peut grimper.
Le raccordement du tube de fuite est plus important que les variations de forme possibles en vue d'un éventuel gain de rendement. Le cas échéant, les turbulences à haut régime agissent comme un véritable bouchon et un profil optimisé n'y change rien.

À ce point de notre étude, l'échappement possède sa forme finale et toutes ses dimensions, calculées ou déduites, sont connues (fig.6/12).
La courbe de la figure 7/12 illustre la différence de rendement obtenue par modification des cotes caractéristiques de l'échappement.

7- LE SILENCIEUX

La majorité des silencieux est du type " à absorption". Un tube perforé est recouvert de laine de verre compacte sur laquelle on glisse une enveloppe extérieure fixée aux manchons d'entrée et de sortie au moyen de rivets. Les ondes sonores perdent en intensité au fur et à mesure qu'elles sont absorbées par la laine de verre. Cette technique est suffisamment efficace pour passer l'homologation sans trop gêner l'évacuation des gaz. Les dimensions du tube de fuite sont bien évidemment conditionnées par la présence du silencieux. Aussi, retirer le silencieux d'un échappement prévu pour fonctionner avec cette pièce ne produit que du bruit et une baisse du rendement. Les gaz sont évacués trop rapidement et le travail de contre-pression est moindre, le retrait volontaire de la laine d'absorption aboutissant au même résultat.
Autre phénomène à surveiller, le tassement du matériau d'absorption avec le temps. Selon des études menées par Yamaha sur une 250 de cross utilisée pendant une semaine, on note une perte de puissance de 5 % à cause de ce tassement, En effet, celui-ci induit des turbulences qui circulent autour de la paroi du tube perforé. L'évacuation des gaz est freinée et peut générer une surchauffe du moteur, comme dans le cas d'un tube de fuite trop long ou de section trop faible.
La grande majorité des silencieux est démontable de façon à permettre le remplacement de la laine de verre ou de roche. Des kits de remise en état sont disponibles chez la plupart des accessoiristes.

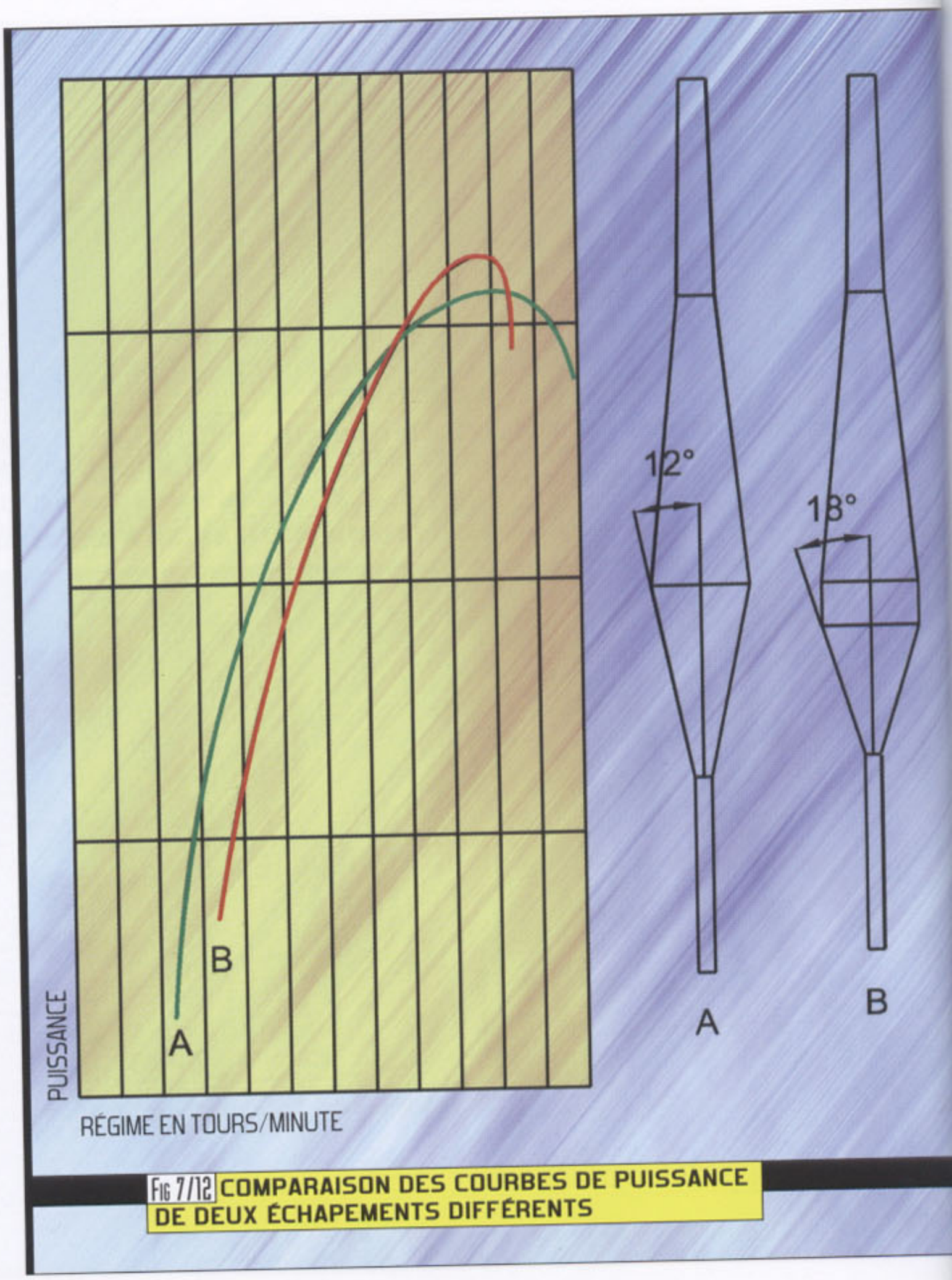


Fig 7/12 COMPARAISON DES COURBES DE PUISSANCE DE DEUX ÉCHAPEMENTS DIFFÉRENTS

LE CATALYSEUR

Lorsqu'il existe sur un deux temps, ce dispositif est strictement identique à celui d'un échappement quatre temps. Il est situé au plus près du moteur de façon à atteindre rapidement sa température de fonctionnement. Cette condition va de pair avec une bonne détente.
Les calculs des vitesses du gaz de combustion sont complètement faussés car ce dispositif réchauffe sensiblement les gaz jusqu'à 1300°C. Si une partie de ces gaz réussissait à retourner dans le cylindre, l'huile protégeant le piston brûlerait instantanément à cause de cette température. Il s'ensuivrait un grippage immédiat du moteur. Le talon d'Achille du catalyseur reste le fonctionnement à froid. À basse température, l'huile résiduelle à du mal à brûler à la surface du dispositif. Les premières minutes de fonctionnement du moteur induisent inévitablement de gros problèmes de dépôt.

LES DISPOSITIFS LIES A L'ECHAPPEMENT

Avec les années, le jargon du motard s'est étoffé avec l'apparition de nouvelles abréviations relatives à de nouveaux dispositifs. En passant outre ces dénominations commerciales, ces dispositifs peuvent être classés en trois catégories.
La première regroupe les valves rotatives et autres systèmes permettant une ouverture variable de la section de passage. La seconde comprend les chambres de résonance ouvertes ou fermées en fonction du régime. Enfin, une troisième catégorie est constituée d'une combinaison des deux techniques.
Grâce à ces systèmes, la lumière d'échappement peut être assimilée à une section variable en fonction du régime : petite à bas régime et maximale en pleine charge.
Le rapport entre section de transfert et d'échappement varie de façon à ce que la

dépression dans le cylindre favorise plus ou moins la quantité de mélange introduit dans la chambre de combustion.

LES VALVES À L'ÉCHAPPEMENT

Tous les deux temps modernes sont équipés d'un dispositif plus ou moins complexe dont la fonction est de faire varier la durée de la phase d'échappement.
Sur les motos de route, le contrôle de la valve est désormais confié à une centrale électronique qui gère son ouverture par l'intermédiaire d'un servomoteur. Sur les motos de cross ou d'enduro, il s'agit encore d'une action mécanique basée sur des contrôles centrifuges.
Dans les deux cas, la panne la plus fréquente est le blocage de la valve par accumulation de résidus de combustion. Le problème majeur est que plus leur fiabilité diminue dans le temps. Du coup, la plus grande partie des problèmes de fonctionnement ou de mise au point viennent de ces systèmes qui nécessitent un entretien suivi.
En particulier, les points de rotation doivent être graissés avec de la Molykote CU 7439 ou un produit équivalent très résistant aux fortes températures. La façon la plus simple de nettoyer ces valves est d'utiliser les produits destinés à l'entretien des fours. On veillera tout de même à ne pas rayer les surfaces, ce qui favoriserait l'accrochage ultérieur des dépôts. Après repose, il faudra toujours s'assurer du bon fonctionnement de la valve. Quasiment tous les systèmes possèdent des repères facilitant le réglage lors du remontage.

Dans le cas d'une commande d'ouverture centrifuge, celle-ci peut parfois être réglée par le biais du réglage de la précharge de son ressort. Cette solution est pratique car ce réglage est extérieur et permet une intervention rapide. Un ressort souple conduira à une ouverture brusque et rapide de la soupape. La courbe de puissance sera donc brutale et peu progressive. Inversement, une raideur importante induira une courbe plus linéaire et permettra un contrôle plus aisé de l'accélération.
À l'instar des suspensions, jouer sur le tarage du ressort ne change pas sa constante de raideur, mais déplace la valeur de l'effort pour lequel il réagira (variation de précharge).
Il est plus efficace de remplacer le ressort par un autre de même longueur mais de diamètre de fil supérieur. Une autre astuce consiste à changer les masselottes d'acier du mécanisme centrifuge (de très légères variations ont beaucoup d'influence sur le mécanisme), comme sur un cyclomoteur à variateur. Par exemple, avec des masselottes plus lourdes, la pleine ouverture de la soupape s'effectue plus tôt. Il est également possible de modifier l'inclinaison des plans sur lesquels travaillent les billes. Si l'on remplace entièrement la pièce, un traitement de surface est nécessaire car les efforts seront plus importants avec des inclinaisons plus conséquentes.
Les constructeurs n'ont pas la possibilité de contrôler correctement la qualité de fabrication et d'assemblage. Parfois, les cotes sont très mauvaises. À la première dépose de l'échappement, retirez les câbles de renvoi et contrôlez les positions d'ouverture et de fermeture de la valve.
En position d'ouverture totale, vous ne devez pas noter de décrochement entre le conduit et la valve : un mauvais alignement vous privera de la puissance maxi possible. Quant à la fermeture, elle doit être conforme aux données du constructeur pour bénéficier d'une bonne allonge à bas régime.
Sans remonter le couvercle de protection et après avoir recouvert le passage d'huile d'une mousse absorbante ou d'un chiffon, mettez le moteur en route. Au ralenti, la valve doit être fermée et être totalement ouverte au régime maxi désiré. Une légère modification des zones de fin de course peut être nécessaire.
Cependant, à moins d'avoir recours à un banc d'essais, il est très difficile de savoir comment intervenir sur les différents composants du dispositif.

Sur les systèmes asservis à une centrale électronique dont la programmation est délicate voire impossible, il est possible de jouer sur le diamètre de la poulie de commande pour modifier les lois d'ouverture.
En outre, il peut être utile de disposer d'un circuit de commande direct avec un interrupteur au guidon, voire un système annexe d'ouverture mécanique pour forcer l'ouverture en cas de blocage.
En cas de panne, il est toujours possible de terminer une course avec une valve complètement ouverte en jouant de l'embrayage. En position fermée, la perte de puissance est telle que vous n'aurez d'autre choix que de rentrer aux stands.

LES AUTRES DISPOSITIFS

Dans la série des autres systèmes montés à l'échappement, citons le cas de Honda qui avait développé pour ses machines de GP un dispositif d'injection d'eau dans l'échappement.
La conception d'un échappement prend en compte une vitesse moyenne de 520 m/s et un régime de rotation de puissance maxi. Or, ces valeurs sont fixes et il n'est pas facile de modifier suffisamment rapidement la longueur de l'échappement pour l'adapter à d'autres régimes.
Par ailleurs, plus la température d'un gaz augmente et plus il est visqueux. Sa vitesse d'écoulement baisse au détriment du rendement.
Si les gaz sont refroidis, leur vitesse augmente en conséquence et le rendement peut être optimisé ainsi pour d'autres régimes que celui défini lors de la conception.
L'introduction d'un injecteur dans la première partie de l'échappement, par lequel de l'eau pulvérisée est injectée dans les gaz de combustion, permet d'abaisser la température. La variation de la quantité d'eau introduite induit une variation de la température qui influence à son tour la vitesse d'écoulement des gaz. Au final, un tel dispositif revient à faire varier la longueur du pot de détente de manière quasi instantanée.
Ce système n'est pas simple à réaliser et encore moins à mettre au point, mais a permis à Honda de tirer son épingle du jeu. Il équipe aujourd'hui certains scooters des mers où il sert à refroidir les gaz d'échappement et à en atténuer le bruit. De plus, comme la quantité d'eau admise dépend du régime de rotation, le rendement est amélioré.

LES ÉCHAPPEMENTS DE KARTING

Les règlements techniques de certaines catégories obligent à équiper les échappements d'une pièce diminuant les émissions sonores, mais limitant surtout la puissance.
Ce dispositif ne peut évidemment pas être modifié et se trouve associé à la détente et au silencieux. Ainsi, la seule façon d'adapter l'échappement à la mise au point du moteur est de jouer sur la longueur de la première partie du collecteur ou du conduit flexible qui lui succède. Cette mise au point sera évidemment fonction des conditions d'utilisation. En effet, de petites variations de température et d'humidité influencent sensiblement la température des gaz. S'il pleut, le tube sera donc allongé. En revanche, si la piste est rapide, la longueur devra être raccourcie.
Deux ou trois échappements de différentes longueurs (quelques millimètres) peuvent être nécessaires pour couvrir tous les cas de figure.
Attention à l'étanchéité des jonctions qui remettra en cause le rendement de votre échappement en cas de fuite.

LE TRAVAIL SUR LE CONDUIT D'ECHAPPEMENT

Répétons-le, sur les grandes séries, les constructeurs ne peuvent optimiser totalement le raccordement du collecteur d'échappement. Bien souvent, on constate des écarts de diamètre dans un sens ou dans l'autre, tout comme on constate la présence de bavures.

Les dépôts trouvent ainsi des points d'accroche et finissent par handicaper l'écoulement des gaz.
Le collecteur doit donc être soigneusement raccordé et poli pour éviter d'offrir des points d'accroche. Dans la plupart des cas, il suffit de bien soigner le conduit au lieu de l'élargir, ce qui suffit à obtenir un gain substantiel sur toute la courbe de puissance.

L'ENTRETIEN DE L'ECHAPPEMENT

Un échappement aussi subit les outrages du temps et s'use comme le reste de la mécanique. Quelques opérations simples sont donc indispensables pour lui permettre de conserver ses performances :

1) Nettoyer l'intérieur et retirer les dépôts
2) Aplanir les bosses éventuelles
3) Éliminer la rouille de la surface externe

LE NETTOYAGE

La couche de dépôts qui se forme à l'intérieur de l'échappement après un certain temps de fonctionnement, est à l'origine d'une variation de la conduction thermique de la tôle. Les paramètres moteurs en sont affectés. Cette couche se comporte comme un isolant thermique et la chaleur confinée à l'intérieur empêche un bon refroidissement des gaz.
Pour bénéficier d'un rendement optimal à chaque utilisation, un nettoyage fréquent et profond est inévitable. Les sprays de type "Décap-four" donnent de très bons résultats. Inutile donc d'avoir recours à des produits chimiques agressifs et dangereux.
Après plusieurs rinçages, réchauffez l'échappement afin d'éliminer toute trace d'humidité et recouvrez l'intérieur de lubrifiant WD 40.
Une alternative consiste à chauffer la couche par l'extérieur de façon à la carboniser complètement avant d'effectuer le traitement décrit.
Cette méthode est malodorante et fragilise la tôle qui se marquera ensuite plus facilement. De plus, la flamme est inefficace sur les tôles doublées car la chaleur n'arrive pas jusqu'à la couche de dépôts.
Ces échappements à parois doubles sont de bons isolants acoustiques, mais ne donnent pas pour autant de meilleurs résultats, surtout s'ils sont sales.

LES BOSSES

On se souviendra que toute variation de volume sur un échappement en modifie les caractéristiques et qu'il est très facile d'abîmer le pot d'une moto, spécialement sur sa partie la plus fragile qui est constituée par la rondeur de la détente.
Si son échappement est bosselé, on pourra donc essayer de rattraper le coup, surtout lorsque l'on connaît le coût de remplacement de cet élément .
Dans le cas des machines de cross où la détente est particulièrement exposée aux chocs, on doit souvent recourir à la méthode qui consiste à couper l'échappement, redresser la tôle et ressouder le tout au TIG. Cette méthode parfois inévitable est délicate et demande pas mal de compétences. Sans parler du fait que tout le monde n'a pas forcément un poste TIG dans son garage. Ceci est même plutôt rare.
Avant de se résigner à jeter le tout, on tentera quelques opérations de la dernière chance :
Tout d'abord, on commencera par nettoyer l'échappement comme décrit précédemment. S'il s'agit d'une bosse peu profonde mais relativement plane, le matériel nécessaire se limitera à un peu d'eau et un réfrigérateur
Les extrémités devront être bouchées de façon à supporter des pressions élevées après avoir rempli l'intérieur d'eau.
L'échappement sera ensuite placé dans un réfrigérateur à -5°C. Il conviendra de ne pas être pressé et d'éviter de mettre le tout dans le congélateur à -40°C : l'eau gèlera trop vite et la paroi ne subira une transformation lente et plastique.
Comme chacun sait, l'eau augmente de volume en passant à l'état solide et exerce une pression sur la paroi interne. Cette paroi est plus résistante dans les zones circulaires et beaucoup moins dans les zones planes dues à la bosse. L'augmentation du volume et l'élasticité du métal permettront un retour à la forme initiale. Il faudra néanmoins laisser une certaine quantité d'air dans l'échappement et contrôler constamment comment il réagit, au risque de le retrouver en chou-fleur.
Une fois la forme retrouvée et l'eau évacuée, les dernières traces d'humidité seront retirées par chauffage. Comme pour la procédure de nettoyage, l'intérieur Il est possible que l'opération soit à renouveler plusieurs fois en cas de bosses plus profondes mais toujours étendues.

On choisira la méthode suivante dans le cas d'une bosse de petit diamètre mais profonde où présentant des angles vifs. Les zones anguleuses s'opposent en effet au retour élastique mis en œuvre dans la technique précédente.
Comme dans le premier cas, on bouchera les deux extrémités de l'échappement, l'un des bouchons étant équipé d'une valve de gonflage. On mettra ensuite le pot sous pression sans toutefois excéder 1 bar. La zone accidentée sera ensuite portée au rouge au chalumeau puis on tapotera les extrémités de la zone bosselée avec un maillet en bois ou de carrossier. La malléabilité du métal liée à la pression de l'air permettront peut-être de retrouver la forme d'origine.

MISE EN GARDE :
Avant tout, l'échappement devra être scrupuleusement débarrassé de toutes traces de graisse, d'huile brûlée et autres dépôts. La moindre trace pouvant être la source d'une explosion. La personne qui procèdera à ce type d'intervention devra toujours être équipée de gants de soudure, d'un masque et de lunettes de protection. De même, on veillera à ne jamais chauffer exagérément la zone en question, une température plus élevée liée à la pression pouvant provoquer un jet de métal incandescent.

Enfin, une dernière méthode peut parfois être tentée. Si le résultat n'est pas le meilleur, cette procédure a le mérite de la simplicité. C'est d'ailleurs la raison pour laquelle elle est la plus usitée.
Il s'agit de souder un fil de fer de 2 à 3 mm au centre de la bosse et de chauffer au rouge toute la zone déformée. En tirant sur le fil de fer, on tente de ramener la tôle à la forme initiale. Les extrémités restent à l'air libre pendant l'opération. Une fois le travail terminé, on coupe le fil de fer et l'on meule le point de soudure sans toutefois retirer de l'épaisseur à la tôle. Les carrossiers auto utilisent un appareillage reprenant le même principe pour les petites bosses du même type.
Quoi qu'il en soit, afin d'éviter le recours à ces astuces sans garanties, il vaut mieux installer un élément de protection proposé par les accessoiristes spécialisés : cette pièce sera définitivement moins coûteuse qu'un échappement et son poids est dérisoire.

LE SILENCIEUX

Autant pour le respect de vos voisins et de l'environnement que pour assurer un rendement correct, le silencieux doit toujours être en parfait état.
Nous avons déjà expliqué que la puissance du moteur est sensible au tassement de la laine d'absorption. Vu le prix de la main d'œuvre et de la matière, il serait ridicule de ne pas entretenir le silencieux. Certaines motos sont équipées d'un silencieux comprenant une petite chambre de détente avant le tube de sortie. Elle sert le plus souvent à passer les normes de bruit, mais limite la puissance.
Pour une utilisation piste, soit l'échappement dans son entier sera changé, soit la chambre de détente sera retirée. ■

La préparation des moteurs 2 temps

CHAPITRE 13

Le BREQUIN VILE

L'équilibrage

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16

Quelle que soit la qualité de votre préparation sa durée de vie sera très courte si le montage de l'équipage mobile ne suit pas l'unique méthode valable que nous allons voir ensemble. Avant tout, les tolérances données par les constructeurs n'ont pas d'importance. Ensuite, les deux extrémités du vilebrequin doivent être absolument coaxiales. Enfin, il faudra se procurer des instruments de métrologie de très bonne qualité pour contrôler ce type de tolérances très faibles. Pour contrôler la géométrie d'un vilebrequin, deux montages sont possibles. Soit on pose le vilebrequin (équipé de l'embiellage complet) au niveau des tourillons sur des V de métrologie reposant eux-mêmes sur un marbre, soit on monte le vilebrequin sur un tour entre pointes. Les toucheaux de deux comparateurs seront mis en contact avec l'arbre près des contrepoids (fig.1/13) puis on le fera tourner. Tout d'abord, on observera le défaut de circularité des deux arbres : l'important est que les deux comparateurs affichent la même variation au même moment et que les tolérances soient respectées.

Indépendamment des défauts de rugosité de chaque tourillon, si les aiguilles du comparateur ne se déplacent pas de la même valeur et dans le même sens, les tourillons ne sont pas alignés. En supposant que votre montage est correct, assurez-vous plusieurs fois du défaut constaté et mesurez-le.

Un petit conseil pour ceux qui se lancent : ne vous échinez pas à dégauchir vos pièces à deux microns. En effet, il suffit de chauffer avec la main une partie de la pièce pour qu'elle prenne 3 à 5 microns. Les salles dans lesquelles se pratiquent des contrôles aussi pointus sont à température stabilisée et ne concernent pas les composants d'un moteur. Toutefois si vous tombez à zéro assez facilement, vous pouvez vous féliciter.

Si vous faites faire ce travail à des spécialistes, demandez à assister au contrôle, vous apprendrez des choses à défaut d'être capable de vous assurer du bon déroulement des opérations.

L'acquisition d'une machine de course « ex team de pointe" ne vous met pas à l'abri d'une métrologie incorrecte. Il faut savoir que lorsqu'il s'agit de pièces spéciales, les constructeurs se passent parfois de faire les contrôles en vigueur en sachant pertinemment que toutes les mesures seront recontrôlées.

Le niveau de précision requis n'est de toute façon pas envisageable au niveau industriel, même pour de petites séries.

De retour à notre vilebrequin, le maneton de bielle doit évidemment être parallèle aux tourillons. Là aussi la tolérance doit être la plus faible possible. Peut-être pensez-vous que nous exagérons un peu, pourtant, il devient courant d'usiner des pièces au micron et de s'accorder malgré tout quelques centièmes de tolérance. C'est une habitude qui ne convient pas à une préparation soignée. Aussi minimes soient-ils, les défauts d'alignement génèrent des frottements localisés sur les coussinets, les roulements et les cages à aiguilles avec une perte de puissance à la clé et une hausse des possibilités de rupture.

Quelle que soit l'erreur d'alignement, la bielle tournera dans un plan non perpendiculaire au plan d'embase et non parallèle au plan axial longitudinal du cylindre. Chaque tour de vilebrequin, la bielle tournera autour de son axe avec des efforts mal répartis sur la surface des roulements. Les frottements augmenteront et leur usure n'en sera que plus rapide. Dès lors, la quantité et la qualité de l'huile de lubrification n'auront plus d'importance, le résultat sera toujours négatif.

Par ailleurs, un arbre ne peut pas être monté et démonté x fois pour arriver au résultat désiré. D'ailleurs, sur certains moteurs de course atteignant des puissances spécifiques énormes, les composants ne peuvent supporter qu'un seul montage, pas plus.

Même sur les moteurs moins pointus, les contrepoids supportent mal l'opération de montage (à l'aide de mâchoires adaptées et d'une presse hydraulique) qui ne peut donc pas être effectuée autant de fois qu'il serait parfois nécessaire pour avoir un bon alignement.

De petits défauts d'alignement peuvent être rattrapés, mais il vaut mieux avoir une certaine expérience au risque d'aggraver le problème.

En général, le montage des axes sur les contrepoids est ajusté serré, environ 0,03 mm par centimètre d'axe. Par exemple, pour un diamètre de 2 cm, l'alésage sera de 1,994 cm. A chaque montage, il se produit une légère déformation plastique qui tend à élargir les alésages, d'où l'impossibilité de répéter l'opération plusieurs fois sans risque.

Pour réduire au minimum cette déformation, il serait opportun de chauffer les contrepoids à 100°C et de refroidir les arbres à -30°C en les passant au congélateur ou en les soumettant progressivement à un jet d'azote (évitez les chocs thermiques importants). La pièce chaude se dilate et les axes se rétractent, l'effort lors de l'ajustement est donc moindre.

Mais n'espérez pas une telle attention de la part de la majorité des établissements spécialisés.

Un montage en force excessif peut produire de minuscules fissures sur les contrepoids, fissures qui ne sont malheureusement démasquées qu'à l'aide d'une analyse non destructive. Si l'arbre a subi plusieurs démontages et que vous n'êtes pas sûr de la tenue mécanique de l'ajustement, vous pouvez utiliser un produit de type " loctite ". Il faut cependant s'assurer rapidement de la bonne géométrie de l'ensemble car ce produit est efficace en quelques minutes, même si la tenue maximale est obtenue beaucoup plus tard. Bloquer l'assemblage grâce à un point de soudure n'est pas une bonne solution car il y a formation de tension.

Les tourillons et les manetons doivent être parfaitement cylindriques et ne pas

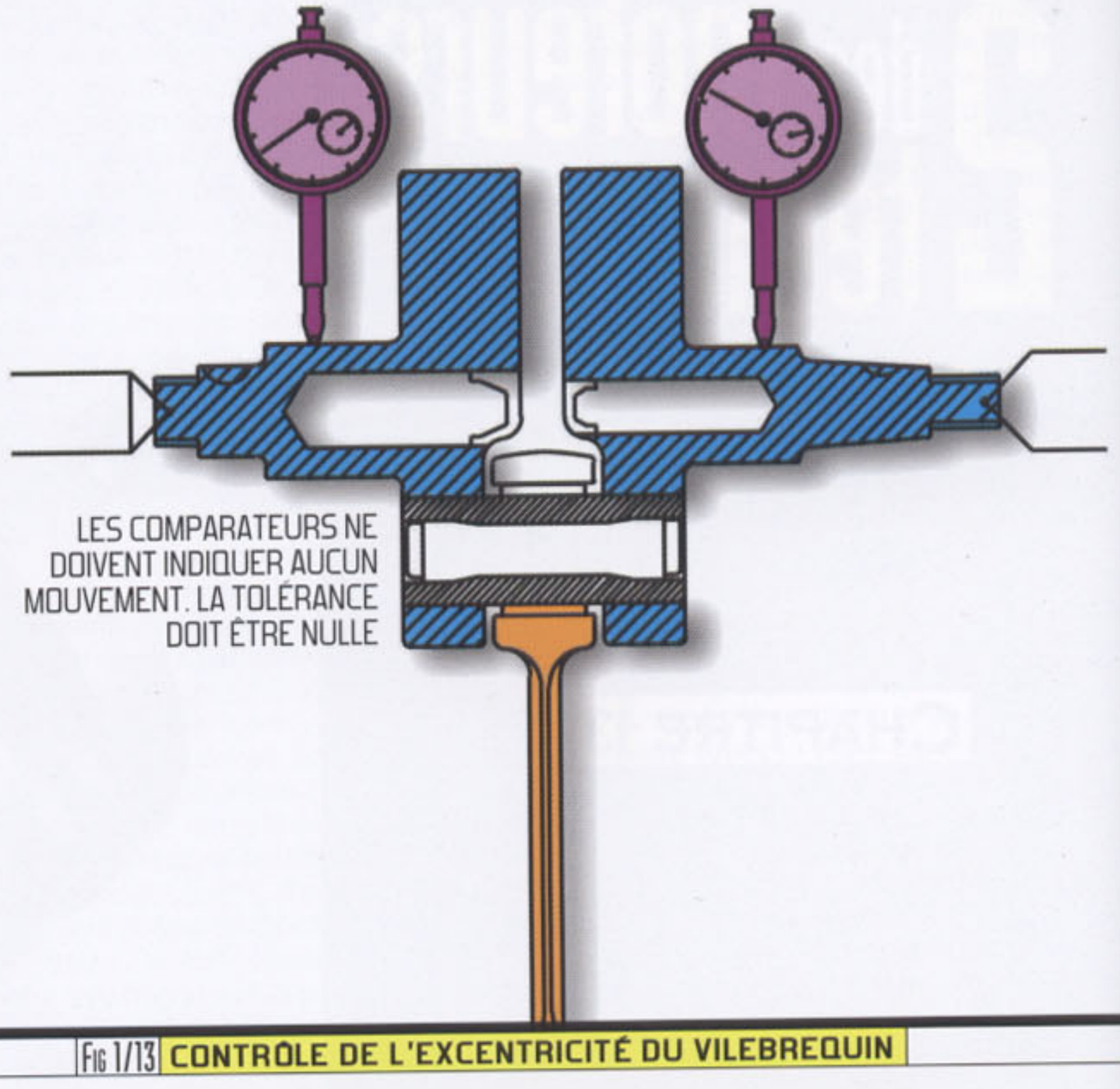


FIG 1/13 CONTRÔLE DE L'EXCENTRICITÉ DU VILEBREQUIN

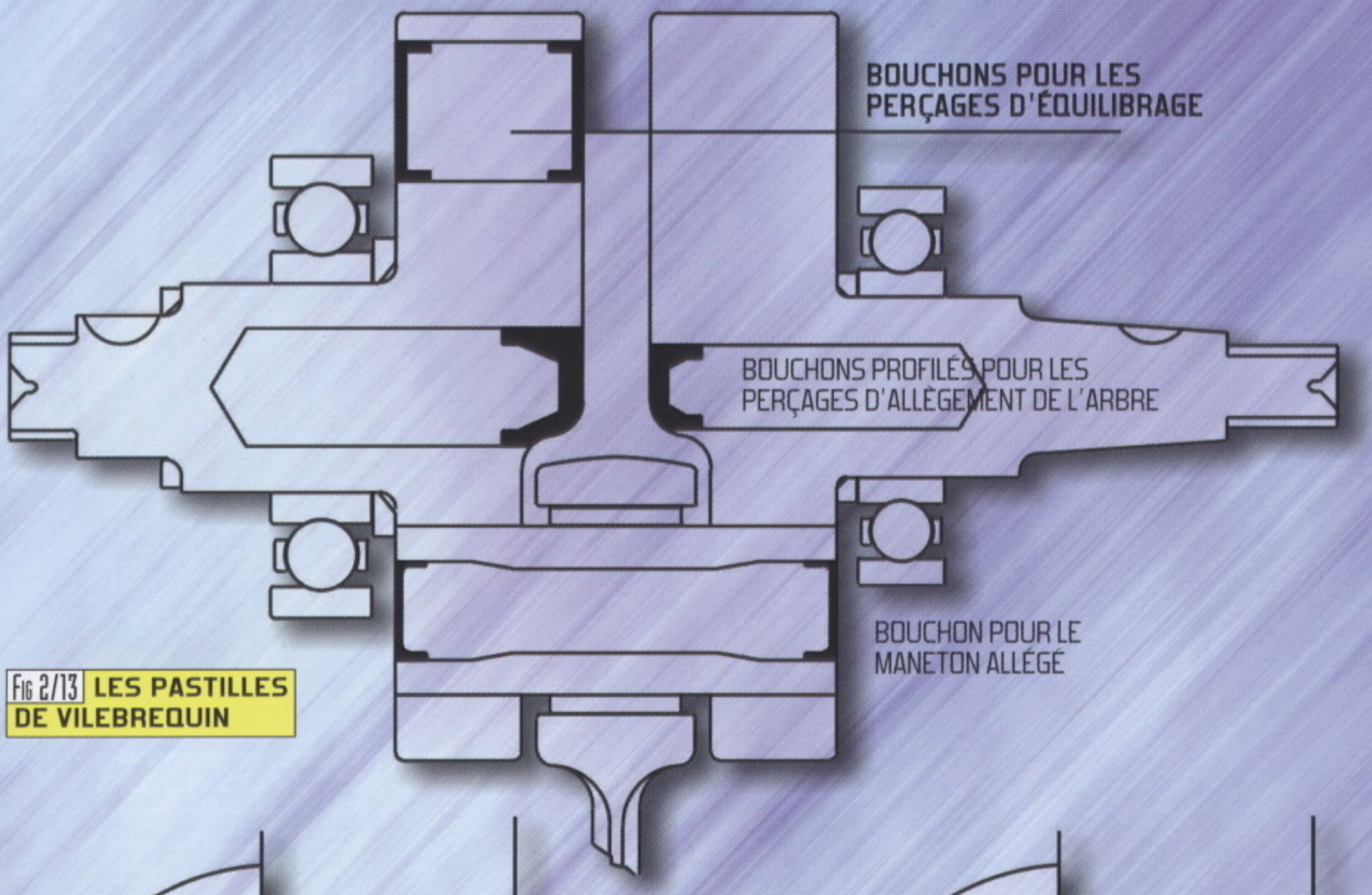


FIG 2/13 **LES PASTILLES DE VILEBREQUIN**

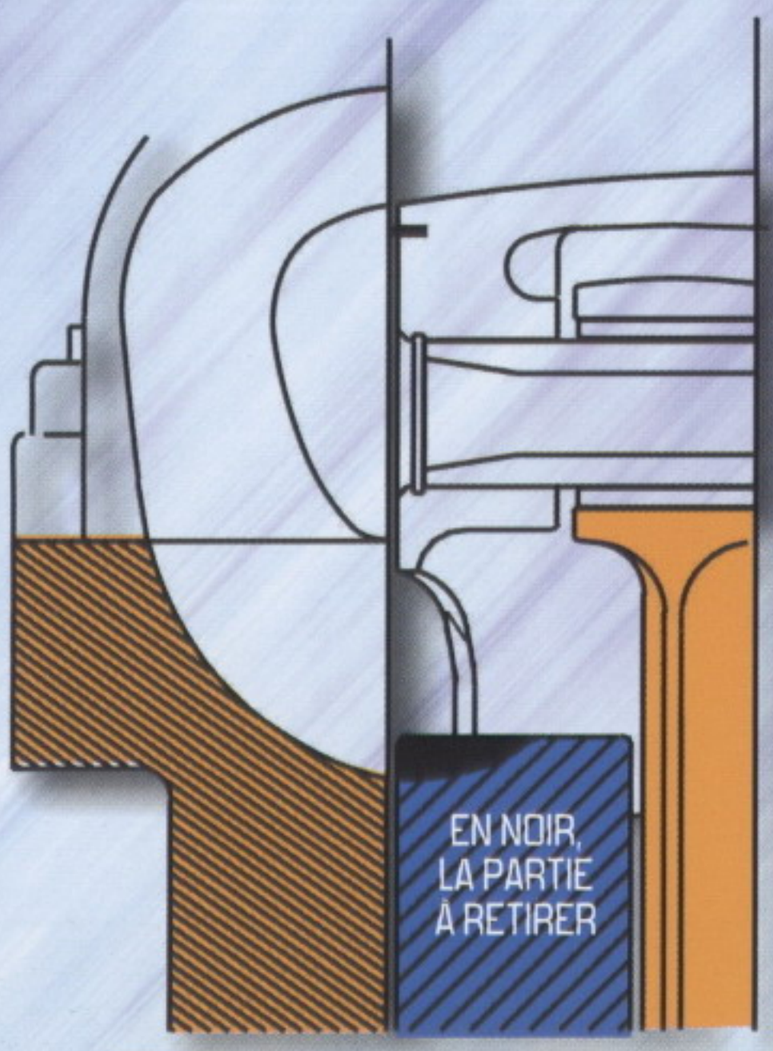


FIG 3/13 **RECTIFICATION DU VOLANT EN CAS DE DIFFÉRENCE DE HAUTEUR AVEC LA LUMIÈRE DE TRANSFERT**

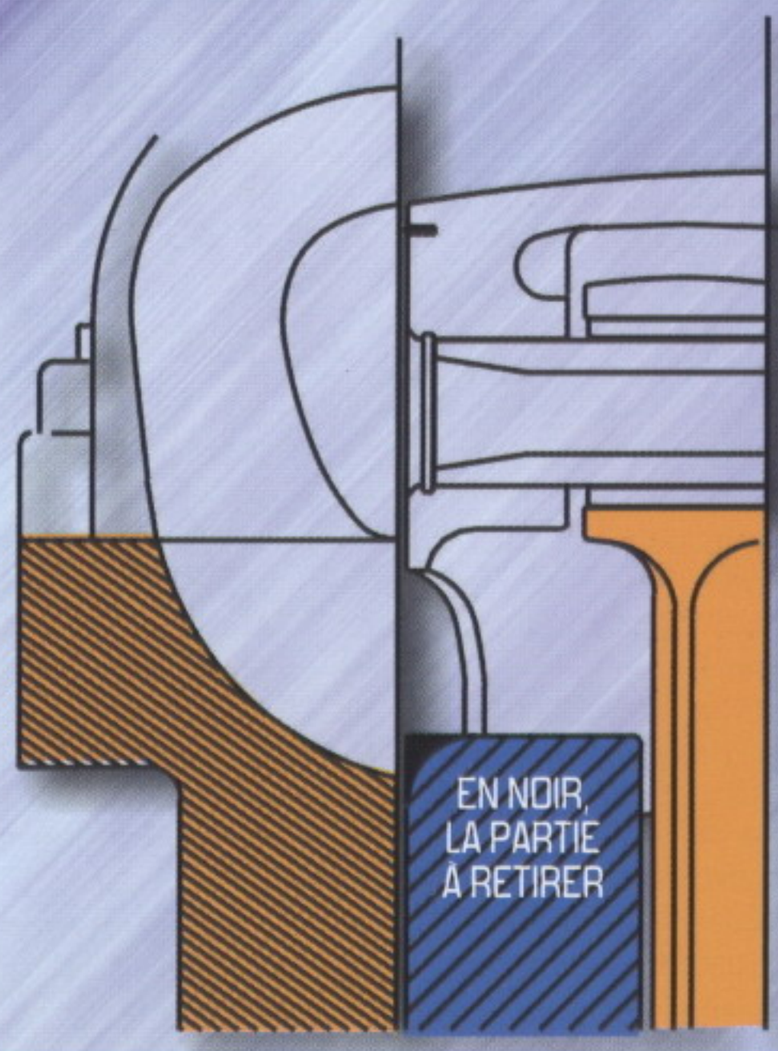
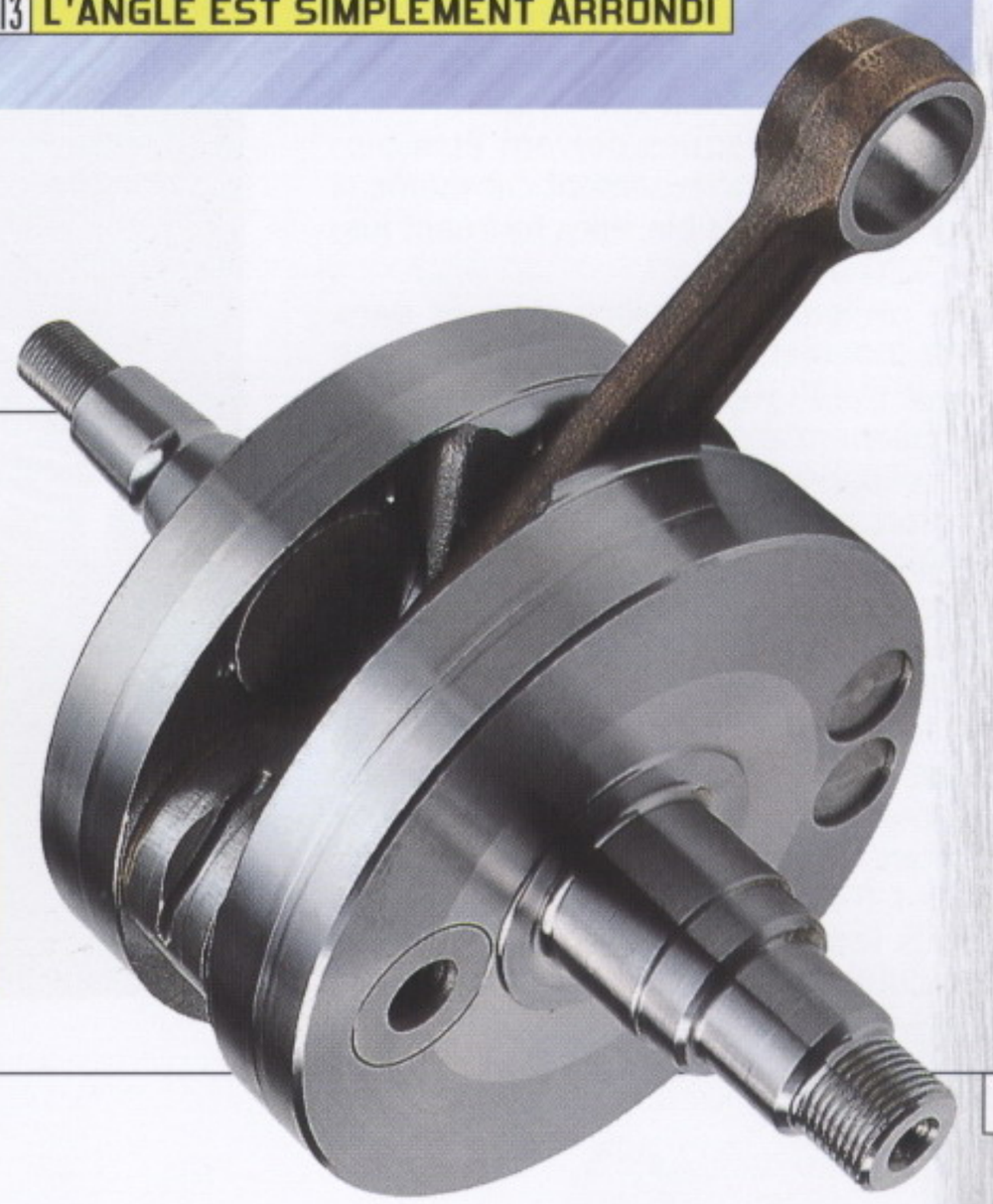


FIG 4/13 **L'ANGLE EST SIMPLEMENT ARRONDI**

présenter la moindre trace de rayure. Un contrôle à la loupe x10 est généralement suffisant et l'on écartera sans hésitation les pièces marquées, quelle qu'en soit la cause.

Si par hasard il vous vient à l'esprit de construire un vilebrequin, sachez que le matériau utilisé doit pouvoir supporter les charges conséquentes qui s'appliquent sur ses axes. Depuis de nombreuses années, les vilebrequins sont réalisés dans un acier à cémentation de type pouvant être cémenté d'abord puis rectifié ensuite.

Quel que soit le diamètre de l'arbre, les parties utilisées pour l'assemblage doivent être parfaitement ajustées et ne présenter aucune trace pouvant engendrer à son tour une amorce de rupture.



Le vilebrequin d'un moteur deux Temps, ici un monocylindre se compose de deux arbres assemblés à la presse. La bielle de type monobloc tourne sur des rouleaux, du fait du système de graissage par huile perdue.

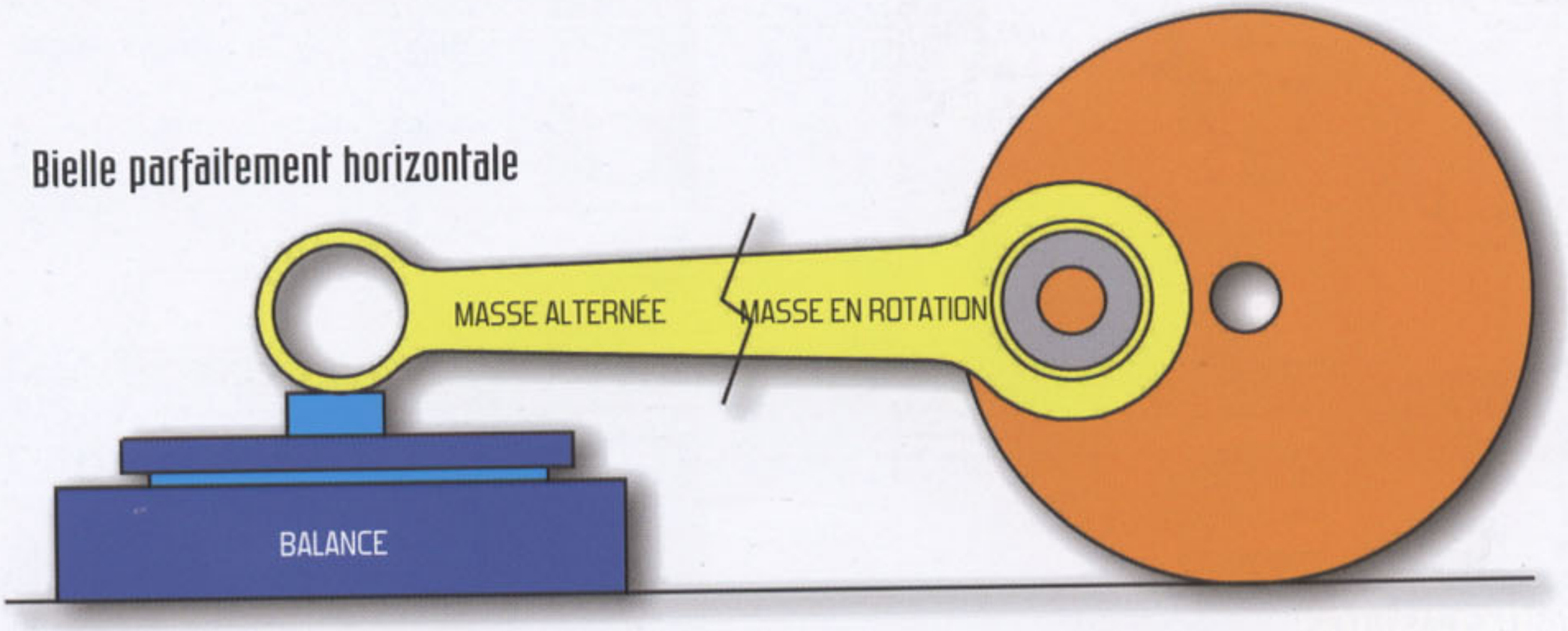
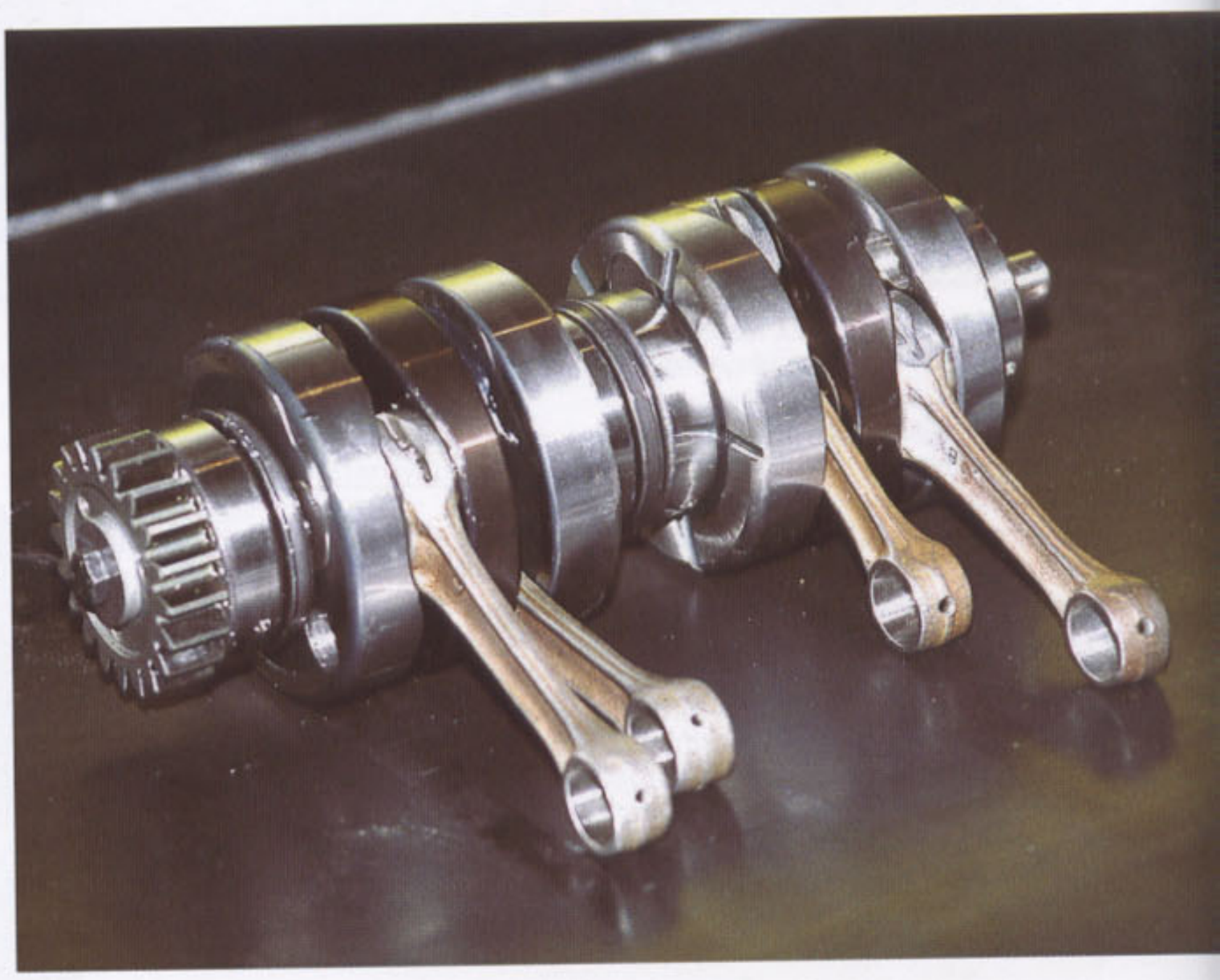


FIG 5/13 **PESAGE DU PIED DE BIELLE**

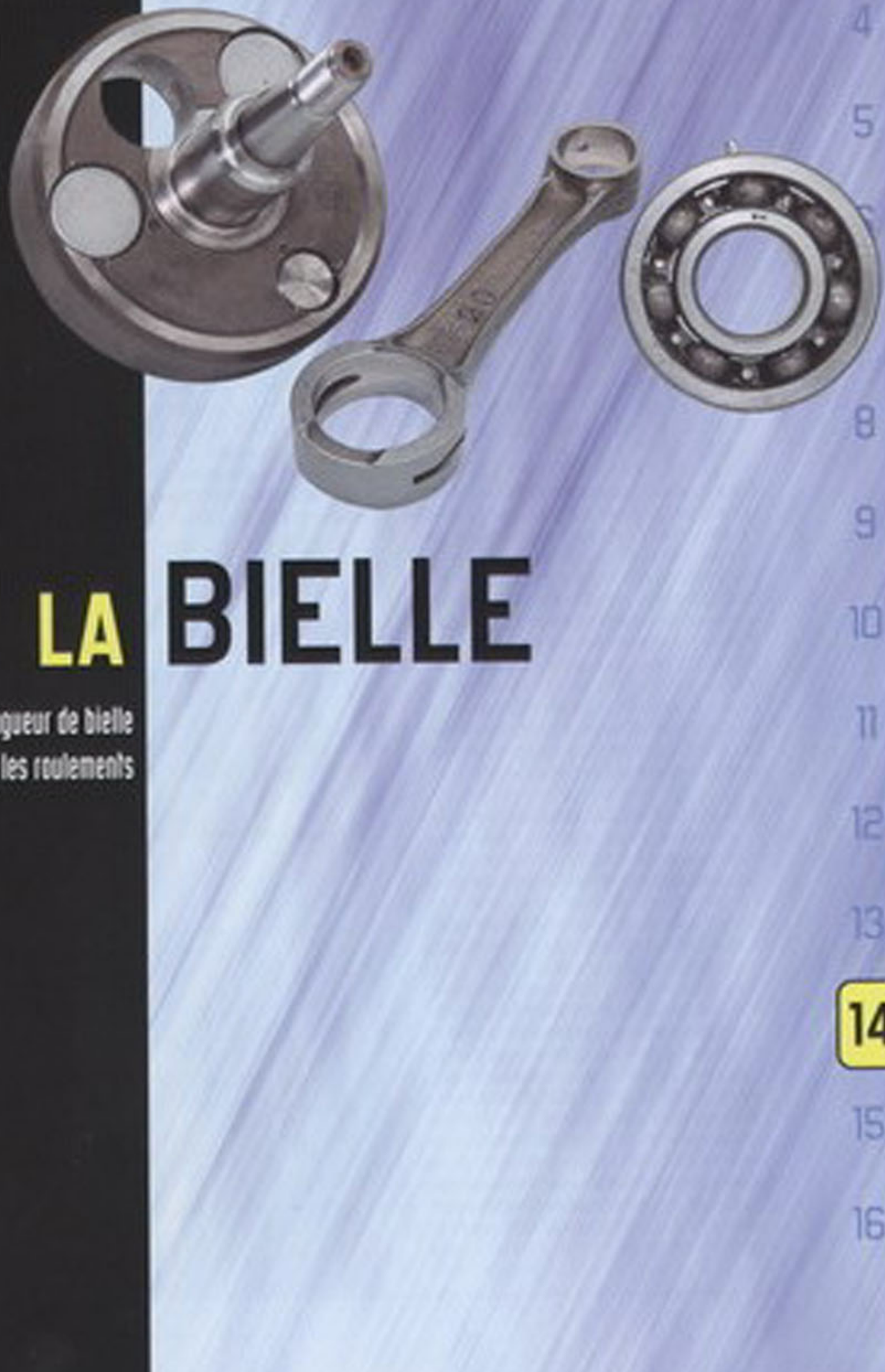
Les perçages d'équilibrage des contrepoints et des manetons, s'il y en a, constituent une source de turbulence pour le mélange admis dans le bas moteur.
Il faut les boucher avec des pastilles en aluminium enduites de Loctite (fig.2/13).
Pour la même raison, les surfaces des contrepoints et les entrées des transferts doivent être alignées. Là aussi l'écoulement de la charge peut être perturbé (fig.3/13). Si les contrepoids sont légèrement décalés par rapport à la face inférieure des transferts et qu'on ne souhaite pas compromettre l'équilibrage par une modification importante, il faut au minimum casser les angles vifs (fig.4/13).
Sur les moteurs de compétition, des plaques en plastiques profilées sont fixées sur les contrepoints de façon à en uniformiser l'épaisseur.
Si l'on veut faire de même, il faudra utiliser un matériau résistant à la température et à l'effort mécanique. En effet, et cela est déjà arrivé à plusieurs grandes équipes, la chaleur provenant du frottement de rotation et la force centrifuge déforment ces pièces rapportées et l'équipage mobile finit par bloquer.
Ces petites plaques doivent être bloquées consciencieusement car même si leur masse est faible, elles tournent jusqu'à 20 000 tr/min.
Les roulements d'arbre bloqués dans leur logement constituent le montage idéal. L'utilisation de Loctite appropriée empêchera d'éventuels déplacements et solidarisera les pièces entre elles en renforçant le tout.
L'ajustement d'assemblage peut donc être légèrement plus grand pour éviter trop de tensions après montage. Cela réduit aussi les risques liés aux bavures et aux erreurs de perpendicularité entre l'axe vertical de roulement et l'axe de l'arbre moteur.
Sur les moteurs multicylindres, les chanfreins d'entrée des trous filetés et des trous lisses doivent être correctement exécutés et ne pas présenter de bavures qui nuiraient au contact ou au serrage des coussinets (rapportés ou taillés dans la masse).

L'EQUILIBRAGE DU VILEBREQUIN

L'équilibrage des monocylindres est impossible : il faut utiliser un ou plusieurs arbres d'équilibrage dont les masses tournent en sens contraire pour annuler les vibrations, une technique largement répandue aujourd'hui.
Un équilibrage statique est néanmoins possible au niveau des masses rotatives et alternées. Son rapport est déterminé empiriquement en fonction du régime d'utilisation du moteur. Les méthodes sont jalousement tenues secrètes et sont vérifiées au banc ou sur piste. En gros, cet équilibrage est établi aux environs de la moitié du poids des masses alternées.
L'arbre complet est posé sur deux lames parallèles et horizontales. Quelle que soit la position de l'arbre, celui-ci ne doit pas tourner.
P1 représente la masse du piston complet.
P2 représente la masse du pied de bielle mesurée selon les modalités décrites à la figure 5/13.
Une masse égale à 0,5 fois (ou un coefficient plus adapté) la différence entre P2 et P1 est ajoutée au pied de bielle.
La masse C, positionnée en fonction du volume de matière des contrepoids à l'opposée du maneton, correspond à 0,5 fois (ou un coefficient plus adapté) la somme P1 +P2.
Le coefficient de 0,5 est une valeur grossière qui varie en fonction des essais et des exigences. Normalement, la variation n'excède pas quelques centièmes.



La préparation des moteurs 2 temps



CHAPITRE 14

LA BIELLE

Longueur de bielle
Les coussinets et les roulements

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16

La bielle d'un moteur deux temps n'est pas aussi sollicitée que celle d'un moteur quatre temps. La compression créée à chaque extrémité de la course amortie en effet les effets de l'inertie des masses alternées lors des décélérations/accélérations qui se produisent au PMB et au PMH. Il n'existe donc pas de phase où le moteur tourne sous une charge inertielle qui comprime la bielle puis l'allonge. Le seul moment vraiment dangereux est lors de la décélération en coupant les gaz et en descendant les rapports. Comme il n'y a pas d'air ni sous le carter ni au dessus du piston avant explosion durant cette phase précise de pilotage, la bielle subit des charges excessives en mesure de provoquer une rupture. Mais globalement, les bielles d'origine sont capables de supporter une hausse de puissance et de régime moteur sans risques majeurs.

Voici néanmoins quelques points à respecter :

1 *La bielle doit travailler perpendiculairement à l'axe du vilebrequin et celui-ci doit être parfaitement dégauchi.*

Le contrôle métrologique consiste au montage d'axes ajustés légèrement serrés dans le pied et la tête de bielle, une fois celle-ci portée à 100°C et bien lubrifiée pour éviter de marquer les surfaces de contact. Pour un entraxe d'au moins 20 cm, il ne doit y avoir aucun défaut (fig.4/14).

2 *La surface de contact des coussinets et de l'axe de piston doit être exempte de traces quelconque de choc, de rouille ou d'inclusion.*

Contrôlez la cylindricité de cette partie à température de fonctionnement. Les usinages étant exécutés à température ambiante, la géométrie peut varier à chaud. Si les roulements ou les coussinets ont un jeu excessif, la bielle peut alors se mettre légèrement de travers et générer des frottements supplémentaires. En travaillant inclinée, la bielle est plus exposée à la rupture.

3 *Si vous en avez la possibilité, faites un contrôle non destructif qui mettra en évidence d'éventuelles faiblesses et faites vérifier la dureté de cémentation.*

4 *Ne cherchez pas à alléger la bielle : les bielles modernes sont toutes optimisées à ce niveau.*

Forgée à chaud, la bielle est constituée d'un métal compact très résistant. L'usinage des passages d'axes prend le relais et la cémentation de ces zones conclut la fabrication. Ce dernier traitement durcit le métal sur 0.25mm d'épaisseur. Le reste de la bielle étant généralement cuivré, si l'on retire cette couche superficielle pour l'alléger ou la polir, sa résistance sera remise en cause. Il ne faut donc pas toucher à cette surface sauf si l'on dispose d'une station de micro billage.

Les sous-traitants spécialisés (Pankle, Carillo) fournissent les bielles des plus grands teams sans autres informations que la puissance et les cotes caractéristiques du moteur. Ces bielles spéciales sont issues de petites séries de forgeage et reçoivent plusieurs trempes au niveau des axes. Les autres surfaces sont parfois polies et micro billées. Si vous optez pour des pièces d'une qualité approchante, ne pensez même pas à les modifier.

LA LONGUEUR DE LA BIELLE

Plus la bielle est longue et plus le piston restera à proximité du PMH durant la phase de combustion, entre autres avantages. Par contre, une longueur excessive provoquera une augmentation du volume du carter, nuisible au fonctionnement. Le standard est une longueur égale à deux fois la course.

LES COUSSINETS

Seuls les moteurs ayant un faible régime de rotation sont équipés de coussinets en matériau antifriction. Sur toutes les autres configurations, aussi bien au niveau de l'axe de piston que des tourillons et des manetons, on trouve des roulements. Généralement à rouleaux, ils sont de qualité supérieure sur les moteurs très puissants. Quant à l'axe du piston, il tourne le plus souvent sur une cage à aiguilles.
Une qualité supérieure ne signifie pas une précision d'exécution forcément meilleure. Elle se traduit par des cages plus légères et plus résistantes et par des revêtements antifriction plus efficaces (en argent notamment). Bien que légèrement plus chers à l'achat, ces roulements doivent être préférés lorsque cela est possible.
Réduire la masse d'une cage réduit les frottements sur les rouleaux, qui doivent encaisser l'inertie de cette dernière tout en assurant la rotation. Ils tournent vraiment au lieu de glisser sous l'effort.
À 10 000 tr/min, ce phénomène met le film d'huile à rude épreuve. Il finit par brûler sous la chaleur du frottement et le métal des pièces en mouvement relatif entre en contact. À ce stade, il n'y a pas d'autres issues que la rupture brutale d'un des composants avec pour conséquence une bielle "coulée", par exemple. Les épaulements de centrage de la bielle sont aussi source de frottement. On a parfois observé une surchauffe issue du frottement entre les coussinets, le lubrifiant et les axes du vilebrequin.
L'alignement de la bielle est parfois confié à des cages à aiguilles centrées sur le piston. Ce type de montage, qui ne profite pour l'instant qu'aux moteurs très poussés, utilise le fait que le piston effectue une rotation limitée aux frottements moindres. L'inconvénient majeur de cette solution technique est une masse alternée plus importante.
Un tel montage nécessite des pistons à passage d'axe spécifique.
L'alternative consiste à utiliser des cales traitées à l'argent et à fonctionner avec un jeu précis.

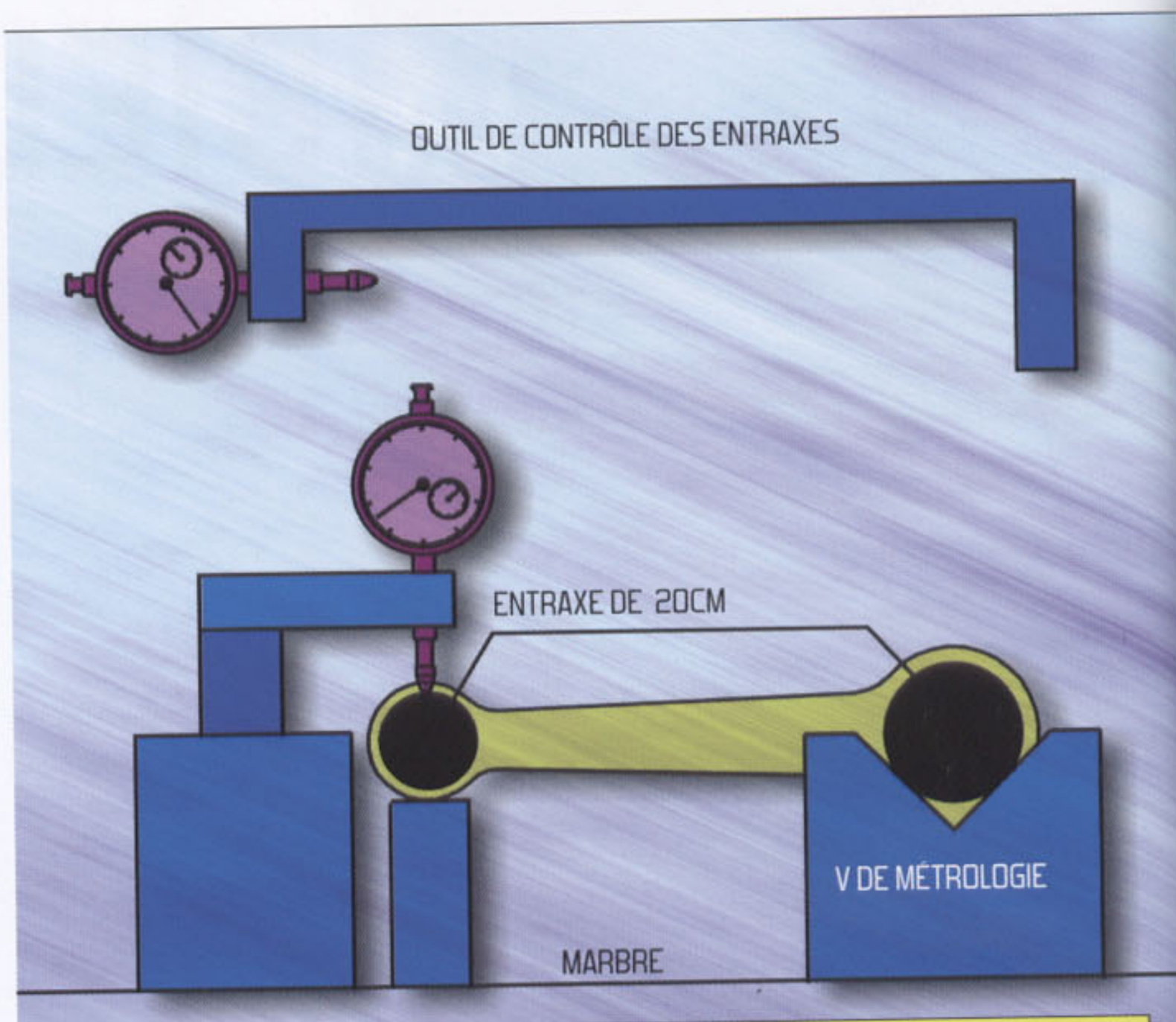


FIG 1/14 CONTRÔLE DU PARALLELISME DES AXES DE TETE ET DE PIED DE BIELLE

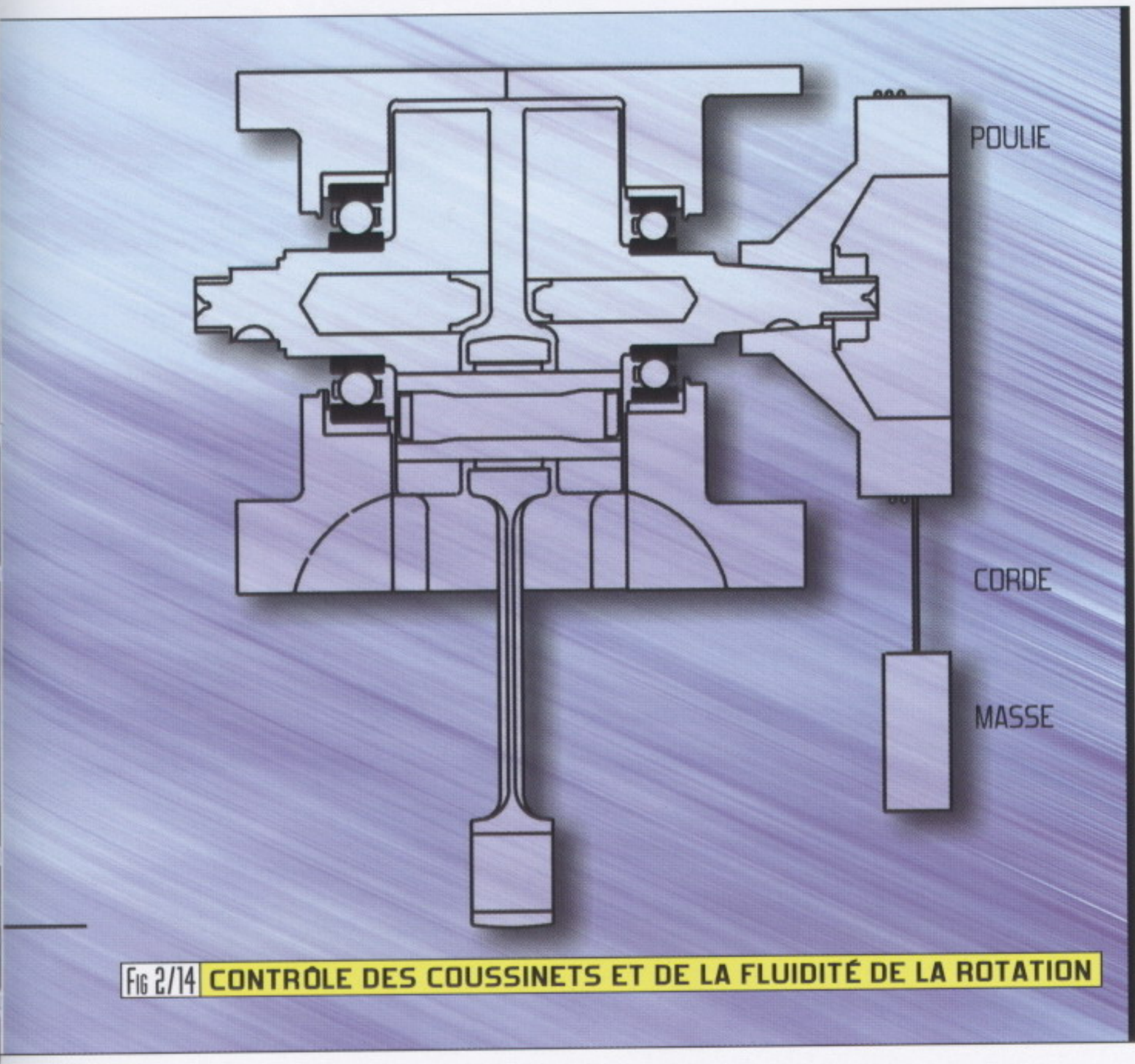


FIG 2/14 **CONTRÔLE DES COUSSINETS ET DE LA FLUIDITÉ DE LA ROTATION**

Le nombre de casses moteurs consécutives à un jeu trop faible est très important. S'ils conviennent sur les moteurs routiers, ces jeux sont trop faibles pour assumer les dilatations engendrées dans le cas d'une utilisation en compétition.
C'est pourquoi il faut s'assurer que les tolérances des pièces concernées coïncident avec les recommandations des fabricants de roulements.
Une vérification très simple en situation consiste à monter une poulie d'une dizaine de centimètres en bout de vibrequin équipée d'une corde et d'une masse suspendue au bout. La bielle pointera évidemment vers le bas et les pièces seront aspergées d'huile de lubrification. Si le poids de la masse ne réussit pas à mettre l'arbre en mouvement à température ambiante inutile de faire le test à chaud, le blocage sera encore plus conséquent. Le cas échéant, il faut évidemment s'assurer que le mouvement est correct à la température de fonctionnement.
Ce test peut être réalisé sur un moteur complet, après dépose de la bougie et de l'allumage, à l'aide d'une masse plus conséquente. On s'assurera ainsi du jeu du haut moteur et l'on pourra caractériser la qualité du contact au niveau piston/segment/lumière après dépose de la culasse. □

La préparation des moteurs 2 temps

CHAPITRE 15

PISTON et SEGMENTS

Forme du piston
Traitement de surface
Traitement Molykote
Mode d'emploi
Les pistons
Le segment
Modifications du piston

Le piston est en effet constamment soumis aux accélérations et aux décélérations, à la pression de combustion et aux chocs thermiques. Le ciel atteint 400°C à chaque cycle alors que le dessous de la calotte est à la température du carter puisque refroidi par des jets d'huile. De plus, le segment est relativement libre à la montée et littéralement comprimé contre la paroi après la combustion, jusqu'à 300 fois par seconde. Les Japonais, comme à leur habitude, ont été les premiers à résoudre le problème de fiabilité des pistons en utilisant un alliage hyper eutectique, c'est-à-dire contenant de la silice. En effet, des teneurs en silice supérieures à 16 % réduisent sensiblement la dilatation du piston et augmentent sa résistance mécanique.
Une dilatation thermique implique des jeux fonctionnement moindres, ce qui constitue un avantage de taille pour assurer une bonne étanchéité du segment. Cependant, il existe des cas de figure où le cylindre se dilate sans que le piston ne suive le mouvement. Conséquence : une perte de compression importante consécutive à un jeu devenu trop important. Les pistons forgés constituent une alternative, grâce à leur résistance à la chaleur et à la fatigue. Mais leur prix est plutôt décourageant, même en regard des pièces d'origine.
La différence essentielle avec un piston moulé est qu'une portion de métal absolument homogène, tant en qualité qu'en alliage, est d'abord portée à 600°C avant d'être comprimée par une forge à une pression de quelques tonnes par cm^2 dans une matrice en acier.
La structure entière devient ainsi très compacte, sans bulles ni inclusion. Lors du refroidissement, de longues chaînes se forment au niveau cristallin et assurent une résistance plus importante au produit final.

Dans le procédé par fusion, le métal est versé dans un moule par gravité. Les procédés les plus évolués font tourner le moule de façon à profiter de la force centrifuge pour que l'alliage en fusion aille dans les endroits les plus difficiles d'accès, sinon il est injecté à basse pression.
Malgré l'évolution du procédé, personne ne peut garantir que le produit de fusion soit exempt d'inclusions ou de micro fissures.
Un autre inconvénient de la fusion est la durée de refroidissement de l'alliage fondu (1200°C) jusqu'à la température ambiante. Les réactions chimiques qui se déroulent pendant ce laps de temps ne sont pas bien maîtrisées ni totalement homogènes car la température est deux fois supérieure à celle du forgeage. Pour résoudre ce problème, les pistons doivent subir des traitements thermiques destinés à éliminer les tensions et les cristallisations anormales.
Lorsque c'est possible, il vaut donc mieux opter pour un piston forgé, plus résistant à tous points de vue et plus durable.
L'inconvénient des pistons forgés non retravaillés, outre un prix plus élevé, est leur masse jusqu'à 10 % supérieure à celle d'un piston moulé. Cette différence prend tout son sens à 15 000 tr/min, ce qui explique peut-être pourquoi ces produits ne sont pas très répandus sur les moteurs deux temps, contrairement aux quatre temps où personne ne penserait à utiliser des pistons moulés, malgré des régimes aussi élevés qu'en deux temps.
L'avantage des pistons moulés est que cette technique permet de prévoir dans le moule toutes les nervures nécessaires à sa résistance mécanique (photo 1/15). Cela facilite la recherche d'une masse moindre, tout en permettant un coût de production limité.
À l'inverse, sur les pistons forgés, on est obligé d'usiner l'intérieur du piston à l'aide d'une fraiseuse trois axes. C'est nettement plus onéreux et les prix ne restent raisonnables que pour des séries assez importantes. Après l'usinage, les surfaces travaillées sont microbillées pour retrouver leur dureté superficielle.

Les pistons de la dernière génération au béryllium sont entièrement usinés dans la masse par fraisage et tournage numériques. Ils coûtent donc très chers et ne sont pas à la portée des pilotes privés. Leurs principaux avantages sont la résistance, une faible masse (-30 %) et une bonne dissipation de la chaleur. La prestation offerte par cet alliage d'aluminium est difficilement atteinte par d'autres produits.

LA FORME DU PISTON

Il existe des pistons à ciel plat, à ciel convexe et même conique.
Utilisés avec les bons angles de transfert, les pistons à ciel plats présentent un léger avantage en termes de puissance maxi. La plage d'utilisation est moins étendue et la courbe plus directe, le pilotage devenant alors logiquement plus délicat.
La forme convexe sera préférable pour profiter d'une courbe plus linéaire. Enfin, les pistons à ciel conique font l'unanimité en kart 100 cm^3, à condition d'avoir des angles de transferts très prononcés. Ils permettent une plage d'utilisation étendue, un avantage puisque ces véhicules n'ont pas de boîte de vitesses.
Chaque remplacement de piston, qu'il soit ou non identique à l'ancien, implique une vérification du taux de compression et de la forme de la bande de squish. Il est commun d'observer des variations de plusieurs dixièmes de millimètres. Outre un contact possible entre piston et culasse dans le cas d'une bande de

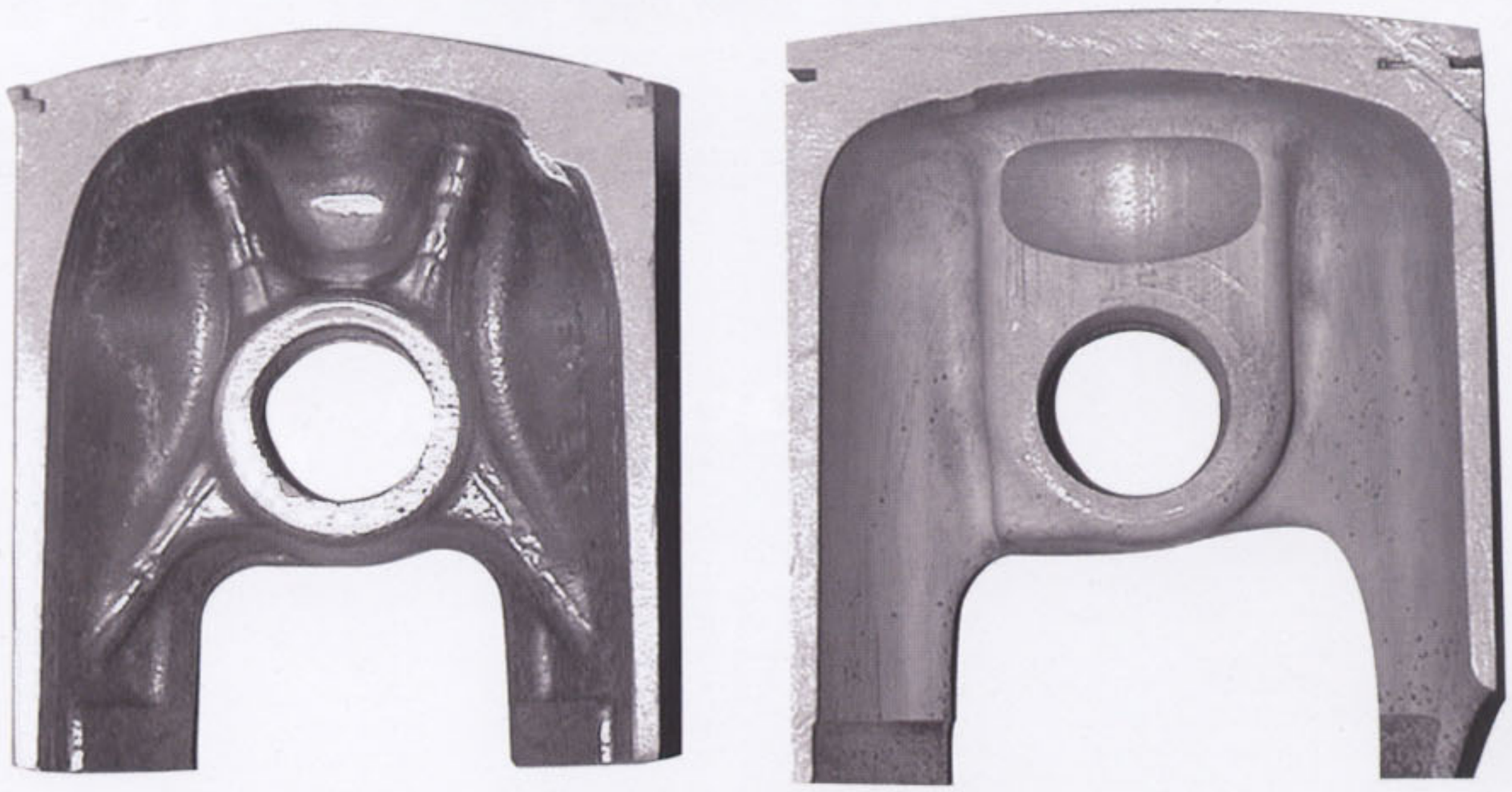


FIG 1/15 DIFFÉRENCES STRUCTURELLES ENTRE PISTON MOULÉ ET PISTON FORGÉ

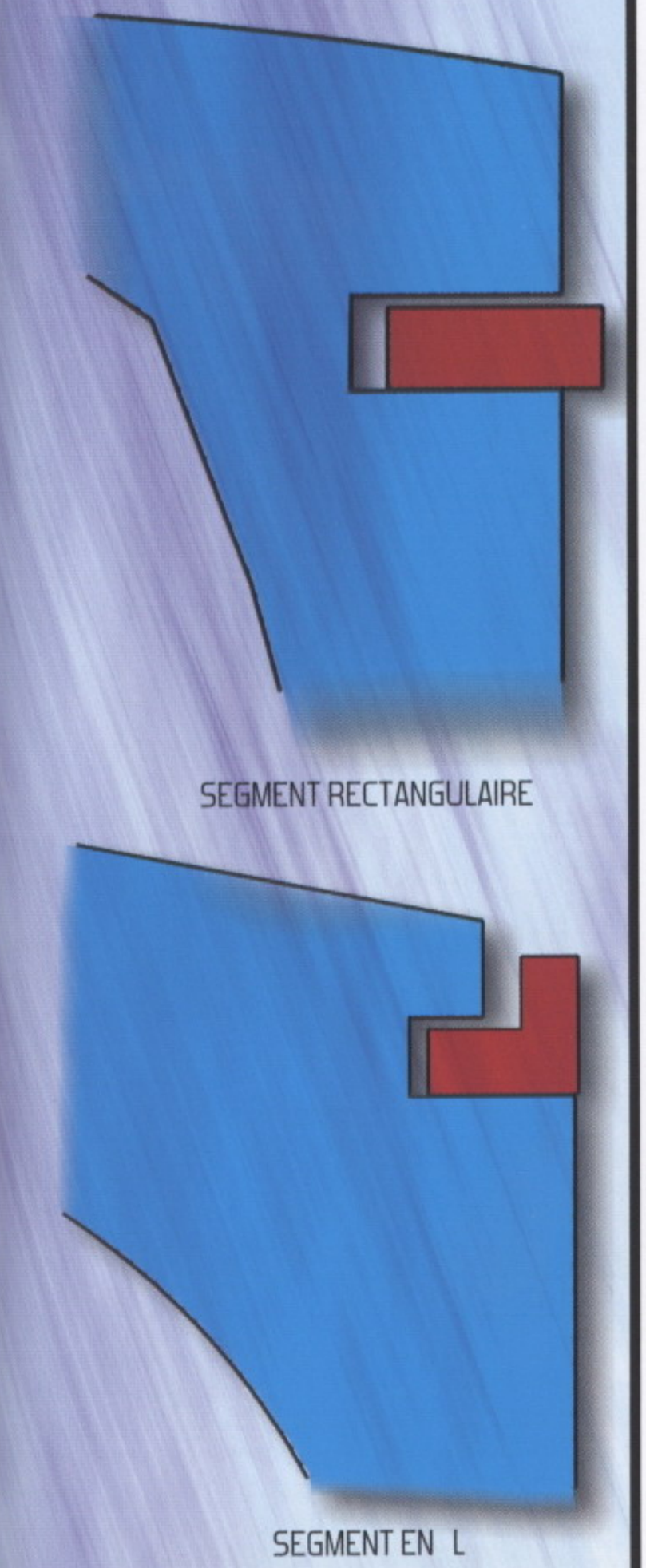


FIG 1/15 **SEGMENTS POUR MOTEURS DEUX TEMPS**

squish plane et d'un piston convexe, il est facile d'entrer en détonation. Dans le cas d'une bande de squish très inclinée et d'un piston à ciel plat, l'efficacité du squish peut être remise en cause.
Il faut adapter la bougie en fonction du type de piston choisi. S'il s'agit d'un ciel plat, la bougie est généralement à électrode longue et dépasse légèrement de la chambre de combustion. Avec un piston convexe ou conique, vu le peu de place restant, il est quasiment indispensable de monter une bougie racing à électrode annulaire qui arrive au raz du toit de la chambre de combustion.
Sur les moteurs quatre temps, la longueur des pistons tend à diminuer de plus en plus, jusqu'à atteindre moins de la moitié de l'alésage. Sur les deux temps, les progrès réalisés sur les pistons ne sont pas applicables de façon aussi flagrante car leur hauteur, servant à fermer les lumières, ne peut être raccourcie à ce point. Plus la hauteur de la lumière est importante et plus celle du piston doit donc être conséquente. Dans le cas contraire, au PMH, les gaz d'échappement réussiraient à passer dans le bas moteur en empêchant un bon remplissage (fig.1/15).
Et pour un guidage correct, le piston doit être symétrique. Donc pas question de raccourcir le côté ne servant pas à la lumière d'échappement. Du coup, les pistons de deux temps ont une longueur supérieure à l'alésage.
Par ailleurs, une longueur importante du piston permet un bon travail horizontal au segment. Les gains d'étanchéité dépassent les pertes par frottement d'une surface de contact plus étendue.

LES TRAITEMENTS DE SURFACE

Les technologies développées par l'industrie aérospatiale ont fini par profiter aux constructeurs et, par extension, aux préparateurs motos.
Au lieu de recourir à des pièces entières en céramique pour la culasse ou le piston, on a désormais recours à des traitements de surface de 1 à 2 dixièmes de millimètres. Les procédés les plus simples consistent à projeter des vernis chargés en céramique qui durcissent ensuite au four entre 150 et 250°C.
Le résultat est satisfaisant, mais ne résiste pas à l'alternance des dilatations et des contractions liées aux amplitudes thermiques.
Il existe des procédés plus techniques, semblables au principe employé pour l'anodisation. Les couches fines sont alors très dures et bien adhérentes. Il s'agit du "plasma spray" qui permet d'obtenir un formidable bouclier thermique faisant partie intégrante de l'alliage de base. Ce procédé met en œuvre de petits accélérateurs de particules qui tirent sur les parois désignées un flux de gaz à très hautes température et pression additionné à des atomes divers qui s'incrustent dans l'alliage de base. La surface traitée est recouverte de couches de zirconium, de carbure de tungstène, de nitrure de titane, de nitrure de tungstène, de bore ou autre. Le transfert de chaleur au reste du piston diminue jusqu'à 50 % avec un meilleur contrôle de la dilatation.
Cependant, cette technique n'est pas systématiquement employée car confiner la chaleur n'est pas forcément la meilleure solution. Il vaut mieux traiter le ciel du piston qui est la partie la plus fragile et ne pas toucher à la culasse, sinon, on ne fait que déplacer le problème et le piston restera le maillon faible.
Dans tous les cas, ces diverses couches de protection ne sont pas oxydables en cas de détonation, et comme le piston ne subit pas d'érosion, l'avance peut être légèrement augmentée. Il faut tout de même éviter une détonation excessive qui n'a d'autres conséquences que celle de nuire au piston.

LE TRAITEMENT MOLYCOTE

Les traitements décrits précédemment ne sont accessibles qu'à la grande industrie capable de supporter les investissements colossaux qu'ils impliquent. En revanche, il existe une sorte de produit miracle à la portée de tous et dont la mise en œuvre est très simple.
Toutes les pièces peuvent être recouverte d'une pellicule extrêmement résistante à la corrosion et capable de garantir une bonne lubrification avec une résistance supérieure à celle d'autres produits traditionnels, le tout pour une fluidité incroyable.
Il s'agit du produit MOLYCOTE 7409 et nous tenons à préciser que nous n'avons pas d'actions chez eux. Ce produit s'emploie de -70 à +380°C et couvre donc presque toute la plage de température qui nous intéresse.
Une moto comporte un nombre conséquent de pièces pouvant recevoir ce traitement. Leur efficacité et leur durée de vie n'en seront que meilleures. Le rendement mécanique est amélioré dans la plupart des cas. Cela se traduit par une baisse des frottements et une hausse de puissance et de fiabilité.

MODE D'EMPLOI.

L'utilisation du produit 7409 nécessite une préparation préalable des surfaces métalliques pour garantir une accroche optimale.
Il faut commencer par un dégraissage au trichloréthylène ou au tétrachlorure de carbone dans un endroit très aéré en étant soi-même équipé d'un masque de protection. Les aciers et les matériaux ferreux seront ensuite sablés à l'oxyde d'aluminium 180 microns. Le fabricant recommande d'anodiser les pièces à base d'aluminium. On peut se rabattre sur un léger sablage ou un passage au papier de verre 200 pour retirer l'oxyde d'aluminium. Le traitement devra suivre immédiatement car l'alumine revient très rapidement pour ne pas dire instantanément.
Ne touchez plus les pièces nettoyées à mains nues car la graisse et la sueur pollueraient immédiatement les surfaces et limiteraient l'adhérence. Le Molykote 7409 se pulvérise comme un vernis sur les pièces chauffées à 50-60°C. La couche doit être très fine, de l'ordre de 0,5 à 2 centièmes de millimètres. Pour vous donner une idée, une feuille de papier à cigarette fait 2 à 2,5 centièmes d'épaisseur. Une couche plus importante facilite simplement le pelage et n'apporte rien au niveau de la résistance et de la fluidité.
Les pièces seront ensuite passées au four à 220°C pendant une heure afin d'assurer la complète polymérisation du produit.
À l'exception des pistons, les pignons de boîte, les tambours de sélection, les valves d'échappement et tous les autres composants mécaniques peuvent recevoir ce traitement.

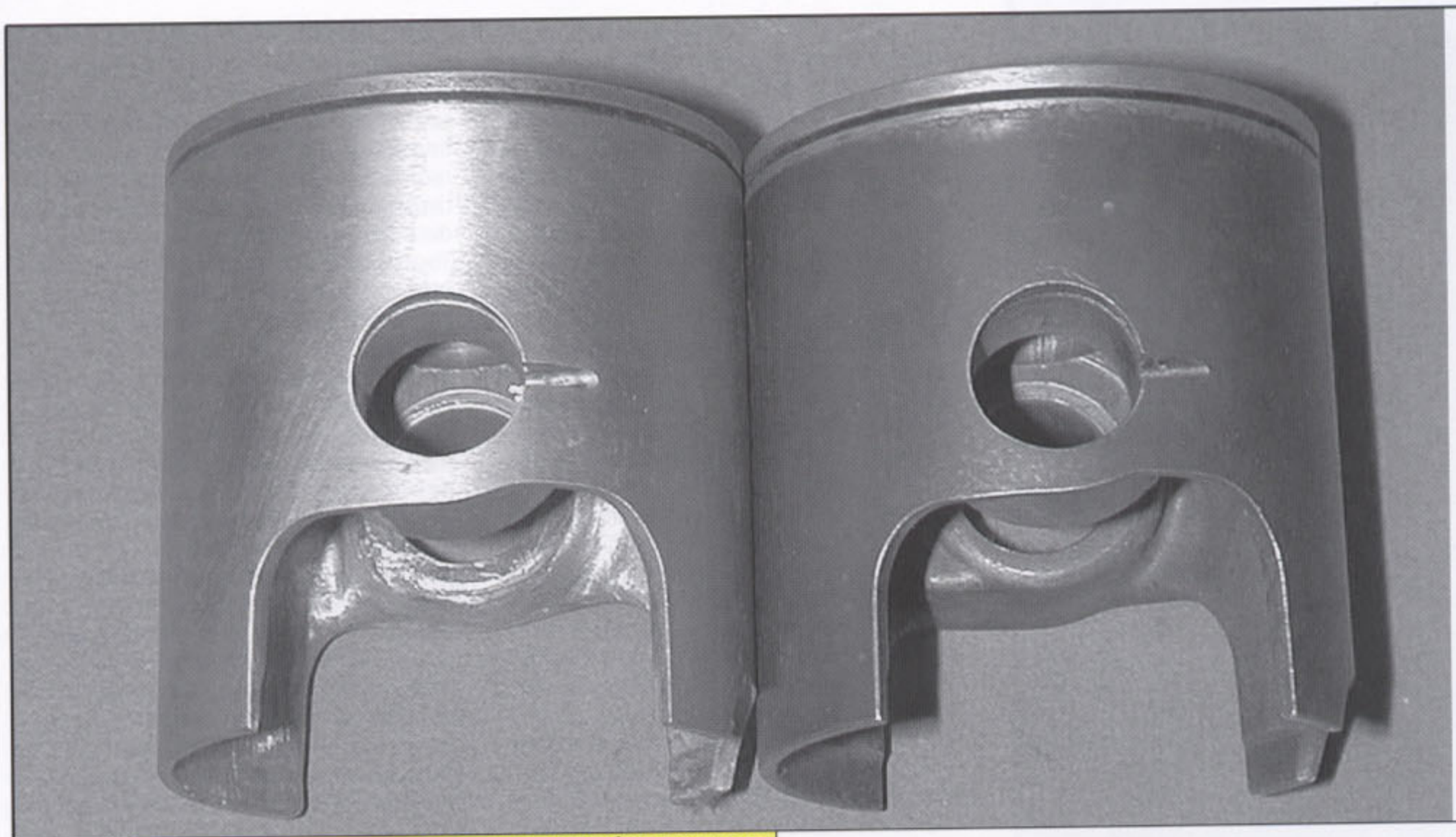


FIG 2/15 PISTON STANDARD ET PISTON TRAITÉ MOLYCOTE

LES PISTONS

Les pistons sont traités uniquement au niveau de la jupe, sous le logement du segment (fig.2/15). Le piston devra être bien préparé pour que l'adhérence soit la meilleure possible.
L'épaisseur de la couche ne doit pas dépasser 5 microns, au risque de rencontrer des problèmes de jeu dans le cylindre. On contrôlera la cote du piston après traitement et le jeu restant avec le cylindre.
Il est possible d'utiliser le Flex-Hone de façon à rétablir le jeu désiré. Cette opération permet également de retirer les plus petits défauts de surface. La durée de vie du revêtement n'en sera que plus longue. Comme la couche protectrice n'est pas éternelle, il convient de répéter l'opération à chaque démontage du haut moteur et jusqu'à une fois par semaine sur les moteurs de compétition.

LE SEGMENT

Les segments pour deux temps sont majoritairement de deux types : rectangulaires ou en "L" (fig.1/15). Les pistons sont bien évidemment livrés avec le modèle de segment étudié spécifiquement.
Cet anneau élastique garantit l'étanchéité du contact entre piston et cylindre en s'aidant de la pression développée par la combustion.
Plus la pression réussit à comprimer le segment sur la paroi du cylindre, plus le moteur tire avantage de cette situation. Les moteurs de kart utilisent beaucoup les segments en L. Ceux-ci améliorent la compression, mais la perte par frottement est plus importante du fait d'une surface en contact plus importante (leur hauteur est double). En étant très proche de la combustion, ils en ressentent plus particulièrement les effets et sont utilisés sur les pistons à segment unique (fig.2/15).
En prenant en compte le jeu dans sa gorge, le frottement sur la paroi et la pression qui agit sur sa surface externe, le segment en L à tendance à pivoter dans son logement (fig. 3/15). Du coup, les frottements sont limités, mais ce mouvement occasionnant une torsion, les risques de rupture sont accrus.
Lorsque c'est possible, il vaut mieux utiliser un piston équipé d'un seul segment rectangulaire de faible épaisseur. Si le cylindre est correctement usiné et pour peu que le segment soit changé régulièrement, les résultats seront toujours meilleurs.
Pour réduire le contact des segments avec la paroi et donc le frottement, les segments des moteurs de compétition ne sont pas rectangulaires mais biseautés de 5 à 10° (fig.4/15).
Le jeu entre les deux extrémités du segment est très important. Un jeu trop faible conduit au contact de ces extrémités lors de la dilatation, avec une perte de puissance d'abord et un grippage ensuite. Si au contraire, le jeu est trop important, il y aura une fuite de gaz qui s'accompagnera d'une chute de puissance (photo.3/15). Un grippage est possible dans cette configuration. La puissance maximale est obtenue pour un jeu piston/segment/cylindre minimal. Il vaut mieux procéder petit à petit pour obtenir ce résultat.
Les moteurs refroidis par eau, grâce à des écarts de température plus, faibles ont besoin de moins de jeu que leurs homologues à air. C'est l'une des raisons pour lesquelles les modèles à eau sont plus puissants.

LES MODIFICATIONS SUR LE PISTON

Il est conseillé de chanfreiner les bords inférieurs de la jupe afin de favoriser la lubrification, le bord raclant moins le film d'huile. Il faut également casser tous les angles vifs pour éviter une amorce de rupture.
Il faut éviter d'agrandir les éventuels passages pratiqués sur la jupe pour augmenter la durée ou la quantité du mélange ou encore pour alléger l'ensemble. Seule la résistance variera, en général dans le mauvais sens. Si l'on veut adapter le piston aux dimensions du conduit, mieux vaut utiliser un modèle spécialement étudié pour des passages plus grands.
Il peut être nécessaire d'arrondir légèrement le bord supérieur de la gorge et de retoucher l'appui inférieur de façon à éviter qu'une dilatation d'un bord externe ne provoque un blocage du segment (fig.5/15).
Mesurez le jeu entre les deux extrémités du segment une fois introduit dans le cylindre. Le jeu normal est d'environ 4 centièmes par centimètre de piston (fig. 6/15), mais souvenez-vous que chaque moteur est un cas particulier.
Casser les angles vifs des extrémités du segment pour éviter qu'ils ne rayent la paroi du cylindre (fig.7/15).
Grâce aux pistons à forte teneur en silice ou forgés, aux cylindres en aluminium traités et refroidis par eau, les jeux sont très réduits.

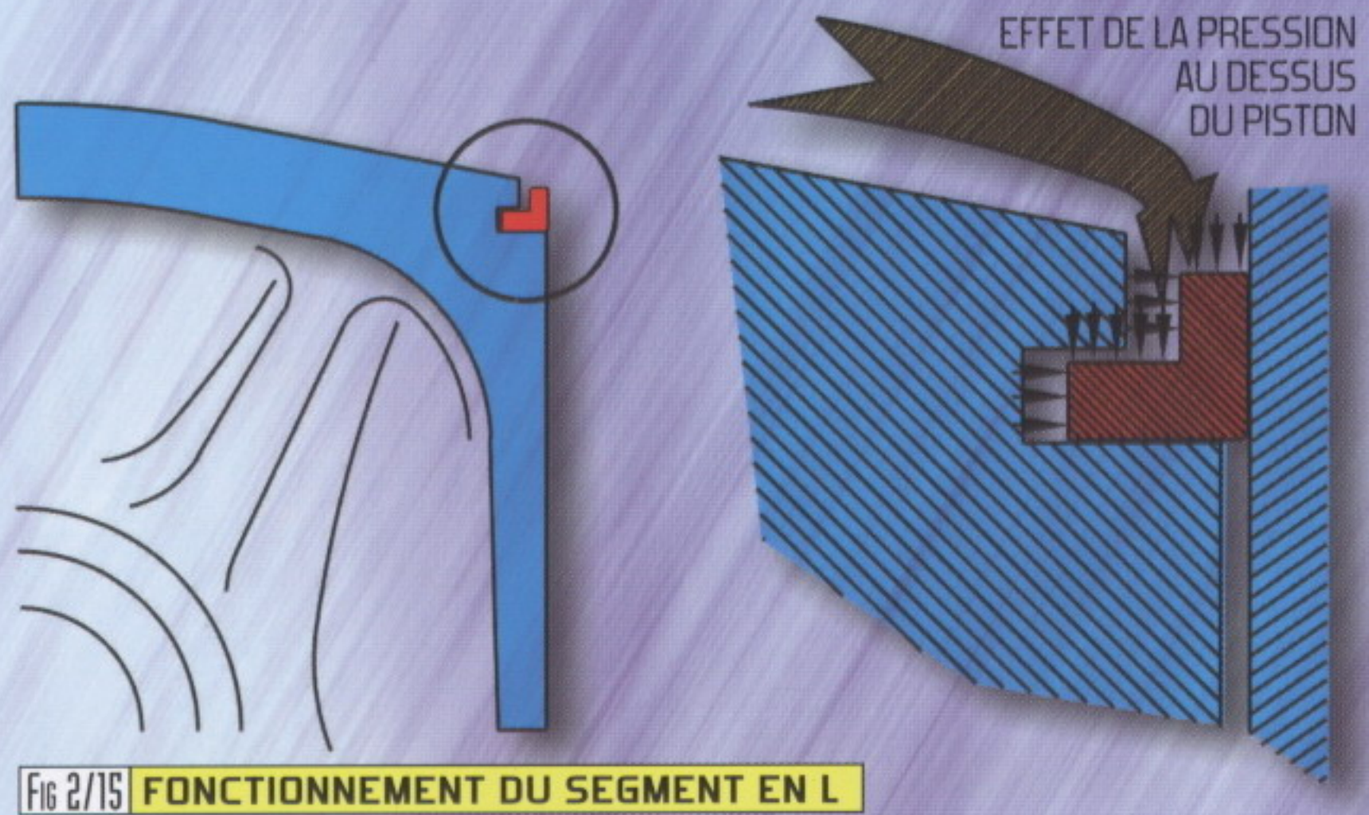


Fig 2/15 **FONCTIONNEMENT DU SEGMENT EN L**

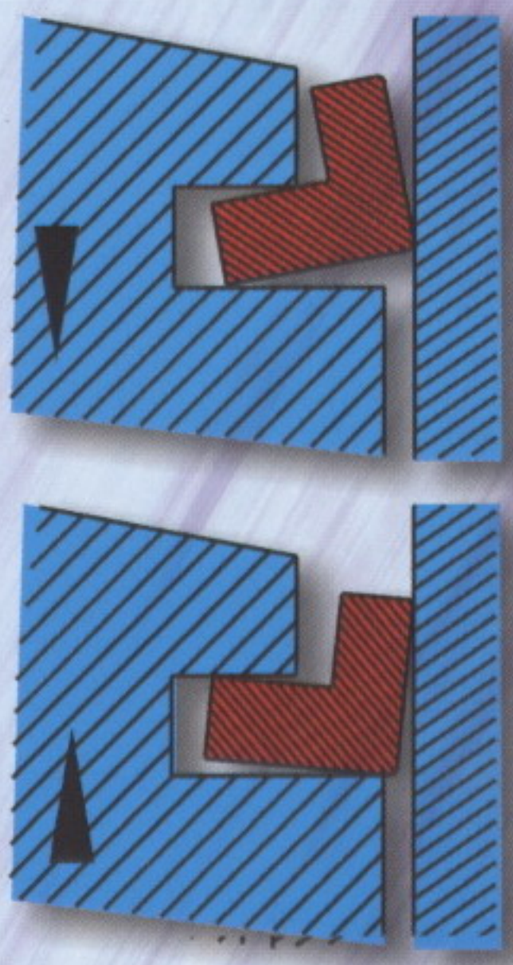


Fig 3/15 **TORSION DU SEGMENT**

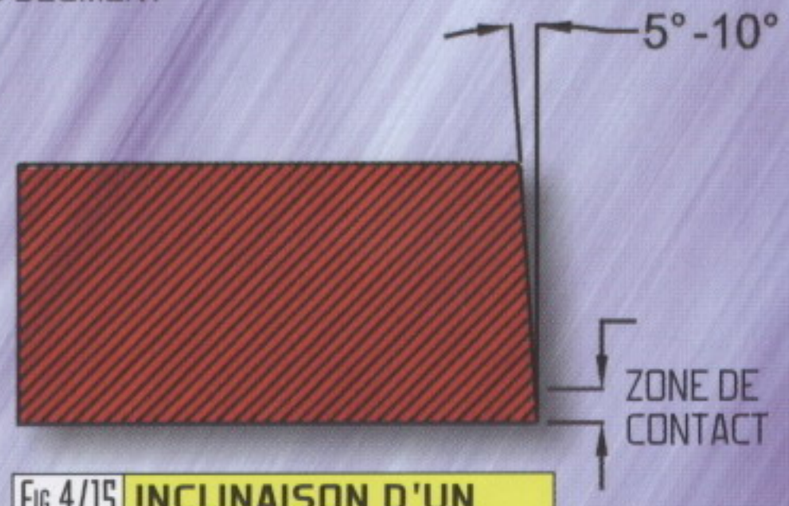


Fig 4/15 **INCLINAISON D'UN SEGMENT DE COMPETITION**

Fig 3/15 **FUITE DE GAZ EXCESSIVE**

Des jeux plus importants n'apportent rien d'autre qu'une baisse de puissance et une augmentation des risques de grippage. Ceux-ci ne sont généralement pas liés à un jeu trop faible, comme on a tendance à le croire trop facilement. Le mélange qui passe de l'autre côté du segment, à cause d'un excès de jeu, lave la paroi du cylindre et retire le film d'huile protecteur. Si l'on ajoute à ce phénomène la présence de résidus, on comprend pourquoi le piston grippe (fig.8/15).

Il se passe la même chose si le segment reste bloqué dans sa gorge à cause d'une dilatation excessive du piston, généralement à l'endroit de la lumière d'échappement. Les axes de piston sont toujours bloqués en translation par des anneaux élastiques (circlips) enfermés dans une gorge. Il faut éviter d'utiliser les modèles de circlips dont une extrémité revient vers le centre. Ce petit bout de fil d'acier peut se rompre sous l'effort et finir entre le piston et les lumières ou bien même dans l'embiellage. Si le jeu entre l'axe et le piston est bon, l'axe bien lubrifié devrait sortir simplement par gravité. Dans le cas contraire, la dilatation du piston pourrait conduire à un blocage de ce dernier et empêcher la rotation, indispensable à une bonne dilatation de la jupe et à la répartition de l'usure du roulement.

Le segment doit être changé à chaque course sur les machines de vitesse et une fois sur deux sur les motos de cross. Les pistons durent un peu plus longtemps et pourtant, on n 'hésitera pas à les changer au moindre signe de fatigue (détecté en examinant la jupe à la loupe). C'est une question de choix : risquer le moteur ou changer un piston encore utilisable.

La structure cristalline de l'aluminium se dégrade dans le temps avec une perte des caractéristiques de l'alliage. Toutes les marques ne réclament pas la même fréquence de remplacement, il faut donc bien se renseigner. Dans le doute, il est conseillé de procéder au changement du piston le plus fréquemment possible.

L'épaisseur du segment doit être inversement proportionnelle à l'accélération maximale atteinte par le piston au PMH, à cause de la fluctuation du segment. Sur les moteurs pointus, cette épaisseur dépasse rarement le millimètre.

Au lieu de coller à la face inférieure de sa gorge et d'être comprimé à la paroi par la pression, le segment ressent encore les effets de l'accélération verticale vers le haut, alors que le piston est en train de redescendre. Cela dure une microseconde, mais les gaz ont le temps de passer au delà du segment. Ce dernier n'arrive pas à rétablir l'étanchéité lors de la descente et le même scénario s'ensuit. Ce phénomène perdure tant que le régime ne chute pas. Soit il faut établir un régime maxi plus bas, soit il faut remplacer le piston par un autre, au segment plus fin et donc moins lourd.

Les segments fins ont une durée de vie limitée et ne conviennent qu'aux très hauts régimes. On entend par là qu'ils ne sont pas indiqués pour les moteurs routiers qui atteignent certes les 10 000 tr/min, mais dont la plage usuelle est plutôt de 6-7000 tr/min.

L'usage d'un piston à deux segments ne se justifie pas sur un moteur de course. Le frottement supérieur ne se compense pas par une fuite des gaz moindre. De plus, si l'on respecte la fréquence de remplacement du segment, il est rare de constater une défaillance.

Une segmentation double est plus adaptée aux moteurs routiers dont les régimes de rotation sont moins élevés. En effet, en ayant plus de temps à disposition, les gaz de détente réussiraient à passer la barrière d'un simple segment fin.

Comme les moteurs pointus n'ont qu'un segment, autant que celui-ci travaille dans les meilleures conditions possibles.

Au cours du rodage, déposer le haut moteur et examinez attentivement la surface de contact du segment avec le cylindre. Même si ce dernier à l'air parfait, le segment présentera de petites traces signalant la présence de défauts, généralement au niveau des lumières.
A l'aide de papier de verre fin à l'eau, on arrondira les angles vifs ou l'on éliminera une infime marche en correspondance des marques du segment.
Le cylindre sera ensuite nettoyé et l'on reprendra le rodage. On procèdera à un nouveau contrôle et l'opération se répétera jusqu'à ce que le segment ne présente qu'une usure normale et uniforme.
Le gain d'une telle application ne sera pas perceptible, mais le cylindre épargnera plusieurs segments. Et puis autant apprendre à soigner le travail d'assemblage. Le résultat est toujours plus satisfaisant et vous ôte le moindre doute en cas de panne incompréhensible.

FIG 5/15 ÉBAVURAGE DE LA GORGE

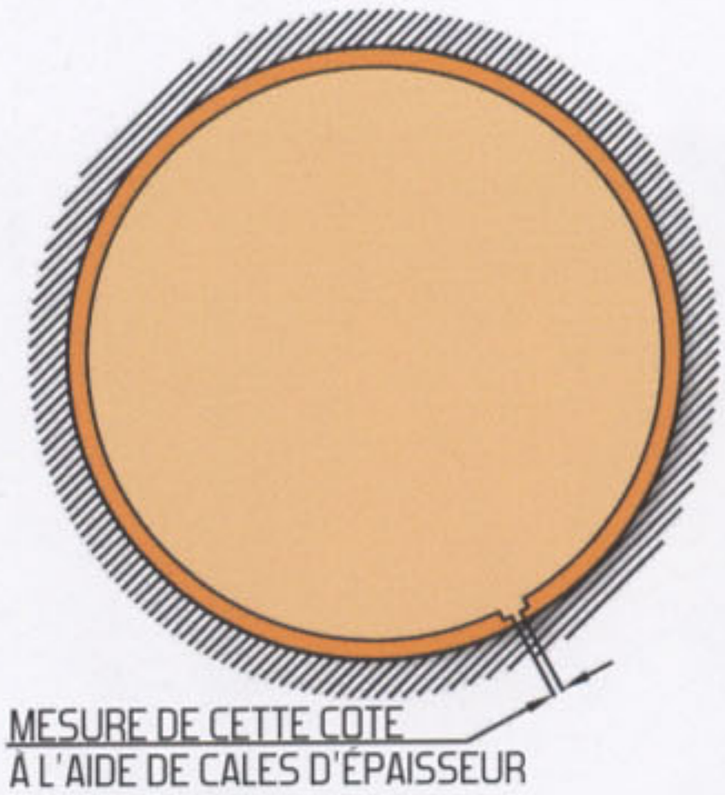


FIG 6/15 CONTRÔLE DU JEU DU SEGMENT

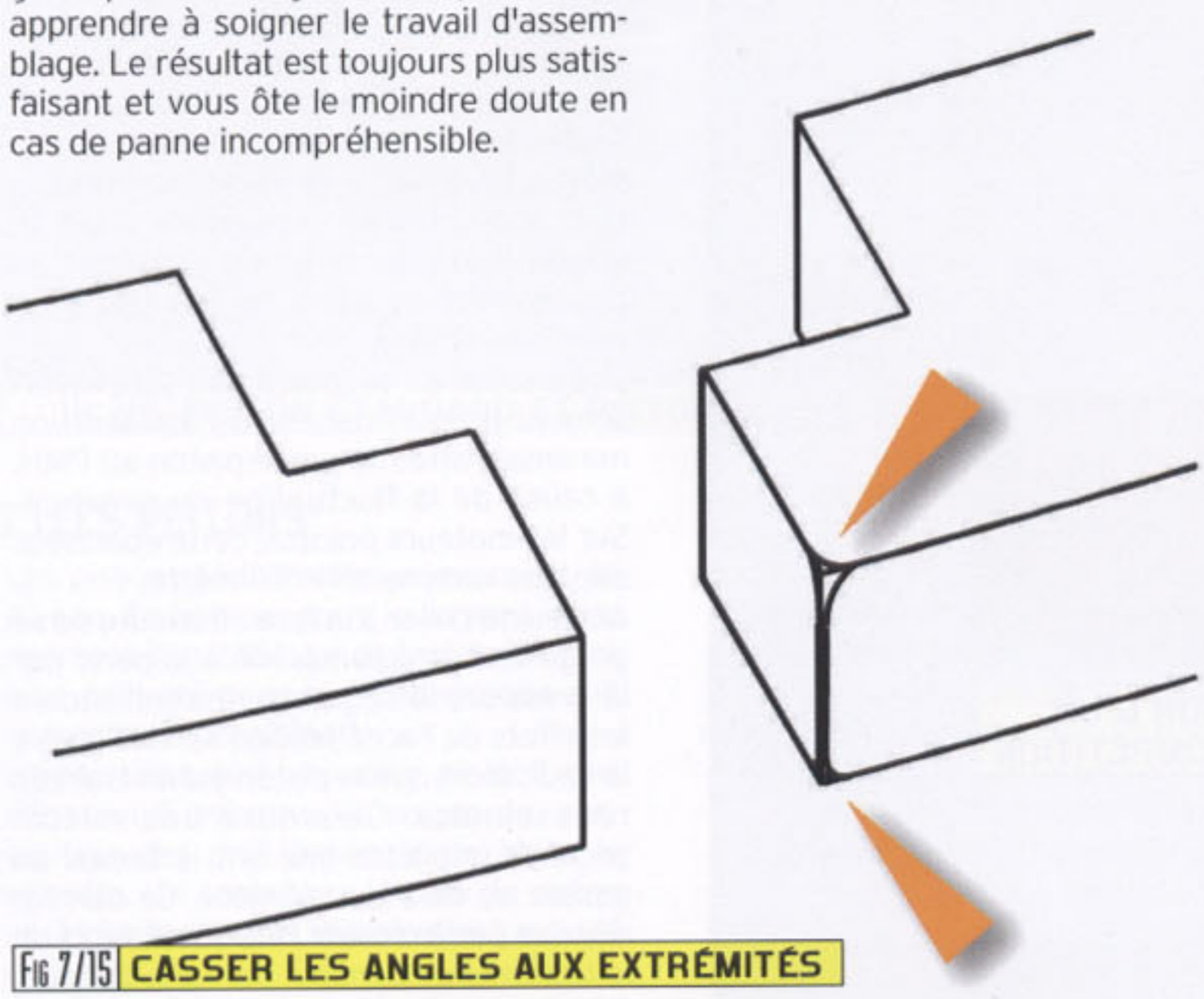


FIG 7/15 CASSER LES ANGLES AUX EXTRÉMITÉS

Si vous avez utilisé le Flex-Hone, cette opération ne sera pas nécessaire.
On peut réduire légèrement les turbulences à l'entrée et à la sortie du cylindre en arrondissant légèrement le bord supérieur du piston, surtout côté échappement (fig.9/15). Le seul inconvénient est un encrassement plus important du segment. À n'utiliser donc que pour des courses courtes ou en cas de remplacement fréquent du piston.
Si le pied de bielle est sujet au grippage, il conviendra de faire de petits trous sur la jupe de piston en correspondance des transferts. La quantité de lubrifiant augmentera mais surtout, le refroidissement par le mélange sera plus important. Il faudra tout de même veiller à ce que les trous soient les plus petits possibles.
Quelle que soit l'utilisation que vous faites de votre moteur, soignez tout particulièrement le segment. La qualité et la durée du fonctionnement en dépendent. Inutile d'espérer obtenir un gain quelconque si la compression et la détente ne sont pas correctement assurées par une segmentation parfaite. □

FIG 8/15 BLOCAGE DU SEGMENT ET GRIPPAGE

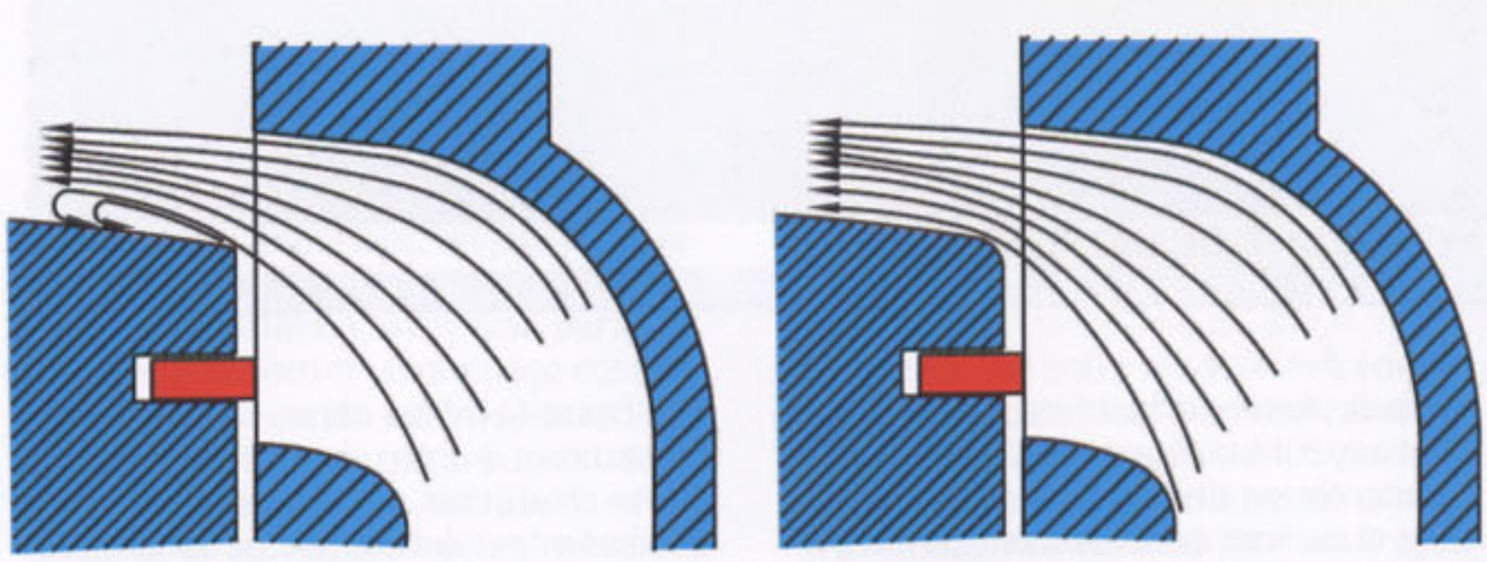


FIG 9/15 EXÉCUTION D'UN ARRONDI AU BORD DU CIEL DU PISTON

La préparation des moteurs 2 temps

CHAPITRE 16

Le CYLINDRE

Rectification du cylindre au Flex-Hone
Le serrage et causes du serrage
Segment et grippage
Serrage en phase de rodage, serrage à froid
Serrage par une carburation trop pauvre
Défauts des bagues d'étanchéité
Serrage par détonation
Manque de lubrification
Serrage successif à la modification des lumières
Serrage lié à un échappement mal adapté
Cylindre à chemise rapportée
Moteur 50cc, le moteur
Puissance et mise au point de la moto

La plupart des moteurs actuels sont équipés de cylindres à refroidissement liquide. La paroi interne est généralement recouverte d'une couche en carbure de silice et nickel. Ces revêtements étant poreux, ils conservent une certaine quantité de lubrifiant qui facilite le glissement du piston. Ce procédé, initialement connu sous le nom de "Nikasil" fut conçu par le fabricant allemand Mahle pour les surfaces internes du moteur rotatif Wankel. Il fut ensuite étendu à toute la production deux temps. Aujourd'hui, il existe un tas de variantes tant au niveau de la composition que de la méthode de dépôt superficiel, et chaque fabricant a breveté son propre procédé. Les composants de cette fine couche (carbure de silice, nickel, molybdène, céramiques diverses, bore...) sont intimement liés entre eux et offre une bonne adhérence sur les bases aluminium, tout en garantissant une dureté élevée. Contrairement au chrome devenu obsolète, il n'y a pas de risque que le revêtement se détache, même s'il faut être prudent lors du travail sur les lumières. Dans ce cas, il faut utiliser des fraises traitées ou diamantées tournant à très haute vitesse de façon à éviter de détacher une plaque de traitement. Il faut toujours commencer par travailler la périphérie de la lumière et passer ensuite à l'intérieur du transfert. S'ils offrent une grande résistance à l'usure, ces traitements présentent l'inconvénient de condamner le cylindre à la casse en cas de rayure ou en cas d'usure trop prononcée, à moins de l'envoyer chez un spécialiste pour qu'il applique un nouveau film sur la chemise. Autre solution, le plasma-spray, qui offre une adhérence très importante puisque les particules sont tirées, en même temps que le gaz ionisé à haute température, à très haute vitesse et donc avec une énergie cinétique beaucoup plus importante. Le traitement pénètre profondément dans la matière du cylindre. Ce procédé est actuellement utilisé en F1 et il y a donc fort à parier qu'il équipe également les motos de GP.

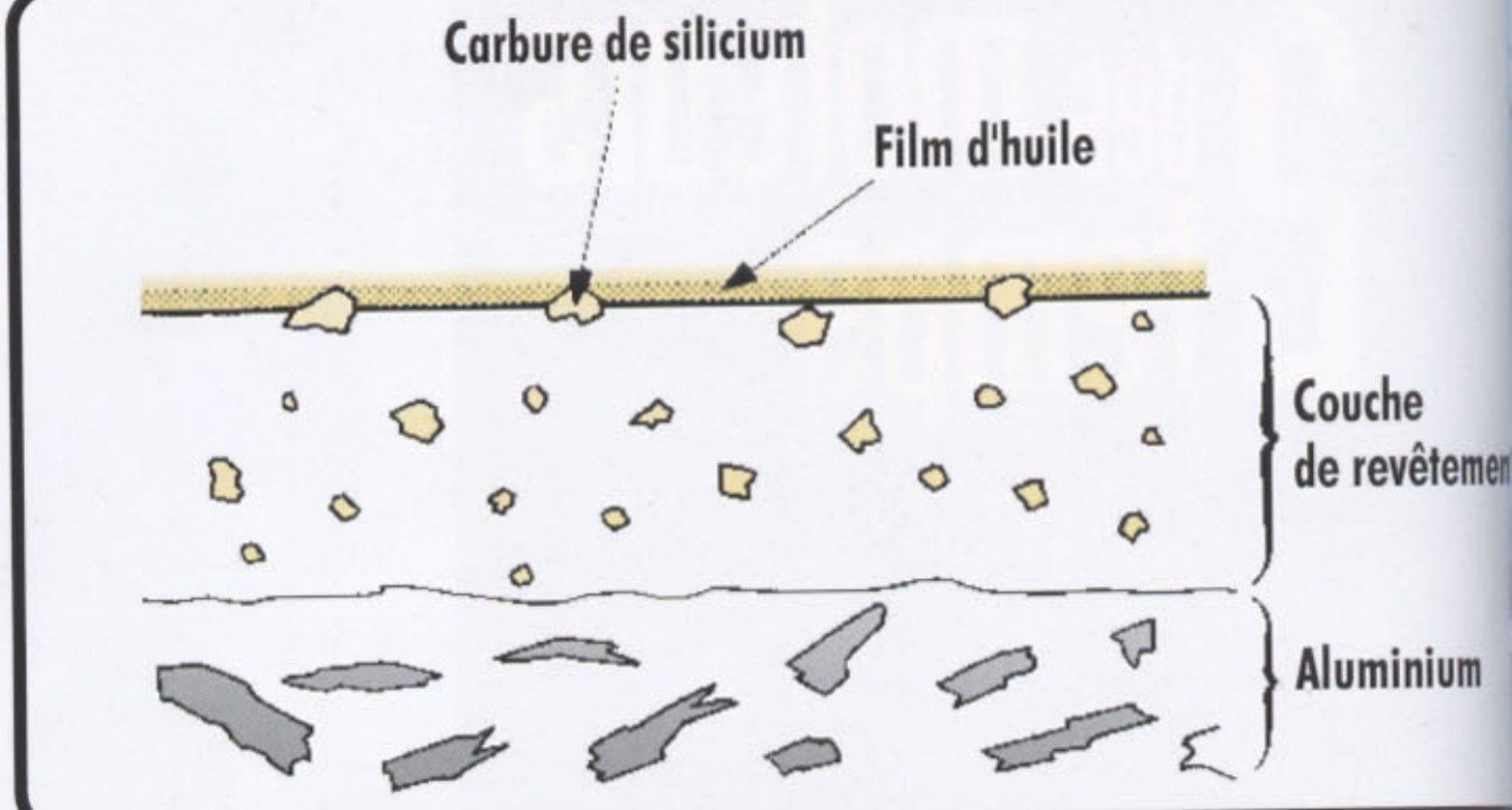
Le défaut typique des moteurs temps est la non-perpendicularité entre carter et cylindre, aggravée par l'épaisseur du joint d'embase. Il suffit que le joint ou le serrage ne soient pas uniformes à 100 % pour que le cylindre accuse une inclinaison de quelques centièmes et plus avec les conséquences que vous savez.

Si la résistance au glissement du piston est imperceptible à froid, il en va tout autrement moteur chaud à 10 000 tr/min. La perte de puissance peut approcher les 5 % sans que l'on sache vraiment pourquoi.

L'ajout d'une épaisseur supplémentaire ne fait qu'aggraver les frottements et les roulements de l'équipage mobile entier commencent à souffrir.

Il faut donc utiliser un seul joint et pas plus et prendre soin de serrer au couple prescrit les goujons ou les vis qui devront être équipés des rondelles appropriées pour ne pas fausser le serrage par un frottement sur la surface du bloc en aluminium. Ce défaut géométrique est souvent à l'origine d'une différence de puissance entre deux moteurs semblables, alors que l'on recherche généralement la cause dans d'autres directions. Malgré les standards de production, les formes et les profils des lumières et des transferts ne sont jamais parfaits. Toutes les dimensions doivent être contrôlées et les différences macroscopiques éliminées.

D'ailleurs, la préparation des moteurs se limite souvent à une minutieuse procédure de métrologie avec des résultats souvent surprenants.



PRINCIPE DE TRAITEMENT NIKASIL

LA RECTIFICATION DU CYLINDRE AU FLEX-HONE

Les cylindres de grandes séries ont une rugosité volontairement importante destinée à retenir l'huile de lubrification qui, autrement, serait immédiatement retirée lors du passage du segment. La finition de cette couche superficielle comporte une succession de pics et de creux.

Les creux sont nécessaires à la rétention d'huile de lubrification, mais les pics sont très abrasifs et ont un impact négatif sur la durée de vie du segment, sans aucun avantage en matière d'étanchéité.

Ils endommagent la surface de contact du segment avec la paroi du cylindre, surtout au niveau des lumières. Durant le rodage, le segment aplanit donc ces pics en ne laissant que les creux.

C'est pourquoi la puissance est toujours plus importante après cette période puisque la compression est meilleure et les frottements moindres.

Malheureusement, cette période durant laquelle les pièces s'ajustent entre elles est néfaste à l'état de surface du segment et de la jupe du piston, puisque les particules de matière arrachées par frottement faciliteront un grippage ultérieur en s'insérant sur la jupe du piston.

D'ailleurs, si après quelques minutes de fonctionnement on constate à l'œil nu la présence de rayures, la durée de vie du couple piston/segment est définitivement compromise. Pour optimiser le rodage, il existe un outil nommé Flex-Hone, composé d'une série de petite sphères en carbure de silice, en carbure de bore ou de tungstène et en oxyde d'aluminium, en fonction de la nature du traitement de surface, montées sur un arbre au bout de tiges de plastique flexibles. Ces tiges flexibles permettent un effort de pression moindre sur la paroi. Les sphères s'adaptent ainsi au diamètre à rectifier et ne retirent que les pics en laissant les creux.

Avant l'opération, il convient de chauffer le cylindre à 80°C pour que la paroi se retrouve dans les conditions de fonctionnement, en particulier en matière de dilatation. Le résultat n'en sera que meilleur surtout sur les cylindres de compétition où les lumières sont très larges. Chauffé avant opération, le jeu d'accouplement cylindre/piston sera optimal. Un cylindre est traité pendant au moins trente seconde avec le hérisson tournant à environ 300 tours/minute et en effectuant un rapide mouvement de va-et-vient le long du cylindre. L'opération est renouvelée une fois le cylindre retourné afin de traiter les deux bords opposés des lumières.

Tous les montages ayant bénéficié de ce traitement ont développé des puissances supérieures et leur durée de vie a été allongée. C'est surtout au niveau des lumières qu'il améliore les conditions de fonctionnement. Il est inutile de les retoucher à nouveau par la méthode de rodage proposée précédemment, ce qui est loin d'être négligeable tant ce travail est long et délicat. Même une rectification très minutieuse ne donne pas cette qualité de finition au niveau des lumières et il convient de passer le Flex-Hone durant 10 à 15 secondes pour obtenir un résultat parfait. En ce qui concerne la mise en œuvre, le hérisson n'étant pas équilibré, il ne faut pas l'introduire dans le cylindre en tournant à la vitesse maxi. Il ne faut pas non plus l'introduire à l'arrêt. Bien évidemment, le cylindre doit être recouvert d'huile 10-20W avant de passer ce type d'outils de finition.

Si celui-ci est bien utilisé, l'alésage sera élargi juste ce qu'il faut et il sera inutile de monter un piston plus gros.

CYLINDRE DE NSR 500 Notez le profil de la chemise au niveau des transferts

En fonction de l'intervalle de tolérance défini lors de la conception, les fabricants proposent différents diamètres de pistons de façon à obtenir le jeu voulu. Vous pourrez donc ainsi appairer cylindre et piston de façon optimale.
Une fois l'opération terminée, il faut procéder à un dégraissage et à un lavage à l'eau chaude à plusieurs reprises. Le nettoyage doit être effectué avec une grande attention pour éviter qu'il ne reste de la poussière abrasive pouvant ensuite endommager les surfaces.
C'est d'ailleurs là le principal défaut de la procédure. Malgré tout, si les plus grandes équipes de GP et de F1 restent fidèles à cette méthode simple et, pour une fois, à la portée de tous, nous aurions tort de nous en priver. Certains pourront objecter qu'un bon rodage parvient au même résultat. Ce n'est pas tout à fait juste, en tout cas pour le segment qui joue le rôle du hérisson et se raye. Par ailleurs, les particules arrachées au cylindre et au piston finissent en partie dans les passages d'huile du bas moteur et donc sur les pistes de roulement. Il en résulte parfois des casses que l'on ne s'explique pas toujours. D'autre part, en considérant le temps d'utilisation limité du haut moteur, la durée d'un rodage long et soigné ne se justifie pas. En revanche, l'utilisation du Flex-Hone, vu le temps réduit de l'opération, doit être systématique à chaque changement de segment ou de piston. Les micro-rayures indispensables au maintien du film d'huile seront renouvelées car le cylindre est très souvent vitrifié par l'action du segment. Surtout, les rayures verticales qui constituent un chemin de fuite idéal pour les gaz, et donc la première cause de défaut d'étanchéité- sont estompées.

LE SERRAGE

Quel que soit le sport mécanique, aucune machine deux temps n'est à l'abri de la panne caractéristique de ce type de moteur: le serrage. Nombreux sont ceux qui croient que le serrage n'est que la conséquence d'une surchauffe du piston qui se dilate au point de se bloquer dans l'alésage. C'est en effet une explication, mais ce cas est extrêmement rare, au risque de vous étonner. Il est d'ailleurs facile de vérifier cette affirmation en essayant de monter le piston à l'envers. Comme il est ovale à froid, son diamètre est déjà plus important que celui du cylindre, au moins dans sa partie basse. Pourtant, s'il ne rentre pas de cette façon, après avoir lubrifié le cylindre et la jupe du piston, vous vous apercevrez qu'en forçant un peu, il passe et finit même par coulisser librement. Malgré l'absence de jeu, la lubrification permet d'introduire le piston dans le cylindre sans trop d'effort et de le faire coulisser ensuite librement. Ce qui fait donc la différence n'est pas le diamètre (en restant raisonnable quand même), mais la lubrification. En fonctionnement, les surfaces en contact atteignent environ 200°C et se dilatent de la même façon. Le piston atteignant allègrement une vitesse linéaire très élevée, il est impensable que les variations du jeu soient en cause. Le cas échéant, il est presque certain que le moteur cassera avant d'atteindre les régimes que le piston peut supporter. Le serrage survient souvent après un manque d'huile, même infime, sur la paroi du cylindre. La mécanique du contact vous enseignera qu'en théorie, un manque microscopique peut être à l'origine d'un serrage. Dès lors que le piston touche la paroi, il s'ensuit immédiatement une abrasion de la surface la plus tendre, en l'occurrence la jupe du piston. Si le film d'huile n'apparaît pas tout de suite après entre la zone du cylindre recouverte d'aluminium et la jupe du piston, le contact alu sur alu engendre alors une hausse exponentielle dans le temps du coefficient de frottement et il y a fusion. N'oublions pas que la vitesse moyenne du piston avoisine les 20 m/s et que la température tourne autour des 200-300°C. Si l'huile arrive à s'immiscer entre les deux, la lubrification reprend le dessus et le processus destructeur s'arrête. Le piston n'aura qu'une rayure qu'il sera encore possible d'atténuer au papier de verre très fin. Les problèmes surgissent en réalité lorsque la surface de contact s'étend et que l'huile n'arrive plus à jouer son rôle. Le segment racle cette zone et la matière retirée bloque partiellement ce dernier dans sa gorge. Dans les premiers instants de combustion, les gaz très chaud passent sous le segment et brûlent le film d'huile. Le frottement augmente alors irrésistiblement et la fusion cylindre/jupe s'étend sur une zone de plus en plus grande. La température de fusion de l'aluminium étant de 1200°C, on peut facilement imaginer ce qui est en train de se passer à l'intérieur du groupe thermique. En bref, le piston et le cylindre deviennent un tout et la roue arrière se bloque. Quelquefois, seuls quelques dixièmes de seconde suffisent car le piston fait environ 250 allers-retours à la seconde à 15 000 tr/min. Vous l'aurez compris, ce n'est pas la faute du piston qui se dilate mais seulement le segment qui, pour une raison ou une autre, n'a pas fait son devoir en permettant aux gaz de brûler le film d'huile. Si votre piston est rayé, il faut toujours chercher à identifier la cause de cet état de surface avant de risquer le moteur et votre santé à la prochaine course. Le traitement au Molykote réduit certains types de serrages tant qu'il garde ses caractéristiques. Comme il ne résiste pas bien longtemps à des températures supérieures à 400°C, de multiples possibilités subsistent toujours.

LES CAUSES DE SERRAGE

La surchauffe du moteur est une cause de grippage car en fin de compte, aucune huile ne garde de bonnes caractéristiques au-dessus de 300°C.
L'important est de comprendre au plus vite la raison de cette surchauffe. Si le circuit de refroidissement (air ou liquide) n'arrive pas à dissiper correctement la chaleur, les risques de serrage sont réels. 75 % de l'énergie de combustion est dissipée sous forme de chaleur, le refroidissement n'est donc pas à négliger. C'est pourquoi les motos préparées sans modification du circuit de refroidissement finissent tôt ou tard par serrer. On pense à tort qu'un gain de puissance de 10 % n'est pas très important, mais 10 % de surface de refroidissement en plus feront défaut, sous forme d'ailettes ou de surface de radiateur. Si on ajoute le fait qu'une hausse de puissance s'accompagne de problèmes de combustion critique, on arrive facilement à 20 % de chaleur en plus par rapport au moteur d'origine.

SEGMENT ET SERRAGE

Une autre cause principale de serrage consiste au passage des gaz de combustion au delà de la chambre de combustion. Il y a alors une déficience de la lubrification car le film d'huile brûle et génère des résidus de combustion : l'aluminium du piston ne supporte pas de telles conditions de fonctionnement.

SERRAGE EN PHASE DE RODAGE

Durant la phase de rodage, la surface la plus tendre doit s'adapter à la plus dure. Autrement dit, le segment au cylindre. La présence de l'ergot empêche la rotation du segment dans sa gorge.
Sans parler du fait que la pression exercée par le segment sur la paroi du cylindre n'est pas parfaitement uniforme, il n'est pas dit qu'il épouse parfaitement la forme du cylindre du début à la fin de la course. D'infimes différences sont autant de chemins de fuite possibles pour les gaz d'échappement. Par ailleurs, un segment neuf engendre plus de frottement et peut se dilater plus vite que le piston. Il se retrouve alors bloqué dans sa gorge, avec les résultats que l'on sait.
S'il s'agit d'une pièce neuve, les arêtes vives du segment raclent trop efficacement l'huile de lubrification et le moteur chauffe plus à cause de frottements plus importants. Quoiqu'en disent les fabricants, il faut toujours procéder à un rodage soigné, avec prudence.

SERRAGE A FROID

Il est très facile de provoquer un serrage en sollicitant fortement un moteur froid. La culasse chauffe d'abord et atteint très vite sa température de fonctionnement. Le cylindre chauffe plus lentement (de l'ordre d'une minute supplémentaire voir plus en cas de refroidissement liquide), et met donc du temps à se dilater. L'huile met d'autant plus de temps à atteindre sa température de fonctionnement qu'elle est encore refroidie par le remplissage du carter moteur . Elle n'atteint donc pas immédiatement un coefficient de fluidité capable de protéger efficacement le moteur, la majorité des huiles étant opérationnelle entre 70 et 80°C. Les surfaces encore froides du cylindre n'arrivent pas à la réchauffer suffisamment. Toutes ces explications sont autant de causes de serrage à froid.

SERRAGE CAUSE PAR UNE CARBURATION TROP PAUVRE

Un mélange trop pauvre est fréquemment à l'origine d'un serrage. Ce type de carburation génère une température de fonctionnement de 30 à 40 % plus élevée qu'une carburation correcte, sans même faire allusion au phénomène de détonation auquel elle est généralement associée. Dans ce cas, la zone du cylindre la plus sollicitée est l'échappement.
La lumière d'échappement est à peine ouverte que les gaz passent au delà du segment et brûlent le film d'huile. Inutile de rappeler que cette huile est conçue pour brûler facilement, même à basse température. Il y a donc serrage au niveau de la partie de la jupe concernée par la lumière d'échappement. On peut se consoler un peu car dans ce cas, il est facile de remonter à l'origine de la défaillance.

DEFAUTS DES BAGUES D'ETANCHEITE

L'une des causes de grippage les plus difficiles à identifier est une prise d'air au niveau des bagues d'étanchéité du bas moteur. Cet apport d'air irrégulier appauvrit le mélange et on se retrouve dans la configuration précédente.
Certains petits malins ont essayé de contourner les règlements techniques limitant l'admission d'air en créant des prises auxiliaires à ces endroits. Le système se comporte comme une admission par clapets mais la charge admise n'est pas proportionnelle au régime moteur puisque aléatoire.
L'impossibilité de contrôler cet apport d'air se solde souvent par un serrage. Pour éviter d'avoir des doutes, il faut contrôler l'étanchéité en mettant le bas moteur en surpression comme indiqué au chapitre traitant du bas moteur.

SERRAGE PAR DETONATION

En plus d'une hausse sensible de la température dans la chambre de combustion, la détonation se traduit souvent par un grippage. La forte pression engendrée par la détonation est plus rapide que la vitesse d'intervention du segment qui laisse ainsi passer des gaz très chauds qui brûlent le film d'huile. Si ce n'est pas suffisant pour obtenir un serrage violent, il reste encore les minuscules sphères issues de la micro fusion du ciel de piston et que l'on retrouve habituellement sur la bougie : ces petites sphères s'accumulent entre la paroi et le segment puis bloquent ce dernier. Le serrage est alors inévitable.

MANQUE DE LUBRIFICATION

À la vue des problèmes exposés ci-dessus, entraînés le plus souvent par un défaut du film d'huile, vous saisissez maintenant l'importance de la lubrification.
Si aujourd'hui de plus en plus de pétroliers vantent les résultats éclatants qu'ils obtiennent avec une quantité d'huile dérisoire, un pourcentage un peu plus élevé reste tout de même le meilleur garant d'une bonne protection. De plus, l'argument qui consiste à dire qu'il est bon de réduire la proportion d'huile à 2 , en prétextant un gain de puissance de 0,05 %, est discutable. Utiliser un peu plus d'huile réduit la puissance, c'est vrai, mais celle-ci est stable jusqu'en fin de course. Les risques de serrage, de surchauffe, d'usure précoce du segment et des roulements sont moindres. Surtout, les bagues d'étanchéité, fonctionnant dans des conditions critiques du fait d'une forte vitesse tangentielle, sont un peu plus protégées.
Le mélange automatique par pompe et réservoir d'huile séparé peut être la cause d'un oubli. La consommation étant très faible, la périodicité du remplissage est très espacée et il est alors possible d'oublier de remplir le réservoir.

SERRAGE CONSECUTIF A LA MODIFICATION DES LUMIERES

Après modification des lumières, il est impératif de raccorder les bords.
En effet, les arêtes vives tendent à concentrer la chaleur et les zones concernées se dilatent plus que les autres. Ces arêtes deviennent de véritables scalpels qui retirent d'abord l'huile avant de racler dangereusement la jupe du piston. Cette matière se colle ensuite à la paroi du cylindre et engendre le processus de grippage par frottement alu sur alu.

SERRAGE LIE A UN ECHAPPEMENT MAL ADAPTE

Un échappement mal étudié peut être la cause d'un retour des gaz brûlés pendant la première partie de la phase. Ils brûlent alors le film d'huile présent à la surface du piston et il y a amorce de serrage. Il reste toujours une petite portion d'hydrocarbures imbrûlés à proximité de la lumière d'échappement. Une prise d'air et donc d'oxygène en plus de la compression de l'onde de contre-pression créent un mélange hautement explosif, prêt à s'allumer à proximité du piston. L'étanchéité du conduit d'échappement doit être contrôlée attentivement pour éviter de serrer.

LES CYLINDRES A CHEMISE RAPPORTEE

Certains moteurs font appel à des chemises en fonte rapportées. Un cylindre traité (Nikasil) à une durée de vie supérieure tout en étant moins sensible aux amorces de serrage. Ces mêmes amorces se transforment souvent en serrage effectif avec des cylindres équipés de chemises en fonte. On entend encore dire que les cylindres revêtus ne supportent pas les sauts de température sur les moteurs refroidis par air. C'est faux puisque l'un des premiers constructeurs à avoir équipé ses moteurs de compétition refroidis par air de cylindres traités Nikasil fut Porsche. La technique fut ensuite reprise sur la série, preuve de son efficacité. On entend aussi dire que ces cylindres ne résistent pas aux régimes élevés. Dans ce cas, il faut s'empresser d'aller en expliquer la raison aux motoristes de F1 qui les utilisent depuis plus de 10 ans, sur des moteurs qui franchissent facilement la barre des 18 000 tr/min. L'unique avantage des chemises rapportées en fonte est qu'il est possible de faire des petites séries de très bonne qualité pour un coût limité. L'opération de fraisage périphérique des lumières est aisée, et les modifications ultérieures le sont aussi avec de simples fraises, sans risque d'éclater le revêtement comme c'est le cas sur les cylindres en alu traités.

Cependant, après rectification, les arêtes des lumières doivent être absolument arrondies pour éviter toutes interférences avec le segment et le film d'huile.

LES MOTEURS 50 CM³

Nous avons tous un jour ou l'autre pesté contre les piètres performances de nos mobylettes ou de nos scooters. Comme le marché regorge de pièces plus aguichantes les unes que les autres, la grande majorité d'entre nous s'est laissée tenter par l'expérience du « kit maison ». Comme l'histoire est un éternel recommencement, les plus jeunes qui lisent ses lignes doivent aussi sourire.
Personnellement, nous sommes contre la préparation plus ou moins bien faite de ces engins destinés à un usage routier. Les jeunes sont trop nombreux à rouler en portant le casque comme une casquette, sans gants ni protection et surtout, sans réelle formation à la conduite.
Il faut bien admettre que le bricolage maison constitue une bonne école mais d'autres solutions bien plus enrichissantes existent, en particulier par le biais des compétitions sur pistes.
En France, les catégories Groupe 1, 2 et 3 représentent une école de pilotage et de mécanique fantastique, sans parler des formules de promotion qui se développent de plus en plus. D'ailleurs, la plupart des grands pilotes ou des préparateurs célèbres sont passés par là. Certes, une saison de compétition coûte plus cher qu'un kit 75 ou qu'un carburateur de 19, mais on ne risque pas de passer sous les roues d'une voiture ou de finir encastré sur le coin d'un trottoir. Aucun cyclomoteur n'est prévu pour passer une courbe plein angle à 100 km/h sans une préparation sérieuse. Or le plus souvent, le simple entretien des bolides de nos chers enfants laisse à désirer, au moins autant que leur équipement.
Il est de notre devoir de décourager toute préparation de ces engins s'ils ne sont pas uniquement destinés à un usage sportif encadré par la fédération (FFM) et les ligues associées.

LE MOTEUR

Avoir préparé un moteur avec le plus grand soin ne dispense pas de contrôler et de procéder au remplacement des pièces d'usure sans attendre les premiers signes de fatigue. Reconditionner un moteur ou contrôler sa fiabilité suppose une série de mesures à chaque démontage :

1 Le cylindre est contrôlé 15 mm sous le plan de joint de culasse à l'aide d'un palpeur. On vérifie sa rectitude et sa cylindricité. Ces mesures vous donneront l'ovalisation du cylindre en sachant que l'erreur normale ne doit pas dépasser le centième. On procède ensuite à une série de mesures le long de la course. Un cylindre usé régulièrement mais de 7 à 8 centièmes ne doit pas être réutilisé car un piston neuf n'y travaillerait pas de façon optimale.

2 Le jeu axial du segment dans sa gorge ne doit pas dépasser 5 centièmes. Une fois le segment placé à 15 mm du plan de joint de culasse et parallèle à ce dernier, le jeu entre ces deux extrémités ne doit pas dépasser 7 à 8 dixièmes. Le cas échéant, le segment est usé. En se plaçant à contre jour, il est possible d'observer la qualité du contact segment/cylindre pour caractériser une éventuelle ovalisation ou une surconsommation. Le jeu entre les deux extrémités du segment déposé ne doit pas être inférieur à 4 mm. Si c'est le cas, le segment a perdu son élasticité et ne peut exercer une pression sur la paroi grâce à sa tension élastique.

3 Les diamètres parallèle et perpendiculaire à l'axe de piston doivent être mesurés et comparés à la valeur d'alésage. Autre solution, on glisse le piston dans le cylindre et on mesure le jeu : 7 centièmes sont le maximum pour un 125, 10 pour un 250, et 15 pour un 500cm³. Les pistons forgés permettent un jeu légèrement supérieur du fait d'une dilatation et d'une résistance plus importantes.

4 Il faut contrôler le plan d'embase du carter, celui du cylindre correspondant et les deux plans du joint de culasse. Outre le fait qu'ils doivent être parfaits, ces plans doivent être perpendiculaires à l'axe vertical de la bielle et du piston. La durée de vie des roulements en dépend (voir chapitre 10).

5 Normalement, le piston est remplacé au-delà de trois changements de segments. Cela suppose une régularité de l'intervalle de substitution avant d'arriver à une usure trop conséquente. Chaque remplacement doit être précédé d'un bref passage au Flex-Hone comme expliqué précédemment. Cet outil récupère même les légères amorces de serrage. L'important est de ne pas trop espacer les intervalles d'intervention.

6 À cause des sollicitations thermiques et mécaniques et du fait que la gorge a pu subir un élargissement vertical excessif, il est plus prudent de remplacer le piston, son axe et la cage à aiguille lors du troisième changement de segment.

7 Compte tenu des régimes de rotation atteints, surtout sur les 125 mais aussi sur les 250, il vaut mieux changer souvent les roulements du bas moteur et les bagues d'étanchéité. Le vilebrequin doit subir un examen visuel à la loupe avant remontage. Il ne faut pas se satisfaire d'un simple coup d'œil. Les pièces concernées par le montage des roulements seront graissées auparavant. La partie de l'arbre servant à la fixation du volant sera en revanche complètement dégraissée. Tous les joints doivent être changés par des éléments neufs, mêmes s'ils vous semblent en bon état.

Les joints d'embase sont généralement disponibles en plusieurs épaisseurs, afin de varier le taux de compression.
Si la culasse a été retravaillée de façon à obtenir un taux de compression optimal, le joint à monter doit être celui qui permet au piston d'être aligné avec bord inférieur des lumières au PMB. Avant de monter le joint de culasse, pulvérisez du spray type Permatex qui facilitera le prochain démontage. Lors de l'assemblage, goujons, écrous et rondelles devront être graissés pour ne pas fausser la valeur de couple de serrage par frottement. Le serrage sera contrôlé après une demi-heure de fonctionnement.

PUISSANCE ET MISE AU POINT DE LA MOTO

Aussi surprenant que cela puisse paraître, n'importe quel pilote privé qui se donne les moyens de ses ambitions peut construire un moteur dont le rendement et les performances seront proche de ceux d'une machine officielle. En effet, les moteurs deux temps sont simples de conception et n'ont plus vraiment de secrets, sans compter que l'appareillage de gestion électronique devient de plus en plus facilement accessible. Cependant, une fois sur piste, une moto parfaitement préparée ne donne jamais les résultats escomptés, et ce pour quelques raisons très simples. Tout d'abord, aucun pilote de premier plan n'acceptera de développer et de piloter gratuitement votre machine. Ensuite, et c'est étrange que peu de gens s'en rendent compte, une moto n'est pas seulement dépendante d'un pilote et d'un moteur. Pour être performante, elle a besoin d'un cadre bien né et de suspensions très performantes. Le tout doit pouvoir se mettre au point rapidement quels que soient les pneus utilisés et le type de circuit.
Enfin, "mettre au point" une machine nécessite également une équipe très compétente en termes de moyens techniques et de savoir-faire. Une équipe expérimentée a accumulé des saisons entières de données (circuits, combinaisons de rapports de boîte, réglages), qui valent leur pesant d'or. Il est très difficile pour une petite et jeune structure de se hisser instantanément à ce niveau de connaissance. Aussi, lorsqu'une marque décide de se lancer dans le bain et rachète une structure existante, ce n'est certainement pas l'outillage qui l'intéresse mais l'expérience acquise.
L'histoire des sports mécaniques est pleine de déboires qui illustrent ces propos. Cela va peut-être en étonner certains, mais il est plus simple de faire gagner une moto à la partie cycle saine et facile mise au point par un pilote moyen, que d'essayer de se battre avec une machine délicate qui annonce cinq chevaux de plus que la concurrence. Bref, un moteur extrêmement bien préparé ne suffit pas. Il faut encore être capable d'accorder la partie cycle aux pneumatiques, à la courbe de puissance et au pilote, sur chaque circuit. □