MOTO JOURNAL
Août-septembre 1995 28 F



Hors série

Technique et mécanique

Comment ça marche ?

- Le moteur 4-temps
- Le moteur 2-temps
- La lubrification
- La carburation
- Les échappements
- La transmission
- La partie-cycle

avec MOTUL

SUISSE 8,20 FS
CANADA 8,50 $
BELGIQUE 204 FB
ANTILLES REUNION
GUYANE 33,50 F

M 6548 - 9508 H - 28,00 F-RD

TAXI JAUNE



PAGE 9



PAGE 41



PAGE 5



PAGE 71



PAGE 91



PAGE 59



PAGE 69

EN TANT QUE N°1 FRANÇAIS DU LUBRIFIANT MOTO ON SE DOIT D'AVOIR UNE RÉPONSE ADAPTÉE À TOUTES LES MÉCANIQUES QUE VOUS ALLEZ VOIR DANS CE JOURNAL



PAGE 27



PAGE 59



PAGE 65



PAGE 49



PAGE 7



PAGE 39



PAGE 57



PAGE 59



PAGE 23



PAGE 69



PAGE 59



PAGE 43

MOTUL

L'HUILE DE HAUT NIVEAU

Technique et mécanique

Comment ça marche ?

Hors série août-septembre 1995

Ce numéro hors-série reprend les meilleurs articles techniques parus chaque semaine dans *Moto Journal* en 1993 et 1994 sous la rubrique *"Technique pour tous"*. Tous ces articles analysent les principaux éléments techniques et mécaniques d'une moto en expliquant leur fonctionnement de manière à être compris par le plus grand nombre, même ceux qui ne possèdent pas de solides connaissances dans ce domaine. Après avoir refermé ce numéro, soyez certains que vous ne considérerez plus votre moto de la même façon... Bonne lecture !

Le moteur 4-temps page 4
Le moteur 2-temps page 6
La distribution du 4-temps page 8
La distribution du 2-temps page 12
Le piston page 16
La segmentation page 20
La bielle page 22
Le vilebrequin page 24
Le cylindre page 26
La distribution page 28
La lubrification page 32
La lubrification du 4-temps page 34
La lubrification du 2-temps page 36
Roulements et coussinets page 38
La combustion page 40
Le balayage des gaz page 42
La compression page 44
L'échappement du 2-temps page 46
L'échappement du 4-temps page 50
La carburation page 52
Le carburateur page 54
L'allumage page 58
La bougie page 60
L'allumage électronique page 62
L'alternateur page 64
La batterie page 66
Les chaînes page 68
L'embrayage page 70
Les embrayages à disques page 72
La puissance et le couple page 74
La boîte de vitesses page 76
Les multicylindres page 78
La chasse aux vibrations page 80
L'équilibrage des moteurs page 82
La chasse page 86
Le centre de gravité page 88
Les pneumatiques page 90
Les suspensions page 92
La fourche page 94
La suspension arrière page 96

La plus forte vente de la presse moto

MOTO JOURNAL

Moto Journal, 60/62, rue Danjou BP 101, 92106 Boulogne cedex **Tél. (1) 46 09 95 96** Téléfax (1) 46 08 47 76 Abonnements : (16) 44 03 44 99 **Directeur** : Jacques Bussillet **Assistante**: Sylviane Lecorcier **Rédaction Rédacteur en chef**: Philippe Barret **Rédacteurs en chef adjoints**: Christian Lacombe (adjoint au rédacteur en chef) Eric Maurice (responsable des essais) **Ont participé à la rédaction de ce numéro hors série**: Pepe Burgaletta (Solo Moto). **Traduction et adaptation** : Jérôme Eline. **Illustrations et infographie** : Lionel Boloré **Iconographie/Archives** : Marguerite Trinquand **Maquette**: **Chef de studio**: Harald Ludwig **Publicité Directeur de publicité**: Bernard Potut **Chef de publicité**: Bertrand Boulanger **Assistantes**: Catherine D'André, Anne Peuchmaurd **Directeur commercial** : Eric Brame **Administration**: Patrick Bernard (Gestion), Jean-Yves Morvan (Comptabilité), Monique Makaga (Personnel) **Directeur technique** : René Miraton **Assistante** : Dominique Chartier **Ventes** : Jacques Gatellier **Assistante** : Muriel Toupy **Inspection** : Promévente (M. Iatca) tél : 45 23 25 60.

Abonnements B 341, 60732-Ste Geneviève cedex 9. Tél. (16).44.03.44.99 (1 an + HS = 725 FF, étranger sur demande) **Responsable des abonnements** Jean-Jacques Desroches **Service Minitel** Massimo Fioravanti **Photogravure** : Compo Juliot **Imprimerie** : Jean Didier/Bondoufle **Distribution** : NMPP. **Moto Journal** est édité par la **Société des Editions Techniques et Touristiques de France S.A.** au capital de 5 000 000 F **Siège social 60-62, rue D'Anjou 92120 Boulogne-Billancourt Vice-président** : Frieder Stein, **Directeur général** Monique Helfenberger

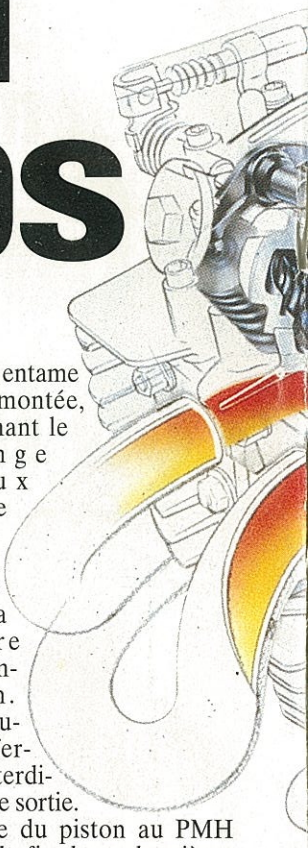
Commission paritaire n° 51 151 Dépôt légal 3e trimestre 1995 n°1254-ISSN - 0751-591X-331

Tous droits de reproduction réservés pour tous pays. Les manuscrits non insérés ne sont pas rendus.

Directeur de la publication : Monique Helfenberger
Fondateur : Pierre Barret

DIFFUSION CONTROLE OD 1993

La valse du quatre-temps



Depuis la semaine dernière, vous savez tout du cycle théorique d'un moteur thermique ainsi que des moyens employés pour transformer l'énergie libérée en mouvement utilisable. Examinons maintenant le type de moteur le plus répandu : le quatre-temps.

Par Pepe Burgaleta (Solo Moto) ; traduction adaptation Jérôme Eline.

De loin le plus usité dans la production motocycliste actuelle, le quatre-temps présente, par rapport au deux-temps, quelques avantages. Mais, plus compliqué (il demande plus de pièces), il entraîne un coût de fabrication plus élevé.

Pour ce qui nous concerne en revanche, il est d'une approche plus aisée, en raison de la distinction bien nette des différents temps qui le caractérise.

Mais posons d'abord quelques définitions qui reviendront tout au long de cette série. Cela peut s'appeler un investissement intellectuel !

Définitions

Un moteur se définit d'abord par ses cotes. Elles définissent les volumes du cylindre et de la chambre de combustion, laquelle représente l'espace occupé par le mélange gazeux en fin de compression .

L'alésage correspond au diamètre du cylindre ; il s'exprime en millimètres.

La course est la distance que parcourt le piston lors d'une course (un temps et un demi-tour de vilebrequin) dans le cylindre. Elle s'exprime aussi en millimètre.

Le rapport de compression se calcule à partir de la cylindrée unitaire (c'est-à-dire d'un seul cylindre) et du volume de la chambre de combustion.

Le Point Mort Haut (ou PMH) est le point du cylindre où le piston finit sa course ascendante, avant d'entamer sa descente. Sur nos dessins, nous poserons comme convention que la partie supérieure du cylindre est la plus proche de la chambre de combustion, tandis que la partie inférieure jouxte le vilebrequin.

Le Point Mort Bas (ou PMB) est le point où le piston finit sa course descendante avant d'entamer sa remontée.

A ces deux points, le piston s'arrête pendant un instant infinitésimal.

La chambre de combustion peut-être assimiler provisoirement à la culasse. Nous verrons dans une prochaine leçon que d'autres pièces occupent en fait cette zone.

Fonctionnement

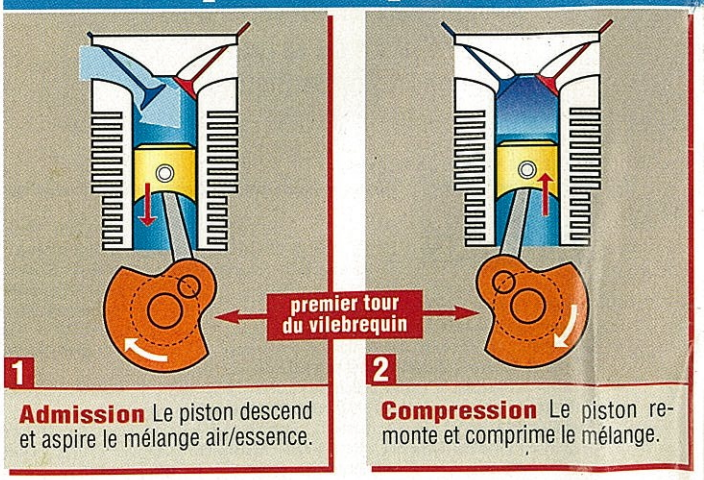
Sur un quatre-temps, chaque temps correspond à une course de piston et un demi-tour de vilebrequin. Les quatre temps-correspondent donc à deux tours moteur.

Le premier temps débute avec le piston au PMH. Celui-ci commence à descendre et un mécanisme nommé soupape s'ouvre pour laisser entrer le mélange gazeux dans le cylindre. Au cours de sa descente, le piston aspire les gaz dans le cylindre. C'est le principe de la seringue plongée dans un liquide qu'on remplit en tirant sur son piston. Cette opération de remplissage du cylindre se nomme admission.

Au deuxième temps, parvenu au PMB, le piston a dégagé le volume maximal de cylindre et aspiré le maximum de mélange gazeux. La soupape se ferme et le piston entame sa remontée, comprimant le mélange gazeux pour le réduire au seul volume de la chambre de combustion. Les soupapes, fermées, interdisent toute sortie. L'arrivée du piston au PMH marque la fin de ce deuxième temps : la compression.

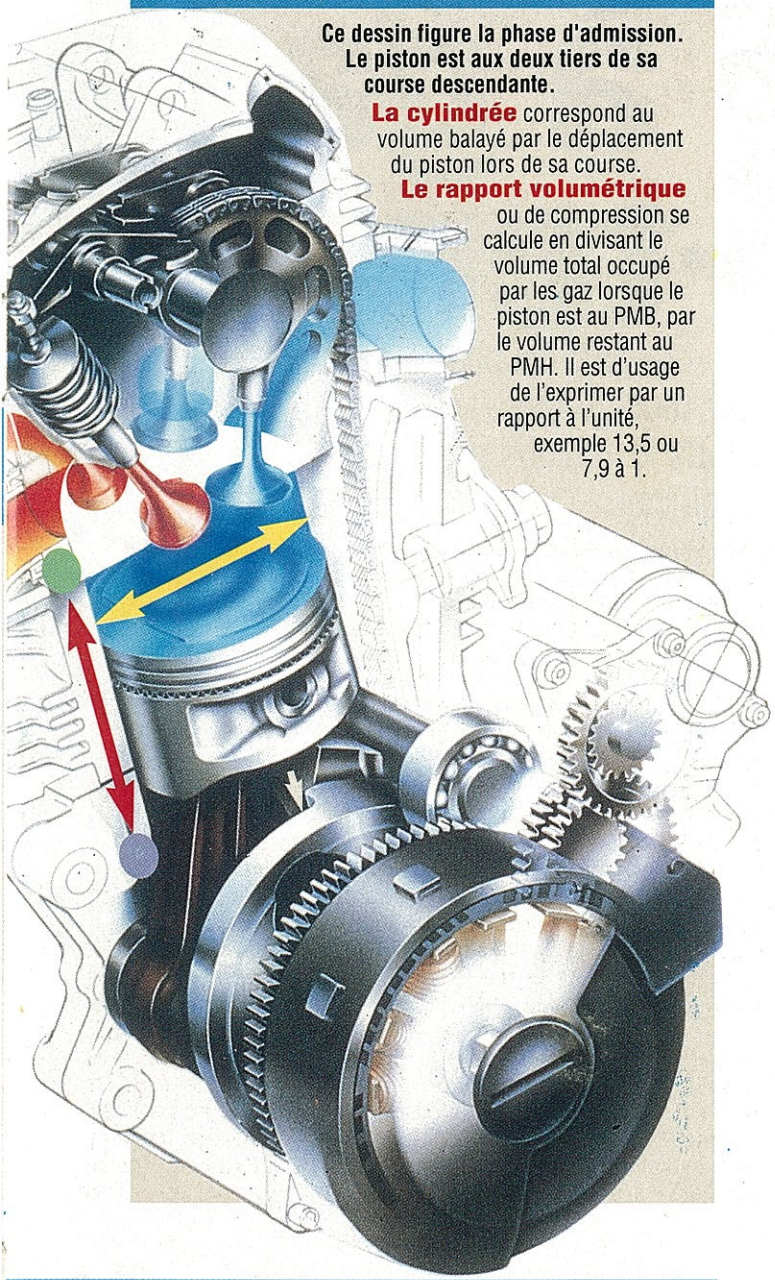
Au troisième temps, la bougie enflamme le mélange gazeux, qui se détend alors très rapidement. Cette augmentation de volume envoie le piston avec force vers le PMB. C'est le temps dit d'explosion, qui caractérise une combustion très rapide des gaz, et non leur détonation pure et simple. C'est

Les quatre phases d'u



Les cotes du moteur

- l'alésage
- la course
- la chambre de combustion
- le Point Mort Haut
- le Point Mort Bas



Ce dessin figure la phase d'admission. Le piston est aux deux tiers de sa course descendante.

La cylindrée correspond au volume balayé par le déplacement du piston lors de sa course.

Le rapport volumétrique ou de compression se calcule en divisant le volume total occupé par les gaz lorsque le piston est au PMB, par le volume restant au PMH. Il est d'usage de l'exprimer par un rapport à l'unité, exemple 13,5 ou 7,9 à 1.

pourquoi on trouve parfois l'appellation plus exacte de "combustion-détente".

Au quatrième et dernier temps, le piston remonte vers le PMH chassant les gaz brûlés dans l'échappement grâce à l'ouverture d'une autre soupape. Après ce temps d'échappement, le cycle complet est bouclé, un autre peut commencer.

Analyses

Retenons que sur les quatre courses ou temps du cycle, une seule (l'explosion) produit du travail, les trois autres consommant de l'énergie.

Rien n'est possible sans les soupapes, qui déterminent l'entrée et la sortie des gaz. Elles s'ouvrent et se ferment à des moments précis, par le travail d'un mécanisme annexe : la distribution. Nous en parlerons dans un prochain chapitre.

Les mouvements d'aller et retour du piston nécessitent une force de freinage pour arrêter la course ascendante ou descendante du piston avant de le relancer. Cette force est fournie par la rotation du vilebrequin, elle-même entretenue par les mouvements alternatifs du piston. Le moteur tourne tant que la force fournie par le mouvement du vilebrequin est supérieure à la résistance offerte par le piston. Tout le travail produit par le moteur provient de la combustion du mélange gazeux. Ce potentiel de puissance dépend uniquement de trois facteurs : la composition du gaz ; la quantité introduite dans le cylindre ; la compression qu'il subit.

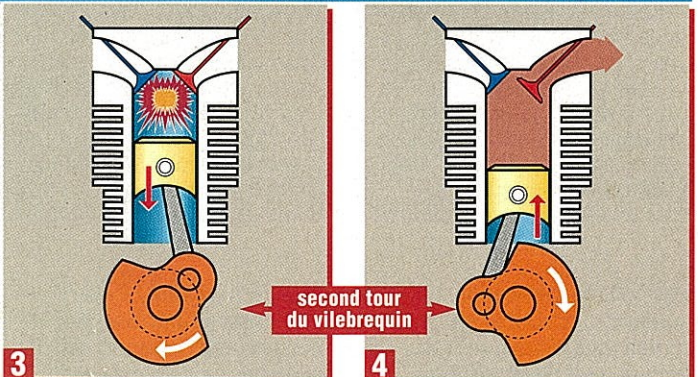
NB : la combustion produit de la chaleur qu'on ne peut récupérer en totalité, sous peine de voir fondre les pièces composant le moteur. De plus, ces pièces sont ajustées étroitement les unes aux autres et nécessitent une lubrification, sous peine d'entraîner le même résultat désastreux. Enfin, divers systèmes auxiliaires sont nécessaires pour réguler la quantité de gaz admise ou en provoquer l'inflammation. ■

En résumé

Nous connaissons désormais les notions suivantes : alésage, course, rapport volumétrique (= de compression), points morts du piston et culasse. Nous avons évoqué également l'existence des soupapes et de systèmes commandant le mouvement ou le déclenchement de la combustion des gaz.

- **Deux tours de vilebrequin** sont nécessaires pour que le moteur à quatre-temps réalise son cycle complet, répartissant ainsi les quatre phases ou quatre temps en quatre courses de piston.
- **Une seule course produit un travail** lors de la deuxième course du piston lorsqu'il redescend du point mort haut vers le point mort bas.
- **Pour entretenir le mouvement** alternatif du piston, il faut que son inertie soit inférieure à celle du vilebrequin qu'il entraîne.

n moteur quatre-temps



3 **Explosion** et combustion, le piston est chassé vers le bas.

4 **Echappement** Le piston remonte, expulsant les gaz brûlés.

300 V COMPETITION 4T

L'huile championne du monde en superbike !
100 % synthèse, performances
et longévité extrêmes.



MOTUL

L'usine à gaz du deux-temps

On continue avec le fonctionnement des moteurs, en passant du quatre-temps au deux-temps. Un moteur plus simple et plus performant, mais qui souffre, comme nous le verrons prochainement, de quelques tares difficiles à contourner.

Par Pepe Burgaleta (Solo Moto) ; traduction et adaptation Jérôme Eline.



Cet écorché du MZ 250 TS représente une étape intermédiaire de l'évolution des moteurs deux-temps. Il ne comporte ni valve à l'échappement ni clapets anti-retour à l'admission. Le conduit d'admission débouche dans le cylindre et non pas directement dans le carter. C'est alors le piston qui ouvre et ferme la lumière d'admission.

Le moteur deux-temps se distingue en réalisant le cycle de quatre temps déjà évoqué en un seul tour de vilebrequin. Pour réduire le nombre de courses du piston nécessaire au déroulement de ce cycle, le deux-temps utilise la partie supérieure du piston mais aussi, c'est la grande différence avec le quatre-temps, sa partie inférieure.

Par ailleurs, son système de distribution se passe de soupapes et c'est le seul piston qui libère ou cache des ouvertures, appelées "lumières", pratiquées dans les parois du cylindre.

Fonctionnement

Le deux-temps travaille donc sur deux étages en même temps en utilisant les parties supérieure et inférieure du piston.

Le cycle commence au Point Mort Bas, la partie située entre le sommet du piston et la culasse étant emplie de mélange gazeux. Ce mélange est comprimé par la remontée du piston tandis que le volume sous le piston crée, en augmentant, un effet d'aspiration (rappelez-vous la seringue).

En remontant, le bas du piston découvre une ouverture qui laisse entrer des gaz frais. Pendant ce temps, la compression continue entre la calotte du piston et la culasse. Au cours de cette seule course, se déroulent donc les temps d'admission (en bas) et de compression (en haut).

Une fois arrivé au Point Mort Haut, le piston est renvoyé vers le bas par l'explosion du mélange. Il dégage alors une lumière qui communique avec l'échappement. La pression dans le cylindre étant supérieure à celle régnant dans le pot, les gaz brûlés commencent à s'échapper du cylindre. Aussitôt, le piston en descendant découvre d'autres lumières qui communiquent avec le carter. Dans le même temps, il comprime les gaz frais admis dans le carter, qui remontent alors vers la chambre de combustion en utilisant les "transferts" entre le haut et le bas moteur. On revient ainsi à la situation de départ : piston au PMB et cylindre empli de gaz frais. Un nouveau cycle peut commencer.

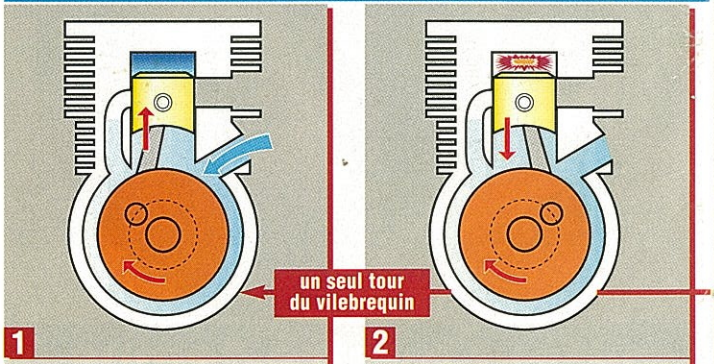
Comptez bien, les quatre temps sont tous là : admission et compression au début de la montée du piston, explosion au début de la descente, échappement à la fin.

Analyses

A ce stade, le fonctionnement d'un deux-temps peut paraître compliqué, comparé au quatre-temps. Mais hormis l'attention que requiert la compréhension de son principe, ses autres caractéristiques sont plus simples. Il n'utilise pas en effet de soupapes pour sa distribution, caractéristique qui entraîne un moindre coût de fabrication.

Par ailleurs, une course efficace intervenant à chaque tour de vilebrequin, soit deux fois plus souvent que sur un quatre-temps, le deux-temps peut fournir en théorie deux fois plus de puissance. En réalité, l'écart n'est pas aussi important car certaines caractéristiques de construction empêchent un fonctionnement idéal. En observant en détail le fonctionnement de ce moteur, on

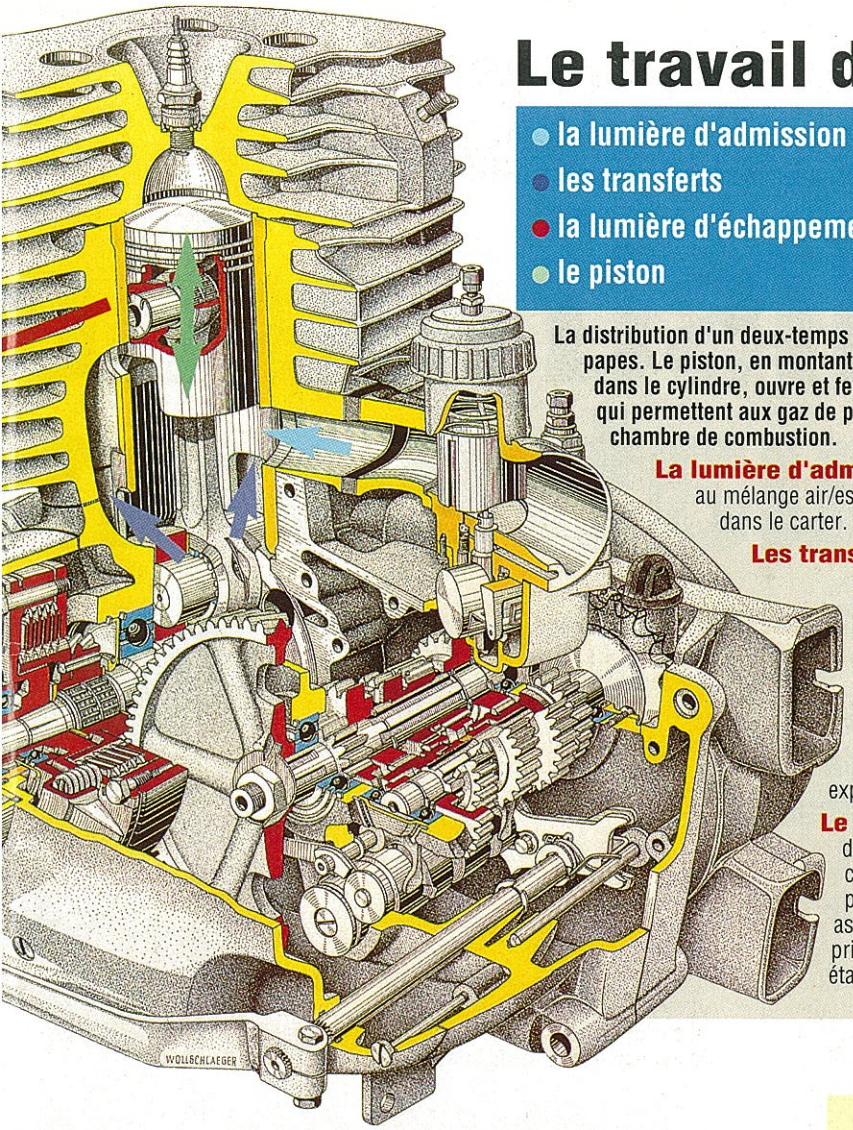
Le cycle à deux étages



Admission/compression Alors que le piston monte dans le cylindre, il crée une dépression dans le carter, qui aspire le mélange (rappelez-vous la seringue). Dans le même temps, le mélange déjà admis au tour précédent est comprimé dans la chambre de combustion.

Explosion Le piston est violemment chassé vers le bas par l'explosion/combustion du mélange. Sur les moteur deux-temps modernes, un dispositif anti-retour (les clapets) empêche le mélange admis dans le carter, de ressortir à nouveau par la lumière d'admission.

Le travail des gaz



- la lumière d'admission
- les transferts
- la lumière d'échappement
- le piston

La distribution d'un deux-temps se passe de soupapes. Le piston, en montant et descendant dans le cylindre, ouvre et ferme les ouvertures qui permettent aux gaz de pénétrer dans la chambre de combustion.

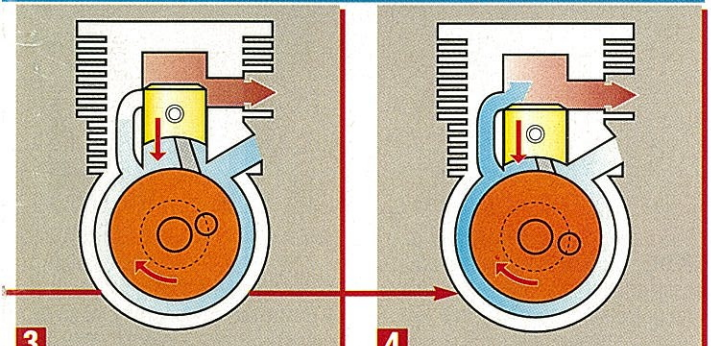
La lumière d'admission permet au mélange air/essence de pénétrer dans le carter.

Les transferts permettent au mélange de monter dans la chambre de combustion.

La lumière d'échappement (masquée sur ce document) permet aux gaz brûlés d'être expulsés dans le pot.

Le piston travaille dans le cylindre comme dans une pompe à vélo. Il aspire, déplace et comprime les gaz aux deux étages du moteur.

du moteur deux-temps



3

Echappement Au cours de sa phase de descente, le piston démasque la lumière d'échappement, par laquelle s'engouffrent les gaz brûlés. Dans cette phase, il comprime également le mélange d'air et d'essence dans le carter et le chasse vers le haut par la lumière de transfert.

4

Transfert Parvenu pratiquement au bas de sa course, le piston finit d'expulser les gaz brûlés et démasque la lumière de transfert. Le mélange d'air et d'essence comprimé dans la partie basse du moteur peut passer alors dans la chambre de combustion. Et le cycle peut recommencer.

s'aperçoit en effet qu'au moment où les gaz frais arrivent au-dessus du piston, les gaz brûlés n'ont pas encore tous quitté le cylindre. Immanquablement, ces deux masses finissent par se mélanger, amenant une partie des gaz frais à fuir dans l'échappement. Nous verrons ce problème ultérieurement.

On peut donc conclure à une plus forte puissance théorique du deux-temps en raison de son nombre plus élevé d'explosions mais à un plus mauvais rendement dans l'absolu en raison de la qualité moindre de ces mêmes explosions.

Applications

Si on se limite à l'observation des deux types de motorisation présentés jusqu'ici en cherchant les familles équipées de l'un ou l'autre genre, on arrive aux conclusions suivantes.

Les moteurs quatre temps sont utilisés sur les motos de grosse cylindrée. A l'opposé, on ne trouve de quatre-temps de petite cylindrée que sur les motos qui ne se préoccupent pas de puissance, les utilitaires par exemple. Grossièrement, on peut fixer une limite à 400 cm³ entre les deux genres.

Les deux-temps sont, eux, très présents en petites cylindrées (jusqu'à 250 cm³), soit en raison du faible coût de fabrication d'un tel moteur (cyclos, utilitaires), soit pour sa capacité à délivrer de la puissance. A cet égard, le deux-temps est LE moteur de compétition, en raison de sa puissance infiniment supérieure à cylindrée égale. ■

En résumé

- **Le cycle du deux-temps** s'effectue en deux courses de piston, soit un seul tour de vilebrequin.
- **Les volumes supérieur et inférieur au piston** sont utilisés, les différentes phases du cycle se déroulant simultanément aux deux étages.
- **Il n'y a pas de soupapes** la distribution est confiée à des ouvertures dans le cylindre, les "lumières", que le piston ouvre ou ferme au cours de ses déplacements.
- **Le rendement** du deux-temps est en théorie deux fois plus élevé que celui d'un quatre-temps, puisqu'il fournit un tour efficace à chaque tour de vilebrequin, contre un tour toutes les deux révolutions pour le quatre-temps. Mais en fait, la simultanéité des opérations d'admission et d'échappement dans le cylindre en diminue fortement l'efficacité.

800 RACING 2T

L'huile championne du monde en GP vitesse et moto-cross ! Une formulation 100 % synthèse ester à viscosité élevée.



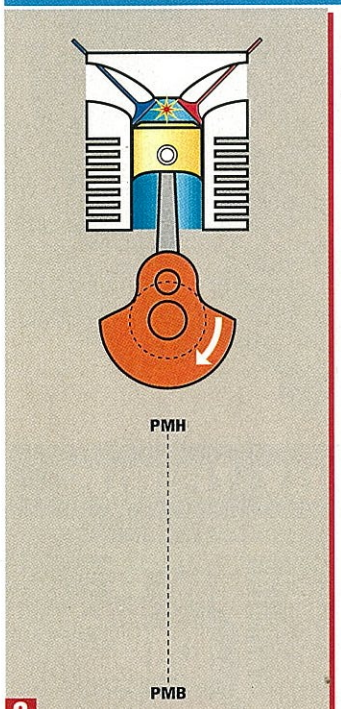
MOTUL

La distributio du quatre-tem

Après avoir découvert le cycle du moteur, qu'il soit deux-temps ou quatre-temps, et la circulation des gaz, nous abordons aujourd'hui la distribution ou l'art de gérer admission et échappement. Première application : le quatre-temps.

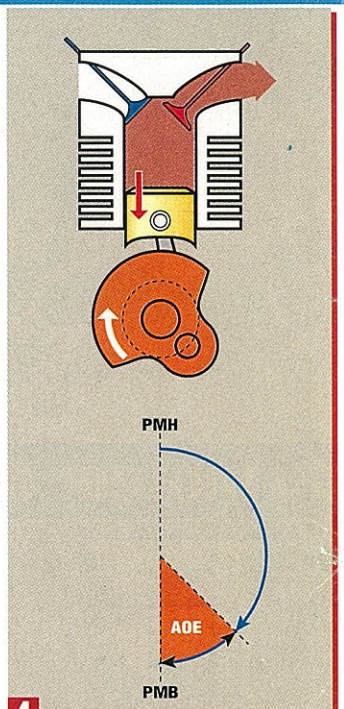
Par Pepe Burgaleta (Solo Moto) ; traduction et adaptation Jérôme Eline.

L'ouverture et la ferme



3

Explosion Le piston est au **PMH**, la soupape d'admission (en bleu et celle d'échappement (en rouge) sont toutes les deux fermées. La bougie enflamme les gaz frais et leur combustion/explosion va chasser le piston vers le bas



4

Avance à l'Ouverture de l'Echappement La soupape d'échappement commence déjà à s'ouvrir avant que le piston, qui a été chassé vers le bas par l'explosion/combustion des gaz frais, n'atteigne le **PMB**.

Sur un quatre-temps, le moment où les gaz frais entrent dans la chambre de combustion est déterminé par l'ouverture de la soupape d'admission. Et le temps pendant lequel les gaz frais peuvent pénétrer dans la chambre de combustion est déterminée par le temps pendant lequel cette soupape d'admission reste ouverte.

Il en va de même pour la sortie des gaz brûlés avec la soupape d'échappement.

Le temps d'ouverture des soupapes et leur diamètre (ainsi que celui des conduits qu'elles ouvrent et ferment) déterminent la quantité de gaz frais et brûlés qui entrent et sortent de la chambre de combustion.

L'ingénieur qui conçoit un moteur ou le préparateur qui souhaite en modifier certaines caractéristiques programment ces instants et ces temps d'ouverture et de fermeture des soupapes. Ils déterminent alors ce qu'on nomme un **diagramme de distribution.**

Ce diagramme indique le moment d'ouverture des soupapes, leur temps d'ouverture et le moment de leur fermeture, en prenant pour origine de cette mesure en degrés les positions du piston au **PMH** et au **PMB**. Pourquoi en degrés ? Parce que tout déplacement du piston implique un déplacement analogue en degrés d'arc de cercle du vilebrequin.

Le diagramme de distribution se détermine en prenant en compte le type du moteur (mono, twin ou multicylindre) et les caractéristiques de comportement qu'on souhaite lui donner.

Exemple :

Type : un monocylindre quatre-temps utilitaire de petite cylindrée (125 cm³).

Caractéristiques : il doit avoir une relative souplesse et ne pas tourner trop vite pour résister à l'usure et consommer peu.

Ce cahier des charges, à lui seul, détermine déjà un type de diagramme de distribution. Si ce moteur devait avoir une vocation sportive, on choisirait un autre diagramme.

Pour compliquer un peu les choses, l'établissement d'un diagramme de distribution doit tenir compte de certaines caractéristiques propres aux mélanges gazeux.

Inertie

Le mélange air-essence met un certain temps, même infime, à entrer ou sortir du moteur. Lorsque celui-ci tourne à plusieurs milliers de tours/minute, ce temps prend alors une importance non négligeable. De même, lorsque le mélange est propulsé dans une direc-

n
ps

tion, il a tendance à poursuivre son déplacement dans cette direction, après que l'élan initial ait disparu.

Volumes et pressions

Le mélange air-essence est gazeux et comme tel, il peut occuper, à quantité égale, des volumes différents en fonction de la pression qu'il subit. A volume constant, les variations de pression qu'il exerce sont proportionnelles aux variations de température.

En clair, on peut comprimer ou détendre une même quantité de gaz, elle tendra toujours à occuper tout le volume disponible, les gaz ayant une propriété d'élasticité. Si on chauffe cette même quantité de gaz dans un même volume, elle va exercer une pression de plus en plus forte à mesure que la température augmente.

D'autre part, le fait de comprimer cette même quantité de gaz en augmente la température et c'est normal puisqu'il s'agit d'un travail.

Exemple :

Prenez une pompe à vélo, aspirez de l'air puis bouchez la sortie de la pompe alors que vous pompez pour comprimer l'air, vous percevez les caractéristiques d'élasticité de ce mélange gazeux. De même, vous sentez que la pompe devient brûlante à mesure que vous comprimez le mélange.

Combustion

Après avoir brûlé, le mélange air-essence a subi une modification chimique et à pression égale, il occupe un volume moindre, ou bien pour un même volume, exerce une pression moindre.

Pratique

Reprenons notre cycle tel que nous l'avons décrit dans le chapitre 2 de "Technique pour tous. La valse du quatre-temps".

Commençons à la phase 3, l'explosion. Celle-ci chasse le piston vers le bas mais comme les gaz brûlés possèdent une inertie propre, ils vont mettre un certain temps à sortir du cylindre. On peut également utiliser leur expansion et donc la pression qu'ils exercent pour commencer à les chasser vers l'échappement.

Donc nous commençons à ouvrir la soupape d'échappement un peu avant que le piston n'atteigne le PMB, c'est-à-dire avant qu'il ne commence à remonter.

On mesure ce degré d'ouverture en degrés de rotation du vilebrequin avant le PMB et on le nomme **A**vance à l'**O**uverture de l'**E**chappement.

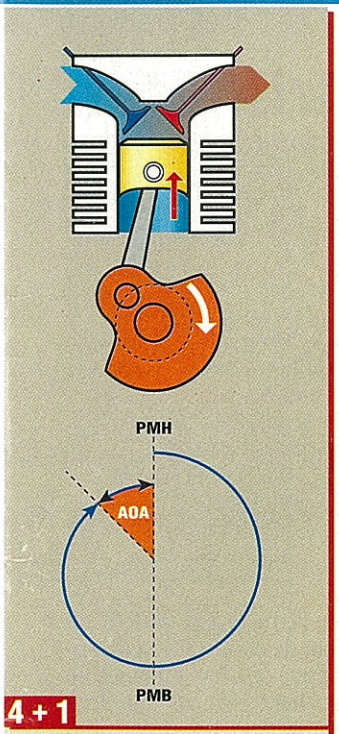
Rendez-vous à la phase 4, l'échappement, le piston remonte en expulsant les gaz brûlés par l'ouverture de la soupape d'échappement.

Sous la pression du piston qui remonte, leur vitesse de sortie s'accélère, ils prennent de l'inertie et lorsque le piston se rapproche du PMH, les gaz brûlés qui se ruent vers l'extérieur créent une aspiration, une dépression dans la chambre de combustion. L'ingénieur va astucieusement s'en servir pour y attirer une nouvelle quantité maximum de gaz frais.

Comment ? En faisant ouvrir la soupape d'admission quelques degrés de rotation du vilebrequin avant que la remontée du piston n'atteigne le PMH.

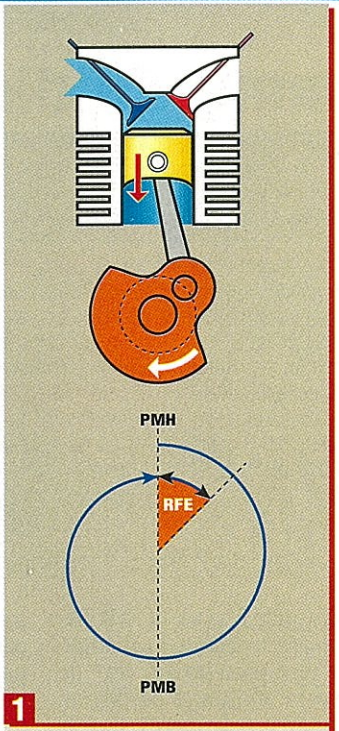
On nomme ainsi ce moment de l'ouverture de la soupape d'admission : **A**vance à ▶

ture des soupapes du quatre-temps



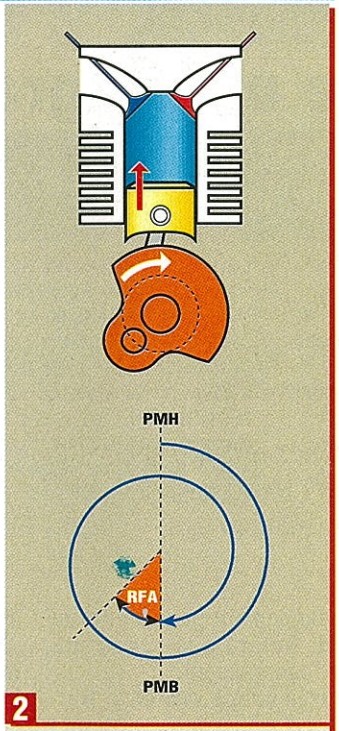
4+1

Avance à l'Ouverture de l'Admission La soupape d'admission commence déjà à s'ouvrir avant que le piston, qui remonte, n'atteigne le **PMH**, alors que celle d'échappement n'est pas encore fermée. C'est le **croisement**.



1

Retard à la Fermeture de l'Echappement La soupape d'échappement se ferme alors que le piston a dépassé le **PMH** et entame une nouvelle course descendante, celle d'admission est toujours ouverte.



2

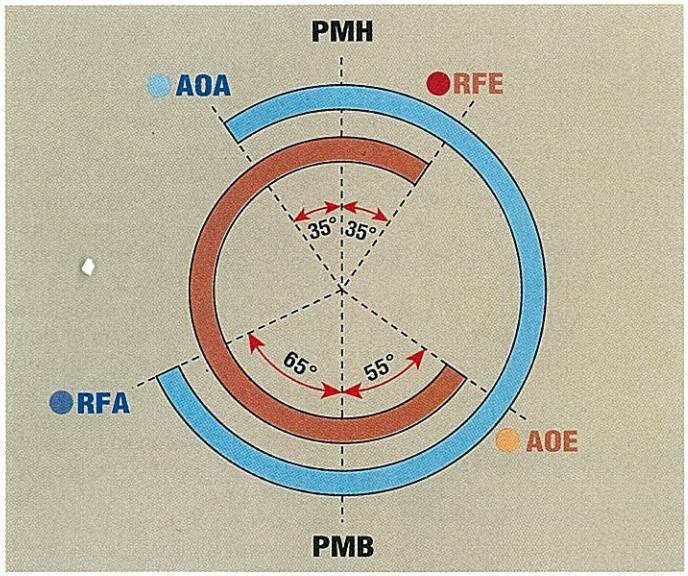
Retard à la fermeture de l'Admission Alors que le piston a dépassé le **PMB** et entame une nouvelle course ascendante, la soupape d'admission se ferme, les gaz frais sont comprimés jusqu'à l'explosion, le cycle recommence.

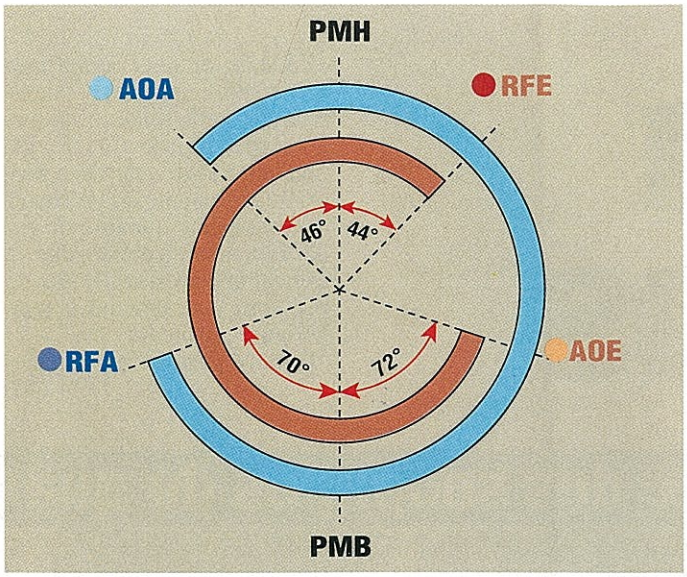
3100 4T

Le meilleur de la Technosynthèse !
Existe en 3 viscosités : SAE 10W 40, 20W 40 et 15W 50, avec additif spécial boîte de vitesses.



MOTUL





Comment lire un diagramme de distribution

● AOE l'Avance à l'Ouverture de l'Echappement
● AOA l'Avance à l'Ouverture de l'Admission
● RFE le Retard à la Fermeture de l'Echappement
● RFA le Retard à la Fermeture de l' Admission

Voici deux diagrammes de distribution d'un même moteur de Kawasaki 4 cylindres. Le diagramme de gauche est celui de la version standard alors que celui de droite correspond à ce même moteur, mais préparé pour la course. On note que le préparateur a augmenté les temps d'ouverture (notés en angles de rotation du vilebrequin) des soupapes. Son moteur admet donc plus de gaz frais et expulse, relativement, plus de gaz brûlés.

Le cercle extérieur bleu correspond à l'angle de rotation du vilebrequin pendant lequel la soupape d'admission est ouverte. On remarque sur le premier diagramme que la soupape d'admission ouvre 35° avant que le piston n'ait atteint le **PMH**, qu'elle ferme 65° après que le piston ait atteint le **PMB**. Ceci nous donne une rotation de vilebrequin d'ouverture d'admission de 35°d'**AOA** + 180° (soit la course descendante du piston depuis le **PMH** jusqu'au **PMB**) + 65° de **RFA** soit 280°.

Le cercle intérieur brun correspond au temps (ou à l'angle de rotation du vilebrequin) pendant lequel la soupape d'échappement est ouverte. Faites le même calcul qu'avec l'admission pour obtenir l'angle total de son ouverture. **La somme des deux cercles** majorée du temps ou les deux soupapes sont fermées (et qu'on peut aussi calculer sur ce diagramme,) nous donne bien les deux tours de vilebrequin du cycle à quatre-temps.

▶ l'**O**uverture de l'**A**dmission.

Les esprits vifs auront noté qu'à ce moment précis, les deux soupapes, admission et échappement, sont ouvertes.

C'est normal car le nouveau volume de gaz frais qui entre dans la chambre de combustion prend lui aussi de la vitesse puisqu'il y est attiré par une dépression. On va donc utiliser ce volume de gaz frais et son énergie pour chasser manu militari le reste de gaz brûlés du cycle précédent.

On nomme ce moment du cycle le **croisement**.

Toujours en raison de l'inertie des masses gazeuses et du temps qu'elles prennent à se déplacer, l'ingénieur va faire se fermer la soupape d'échappement quelques degrés de rotation du vilebrequin après que le piston ait atteint le PMH, donc au début de sa nouvelle course descendante.

On nomme ce moment de la fermeture de la soupape d'échappement par rapport au PMH, **R**etard à la **F**ermeture de l'**E**chappement.

Pour la même raison, la soupape d'admission, toujours ouverte durant la descente du piston, ne se fermera que quelques degrés de rotation du vilebrequin après que le piston ait atteint le PMB, lors de sa remontée.

On nomme ce moment de la fermeture de la soupape d'admission **R**etard de **F**ermeture de l'**A**dmission.

Avec la valeur en degrés de l'**AOE**, de l'**AOA**, du **RFE** et du **RFA**, on peut réaliser le **diagramme de distribution** qui donnera en degrés de rotation du vilebrequin les moments précis des temps d'ouverture puis les moments de fermeture des soupapes d'admission et d'échappement.

La durée totale de l'admission correspondra donc aux 180° de la course descendante du piston, augmentés des degrés choisis pour l'**AOA** et le **RFA**.

La durée totale de l'échappement correspondra aux 180° de la course montante du piston, augmentés des degrés choisis pour l'**AOE** et le **RFE**.

La **durée du croisement** est la somme de l'**AOA** et du **RFE**. Il convient de doser cet instant critique pour que les soupapes ne s'accrochent pas et que leur ouverture ne les fasse pas "cogner" par le piston qui atteint le PMH durant cette phase. ■

En résumé

- **les points d'ouverture et de fermeture** des soupapes sont programmés par l'ingénieur ou le préparateur.
- **inertie, élasticité des gaz, pressions et dépressions** obligent à augmenter les temps d'ouverture des soupapes en décalant les points d'ouverture et de fermeture par rapport aux passages aux PMB et PMH.
- **AOA, RFA, AOE et RFE** sont les points d'ouverture et de fermeture effectives des soupapes d'admission et d'échappement. Ces points d'avance à l'ouverture et de retard à la fermeture des soupapes par rapport au PMH et PMB se mesurent en degrés de rotation du vilebrequin.
- **le croisement** est la période pendant laquelle RFA et AOE se chevauchent en partie et où les deux soupapes sont ouvertes en même temps.

SCHWANTZ YOU VERY MUCH !*



*** MERCI BEAUCOUP KEVIN SCHWANTZ !**

Merci d'être entré dans la légende à plus de 280 km heure, merci de ton courage qui t'a fait surmonter autant d'épreuves pour en gagner autant, merci pour ta superbe, pour tes travers et tes glissades qui ont su enflammer tout un public même sous la pluie, merci d'avoir donné à l'épreuve reine des 500 cc un roi, merci d'avoir été un partenaire fidèle de Motul depuis 1985 et de nous avoir porté sur les plus hautes marches des podiums, merci de nous avoir offert le titre suprême de champion du monde en 1993 et que ton numéro fétiche 34 devienne le n°1, merci pour ton enthousiasme, ton esprit combatif, ta détermination... Merci d'avoir été le meilleur et d'être à jamais en première ligne dans nos mémoires. Merci.

MOTUL

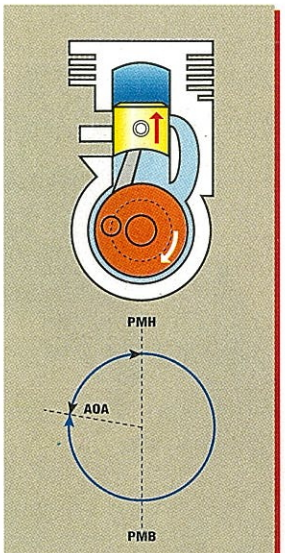
L'HUILE DE HAUT NIVEAU

TAXI JAUNE - Crédit photos : MOTUL

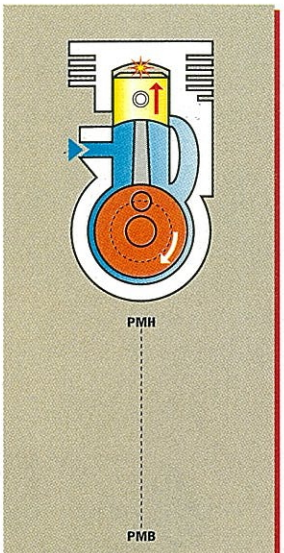
La distribution

Nous avons vu à propos du deux-temps que le piston, en montant et descendant dans le cylindre, ouvre et ferme des conduits, "les lumières", par lesquels les gaz entrent et sortent de la chambre de combustion. Voyons ça d'un peu plus près.

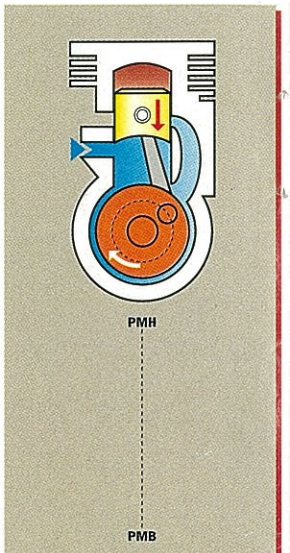
Par Pepe Burgaleta ; traduction Jérôme Eline.



Avance à l'Ouverture de l'Admission Alors que la remontée du piston comprime les gaz admis dans la chambre de combustion au cycle précédent, le bas du piston va commencer à démasquer la lumière d'admission.



Explosion et admission Parvenu au PMH, le piston va bientôt entamer sa descente, alors que les gaz du cycle précédent sont enflammés. La colonne de gaz frais, aspirée par la remontée du piston, pénètre dans le carter moteur



L'admission continue Les gaz brûlés chassent le piston vers le PMB. En raison de leur inertie, les gaz frais continuent d'entrer dans le carter, car leur force de pression est supérieure à celle qu'exerce la descente du piston.

Le complexe voyage des gaz

La distribution d'un deux-temps ne comporte pas de différence fondamentale avec celle du quatre-temps, si ce n'est : a) l'absence d'un mécanisme extérieur pour commander l'ouverture et la fermeture des conduits d'admission et d'échappement, b) le fait que la totalité de la phase d'admission se décompose en deux opérations distinctes, c) que la distribution s'effectue sur 360°, soit un seul tour de vilebrequin.

Souvenez-vous que l'admission se décompose en deux phases, la première où les gaz pénètrent dans le carter, la seconde où les gaz voyagent du carter à la chambre de combustion. Les gaz frais non seulement parcourent plus de chemin que sur un quatre-temps mais travaillent différemment.

Que se passe-t-il dans le haut du cylindre ?

A l'explosion, le piston est violemment chassé vers le PMB. A un moment de cette course, le sommet du piston commence à démasquer la lumière d'échappement et les gaz brûlés s'y engouffrent. Dans le même temps, le piston comprime les gaz frais admis dans le carter moteur au tour précédent. Poursuivant sa descente, il démasque alors la lumière de transfert. Les gaz frais profitent de cette ouverture pour se détendre dans le haut du cylindre et la chambre de combustion. Ils chassent alors le reste des gaz brûlés dans la lumière d'échappement, toujours ouverte. Pour cela, il faut que le dessin du conduit de transfert soit réalisé de manière à freiner le moins possible le cheminement des gaz qui l'empruntent. De même, les lumières d'échappement et de transfert doivent être disposées dans le cylindre de telle façon que admission et échappement se produisent au moment le plus opportun. C'est le diagramme de distribution qui détermine leur hauteur dans le cylindre et également leur surface.

Lorque le piston a dépassé le PMB et commence sa remontée, il masque la lumière de transfert, autorisant ainsi la compression des gaz frais. Mais la lumière d'échappement est encore partiellement démasquée puisque à la course précédente, lors de la descente du piston, elle était la première à être découverte.

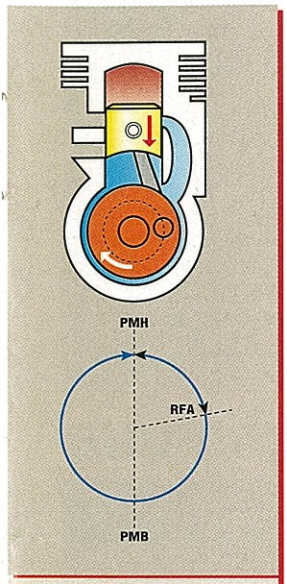
NB : ceci implique que la durée (ou l'angle de rotation de vilebrequin correspondant) de la phase de transfert est plus courte que celle d'échappement.

Lorsque le transfert est terminé et les gaz frais bien comprimés, on est en droit de penser qu'une partie de ces gaz profite de l'ouverture résiduelle de la lumière d'échappement pour s'échapper. Exact ! Mais on a dessiné le pot d'échappement de telle façon que sa forme induise une onde pour produire un "bouchon" au niveau de la lumière d'échappement. Cette onde stoppe la sortie des gaz frais. La forme du pot détermine le régime de rotation auquel cette onde est la plus efficace.

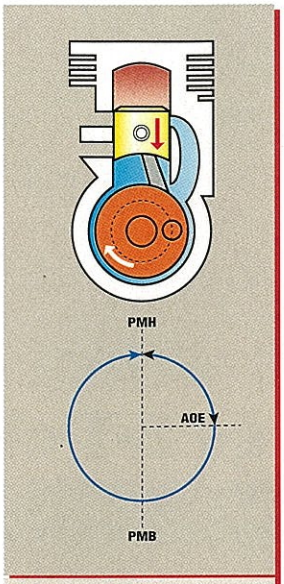
Que se passe-t-il dans le carter moteur ?

Lorsque le piston remonte du PBM au PMH et que la lumière d'admission est ouverte, il aspire des gaz frais dans le carter. Sur un deux-temps de la précédente génération, le conduit d'admission débouche

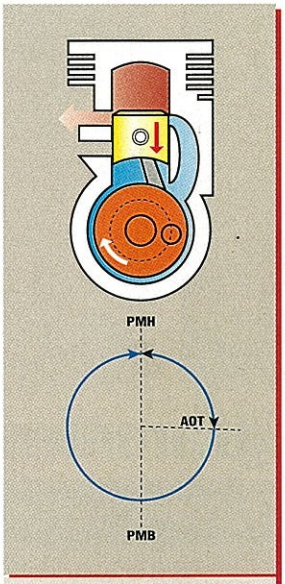
du deux-temps



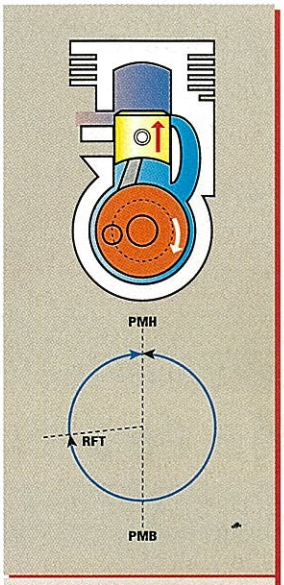
Retard à la Fermeture de l'Admission La pression exercée par la descente du piston s'équilibre avec celle de l'entrée des gaz frais ; le bas du piston vient enfin fermer totalement la lumière d'admission.



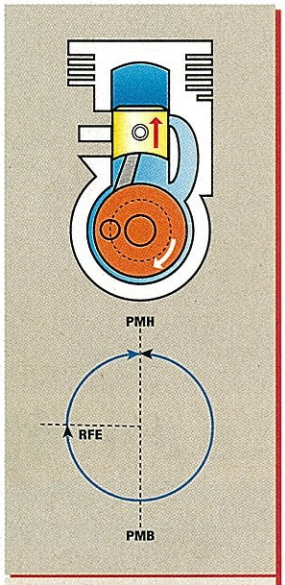
Avance à l'Ouverture de l'Echappement Juste après la fermeture de la lumière d'admission, le haut du piston va démasquer la lumière d'échappement, alors qu'il n'est pas encore parvenu au PMB.



Avance à l'Ouverture de Transfert Le piston descend encore, les gaz brûlés s'engouffrent dans la lumière d'échappement. Le haut du piston va démasquer la lumière de transfert, les gaz frais sont comprimés dans le carter.



Retard à la Fermeture de Transfert Parvenu au PMB, le piston remonte, masque la lumière de transfert et comprime les gaz frais dans le cylindre. Ils y chassent le reste de gaz brûlés, en théorie du moins.



Retard à la Fermeture de l'échappement Le piston ferme enfin la lumière d'échappement car gaz brûlés et gaz frais commenceraient à se mélanger. ce peut être le cas si le moteur tourne trop lentement.

dans le dédale de la distribution du deux-temps

dans le bas du cylindre, au-dessus de la lumière d'échappement. La lumière d'admission est toujours ouverte alors que le piston, ayant dépassé le PMH, commence à redescendre et des gaz frais pénètrent encore dans le carter. Au chapitre précédent (la distribution du quatre-temps), nous évoquions l'inertie des gaz, donc leur tendance à poursuivre naturellement leur chemin dans une direction, alors que la force qui les met en mouvement a disparu. Lorsque la pression des gaz frais s'équilibre avec la pression du piston qui descend, la lumière d'admission doit alors être fermée.

Dans les moteurs deux-temps modernes à admission débouchant dans le carter, on utilise des clapets anti-retour calibrés en fonction des valeurs de pression et de dépression auxquelles ils doivent s'ouvrir ou se fermer.

NB : comme l'emplacement des lumières et transferts percés dans le cylindre est fixe, le piston masquera et démasquera ces ouvertures de façon symétrique. C'est-à-dire à la même hauteur de sa course montante et descendante.

Nous verrons plus tard que l'ingénieur dispose aujourd'hui grâce à l'électronique d'un moyen de faire varier ces paramètres.

De l'influence des variations de régime

Le diagramme de distribution, d'un deux-temps comme d'un quatre-temps, tient compte de l'inertie des colonnes de gaz pour optimiser les périodes d'admission et d'échappement à un régime donné. A ce régime, le fonctionnement du moteur est optimal, c'est le régime d'utilisation normal. En dessous de ce régime et au-delà, le moteur fonctionne moins bien.

A régime constant et quel qu'il soit, les pressions et dépressions ne varient pas et les mêmes quantités de gaz entrent et sortent du moteur.

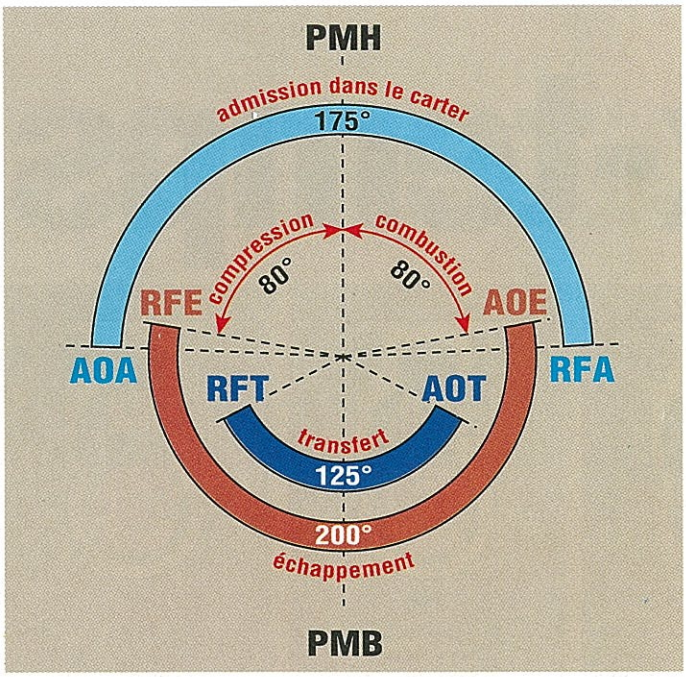
A bas régime,une partie des gaz frais parvient à sortir par l'échappement (car le diagram- ▶

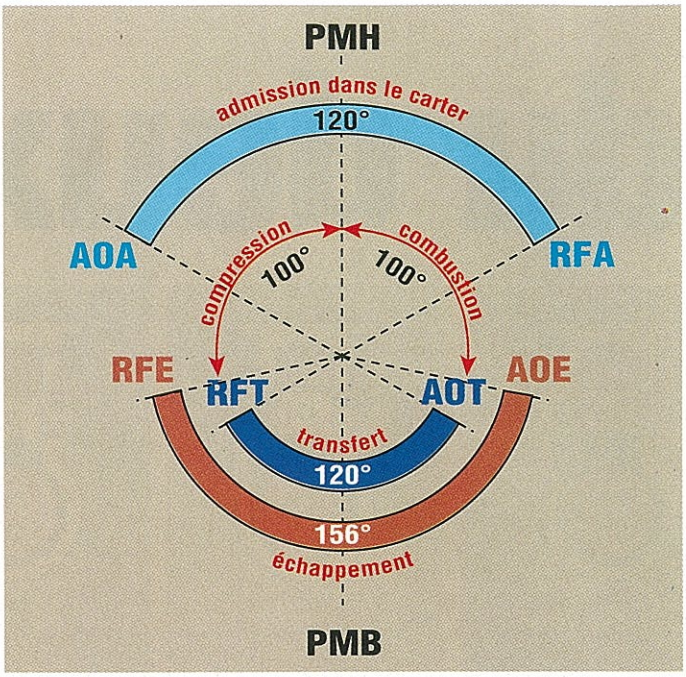
800 RACING 2T

L'huile championne du monde en GP vitesse et moto-cross ! Une formulation 100 % synthèse ester à viscosité élevée.



MOTUL





La symétrie des diagrammes du 2-T classique

● **Admission** (degrés de rotation du vilebrequin) ● **Echappement** (même type de mesure) ● **Transfert** (même type de mesure)

Voici les diagrammes de distribution d'une Yamaha TZ de compétition (à gauche), et d'un deux-temps de route sportif. Sur laTZ on a optimisé les temps d'admission, de transfert et d'échappement pour obtenir le maximum de puissance. Un tel diagramme sous-entend un bon fonctionnement à régime élevé. A bas régime, le remplissage et l'évacuation des gaz sont forcément mauvais. L'autre diagramme est prévu pour une utilisation moins violente.

Le cercle extérieur bleu clair correspond à l'angle de rotation du vilebrequin pendant lequel les gaz sont admis dans le carter. On remarque sur le premier diagramme qu'elle s'effectue sur presque 180° de rotation du vilebrequin et que admission et échappement sont ouverts ensemble sur 7,5° au début et à la fin des phases respectives.

Le cercle intérieur bleu sombre correspond à la phase de transfert, le moment où les gaz remontent du carter dans le haut du cylindre. Durant cette phase, l'échappement est ouvert. On utilise les pressions et l'inertie des gaz pour éviter fuites et mélanges.

Le cercle brun correspond à la phase d'échappement. Sur les deux diagrammes, c'est la phase la plus longue.

La symétrie On remarque que du PMH au PMB et du PMB au PMH, les deux diagrammes donnent des temps d'ouverture identiques.

me de distribution tient compte de l'inertie des colonnes gazeuses pour un régime de rotation bien supérieur). De même, en descendant, le piston comprime les gaz frais dans le carter mais comme les lumières de transfert sont masquées, une partie du mélange a tendance à ressortir par la lumière d'admission (qu'elle soit pratiquée dans le cylindre ou qu'elle débouche dans le carter). Avec une admission dans le carter, les clapets anti-retour s'avèrent très efficaces pour fermer le conduit.

NB : le phénomène se manifeste de manière identique avec un quatre-temps en raison de l'AOA, RFA et AOE, RFE (voir chapitre 4, l'admission du quatre-temps).

Plus le diagramme choisi recherche la puissance maxi à un régime de rotation élevé du moteur, plus ce dernier fonctionne mal à bas régime, voire pas du tout dans un cas extrême.

A bas régime, les gaz disposent d'un maximum de temps pour se déplacer mais plus le régime augmente, plus ce temps décroît. Lorsque le régime est plus élevé que celui prévu par le diagramme de distribution, les temps impartis à l'admission comme à l'échappement sont trop courts. Le piston met moins de temps à découvrir les lumières et celles-ci sont ouvertes moins longtemps. S'ensuit une perte de remplissage et une mauvaise évacuation des gaz brûlés. De plus, gaz frais et gaz brûlés se mélangent, dégradant la qualité de l'explosion-combustion.

NB : on retrouve ce même inconvénient avec un quatre-temps. Reprenez le chapitre précédent de "La distribution du quatre-temps", pour comparer les similitudes et différences avec la distribution du deux-temps.

La solution ? Soit faire varier les temps d'ouverture soit modifier la surface de ces ouvertures en fonction du régime, pour qu'une quantité de gaz optimale puisse toujours être admise ou expulsée. Nous étudierons les moyens d'y parvenir dans un chapitre ultérieur. ■

En résumé

- **Le diagramme de distribution du deux-temps** comprend l'admission proprement dite, dans le carter, puis le transfert où les gaz passent du carter dans le haut du cylindre.
- **La période de transfert** est plus courte que celle d'échappement, pour éviter que les gaz frais ne ressortent du moteur par la lumière d'échappement à la fin de cette phase.
- **Transfert et échappement** sont symétriques par rapport au PMB et PMH car le piston parcourt la même distance en montant et descendant dans le cylindre.
- **Le diagramme de distribution** est établi pour un certain régime. En decà et au-delà, la qualité des échanges gazeux est altérée et entraîne une baisse de rendement. A bas régime, les gaz frais peuvent sortir par l'échappement. A haut régime, les gaz brûlés n'ont pas le temps d'être évacués en totalité et tendent à se mélanger aux gaz frais. Pour éviter cela, il faut un système annexe qui modifie les temps ou les surfaces d'ouverture des lumières en fonction du régime moteur.

QUAND ON EST N°1 C'EST QU'ON A FORCÉMENT QUELQUE CHOSE DE PLUS...



...ET LES AUTRES PEUT-ÊTRE QUELQUE CHOSE DE MOINS.

MOTUL. LA GAMME LA PLUS COMPLÈTE DU MARCHÉ MOTO

Chez Motul, notre moteur c'est la passion... Une passion qui nous permet aujourd'hui d'apporter un véritable sur mesure en matière de lubrification et d'entretien, avec des produits de haut niveau assurant longévité, fiabilité et performance aux deux roues. Une passion qui nous pousse toujours plus vers l'innovation technologique. Une passion qui nous conduit sur les plus hautes marches des podiums. Une passion véhiculée par les professionnels de la moto qui nous recommandent. Chez Motul, notre moteur c'est la passion ; c'est peut-être pour cela que nous sommes numéro 1...

MOTUL

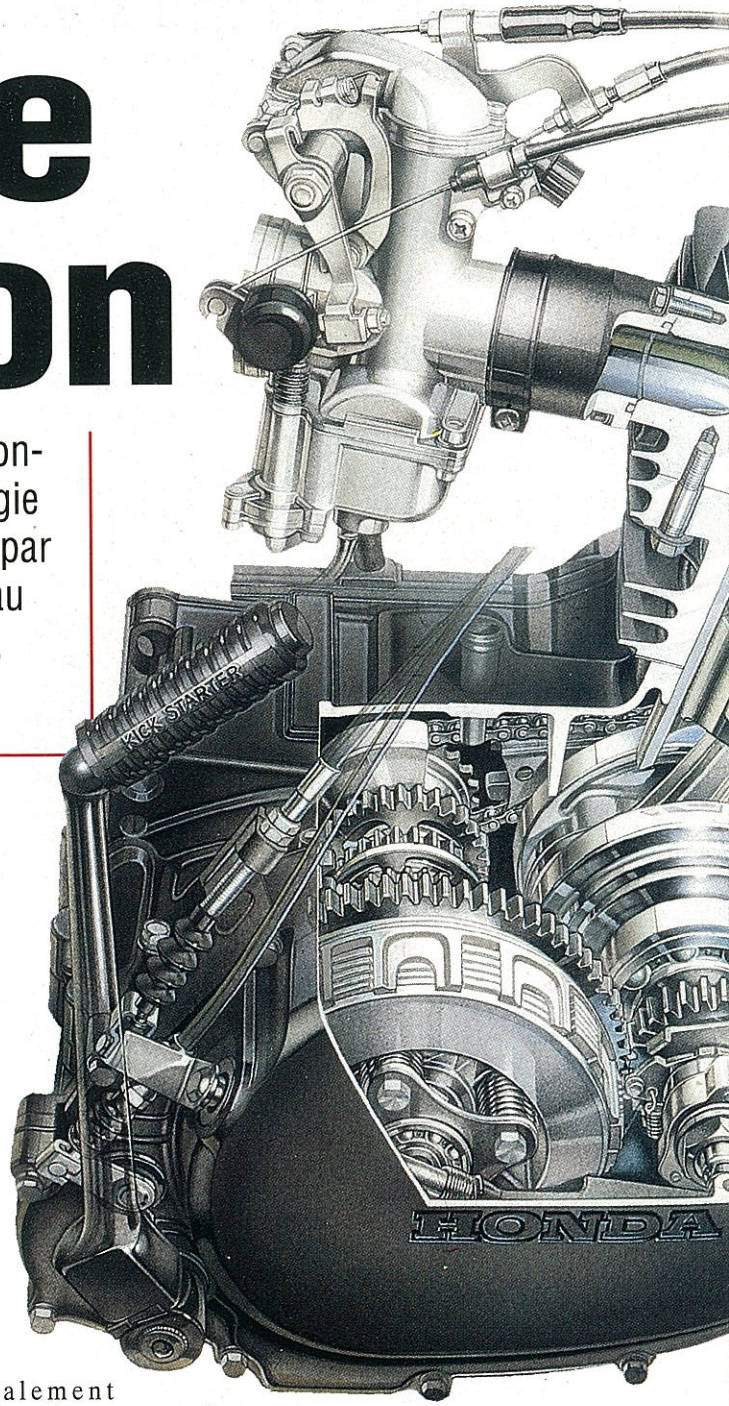
L'HUILE DE HAUT NIVEAU

TAXI JAUNE

Le rôle du piston

Nous avons vu que l'ensemble piston-bielle-vilebrequin transforme l'énergie de l'explosion en rotation utilisable par la roue motrice. Intéressons-nous au premier de ces éléments : le piston.

Par Pepe Burgaleta (Solo Moto) ; traduction et adaptation Jérôme Eline.



Le piston a pour tache de transformer l'énergie de l'explosion en un mouvement rectiligne. Il encaisse directement la détente des gaz en combustion qui le pousse violemment vers le PMB. On imagine facilement qu'il doive bénéficier d'une robuste constitution pour supporter cet effort lorsqu'on sait que c'est lui qui permet, au bout du compte, de propulser notre masse de chair et toute la ferraille de la moto. Ajoutons que la plus grande partie de l'énergie produite étant transformée en chaleur, il lui faut également supporter cette contrainte thermique en plus des efforts mécaniques.

Mais le piston doit aussi garantir une bonne étanchéité de la chambre de combustion et donc s'ajuster étroitement aux parois du cylindre, car il lui faut récupérer le maximum d'énergie, tout en circulant le plus librement possible.

Enfin il doit pouvoir coulisser de façon rectiligne, le plus parfaitement possible dans l'axe du cylindre, sans se dandiner .

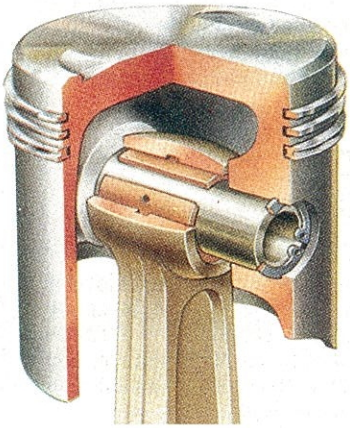
La partie supérieure du piston, nommée calotte, supporte la majeure partie des efforts, tant thermiques que mécaniques. En dessous, on trouve les gorges des segments, des rainures usinées tout autour du piston, où viennent s'encastrer les segments dont la fonction est d'assurer la bonne étanchéité de la chambre de combustion lors de l'explosion.

Juste sous les gorges de segments, les parois du piston comportent un perçage alésé pour recevoir l'axe qui relie le piston à la bielle. Enfin, la partie inférieure, la jupe, dissipe une partie de la chaleur qui frappe la calotte et assure également le guidage du piston dans le cylindre.

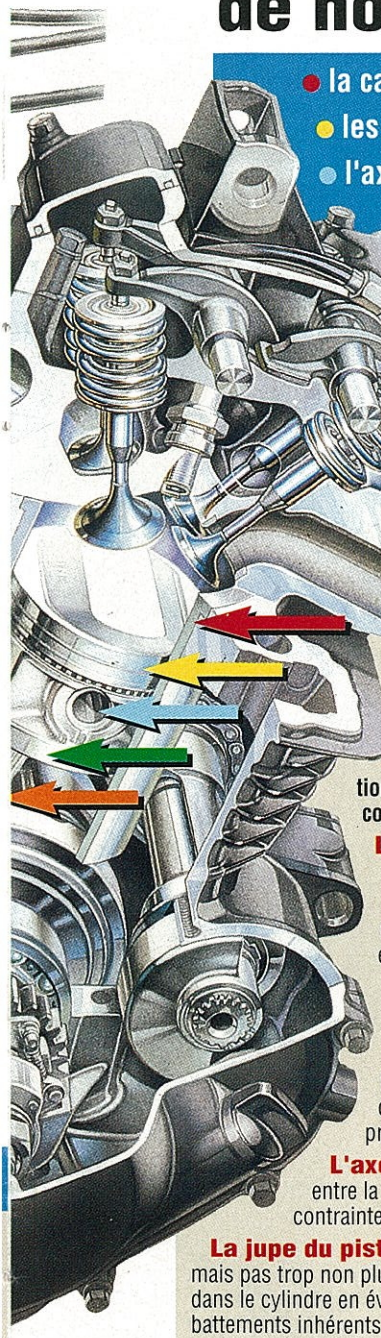
La calotte adopte généralement une forme légèrement courbe ou plate. Elle comporte parfois des empreintes creusées à la forme des soupapes ou encore un évidement prononcé pour la chambre de combustion, suivant le dessin adopté pour cette dernière dans la culasse. Mais la forme traditionnelle reste la meilleure car plus la surface en contact avec le mélange en combustion est grande, mieux elle dissipe la chaleur, évitant ainsi les points chauds qui apparaissent généralement dans les creux ou les angles des formes complexes.

La calotte du piston doit être très résistante pour pouvoir supporter l'énergie de l'explosion mais une épaisseur excessive pose des problèmes de refroidissement et de poids. La solution réside dans des nervures pratiquées sous les parties fines, pour accroître la résistance comme la capacité de dispersion de la chaleur.

Sous la forme d'anneaux coupés par une ouverture d'une cote précise, les segments assurent l'étanchéité entre la



Le piston, cœur de notre moteur



Le piston subit l'énergie de l'explosion des gaz et se trouve en contact direct avec le front de flamme. Il subit deux contraintes : l'une mécanique et l'autre, thermique. C'est avec lui que commence la transformation du mouvement alternatif en mouvement rotatif. Par l'intermédiaire de son axe, il encaisse aussi les battements de la bielle. Le piston est donc une pièce essentielle du fonctionnement du moteur, qui doit être conçue et réalisée avec soin.

La calotte supporte la chaleur et la violence de l'explosion

Les segments peuvent voir leur nombre varier en fonction du type et de la destination du moteur. Ils sont en général au nombre de trois sur un moteur quatre-temps et de deux sur un deux-temps. Tous ont pour but d'assurer l'étanchéité de la chambre de combustion mais chacun possède une fonction bien précise qui le distingue.

L'axe de piston assure la liaison entre la bielle et le piston, qui subit ici une contrainte verticale et latérale.

La jupe du piston doit être suffisamment longue, mais pas trop non plus, pour assurer un bon guidage dans le cylindre en évitant, tant que faire se peut, les battements inhérents au mouvement de la bielle.

chambre de combustion et le carter, tant pour éviter la fuite des gaz vers le bas moteur que pour empêcher l'huile qu'il contient de pénétrer dans la chambre de combustion lorsque le piston remonte. Pour réunir les deux extrémités de la coupe, il faut serrer le segment qui résiste. Cette réaction d'expansion sert à coller le segment contre les parois du cylindre et par là à assurer une bonne étanchéité.

En fonction de leur usage et fonction, les segments sont de différents types, profils et matériaux. Les plus proches de la calotte se chargent de l'étanchéité de la chambre de combustion, on les nomme segments de feu. En dessous, les autres préviennent l'accumulation d'huile contre les parois du cylindre, ce sont les segments racleurs.

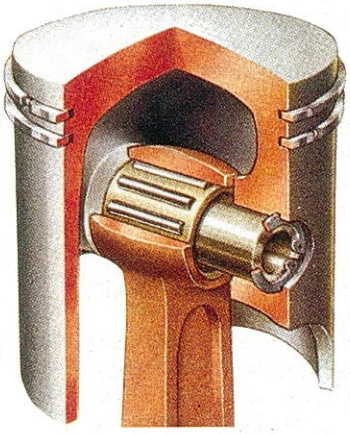
Autres parties impérativement résistantes : les supports d'axe de piston où passent les efforts transmis à la bielle.

Enfin, la jupe. Sa mission varie d'un type de moteur à l'autre. Nous avons vu lors du cycle "deux-temps" qu'elle se charge d'obstruer les lumières, la partie côté échappement ne pouvant être d'une longueur inférieure à la course, sous peine de voir les gaz contenus dans le carter passer directement vers la sortie. Sur les deux-temps à admission "par la jupe du piston", la longueur de cette partie côté admission détermine directement le diagramme. Plus courte, elle couvre moins longtemps la lumière : le diagramme s'allonge d'autant.

Ces impératifs disparaissent dans le cas d'un quatre-temps, permettant de réduire considérablement la longueur du piston et son poids. Dans tous les cas, le concepteur cherche à réduire au strict minimum cette partie, tout en préservant le guidage dans le cylindre et en conservant une surface suffisante pour dissiper les calories de la combustion. Ainsi la jupe affleure la partie inférieure des paliers d'axe de piston (moins de poids) tandis que des excroissances au droit de cette partie se chargent du guidage latéral. Le guidage longitudinal est assuré par les parties avant et arrière de la jupe (les plus longues), munies parfois d'une découpe à leur base, pour éviter le contact avec le vilebrequin, lors du passage au PMB. ■

En résumé

- **Le piston** se charge de transformer l'énergie de l'explosion en un mouvement rectiligne.
- **Les caractéristiques du piston** doivent être : légèreté, résistance mécanique et thermique, stabilité dynamique.
- **Le piston possède quatre parties** : la tête ou calotte, les gorges de segments, l'alésage de l'axe qui le relie à la bielle, et enfin la jupe.
- **Les segments** assurent l'étanchéité entre le piston et les parois du cylindre. En quelque sorte, ce sont des joints qui isolent la chambre de combustion du bas moteur. Ils évitent la fuite des gaz de combustion vers le bas moteur et celle de l'huile qu'il contient vers la chambre de combustion.



A gauche ce piston de quatre-temps posséde deux échancrures sur sa calotte pour que les soupapes ne risquent pas de le toucher. On remarque l'épaisseur de la calotte et de la partie qui supporte l'axe de piston, alors que la jupe est plus fine, puisqu'elle ne supporte que peu de contraintes.

A droite ce piston de deux-temps présente quelques différences dont deux segments seulement et une jupe un peu plus longue car sa forme intervient dans le diagramme de distribution (voir leçon 5, MJ 1097).

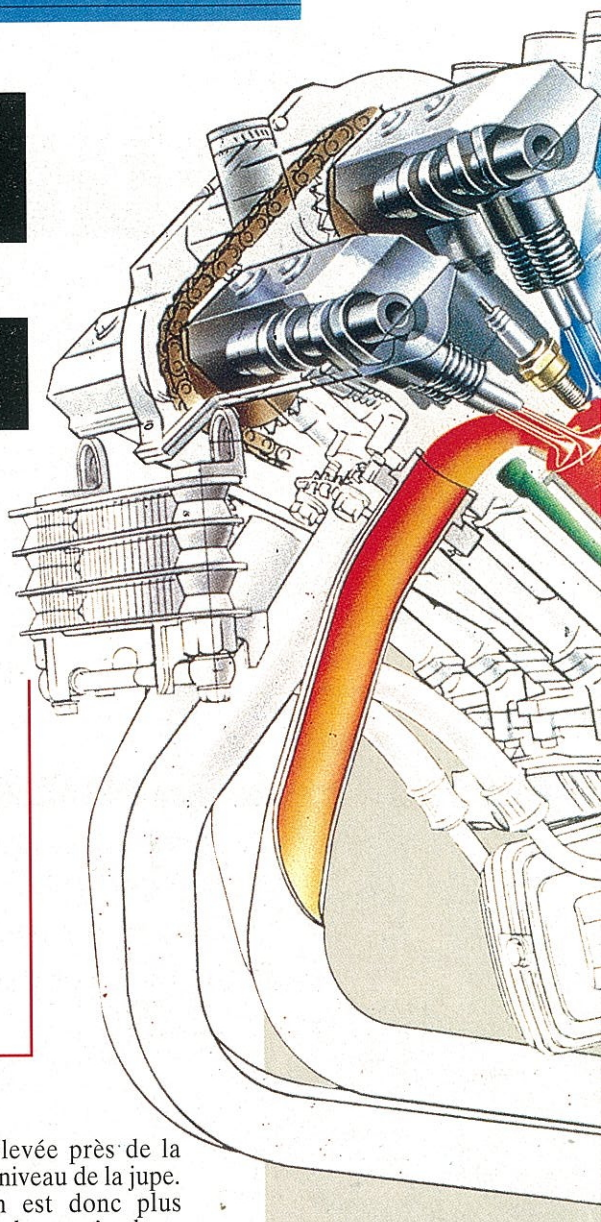
300 V COMPETITION 4T

L'huile championne du monde en superbike !
100 % synthèse, performances
et longévité extrêmes.



MOTUL

Le moral d'acier du piston



Le piston mène une existence plutôt tourmentée. Pour la supporter correctement il faut qu'il soit parfaitement adapté à son univers de travail. Ce chapitre nous permet de comprendre les souffrances qu'il endure et comment il parvient à s'en sortir.

Par Pepe Burgaleta (Solo Moto) ; traduction et adaptation Jérôme Eline.

La température de travail du piston est limitée par la résistance mécanique du métal et sa dilatation. Chaque explosion communique au piston un important apport de chaleur, qu'il doit évacuer en exacte quantité pour maintenir une température constante d'environ 450 °C.

On dispose de différents moyens pour faciliter l'évacuation des calories. Des excroissances à l'intérieur du piston permettent, comme les ailettes d'un cylindre, d'augmenter la surface de dissipation, donc d'accélérer la transmission des calories du piston dans le milieu ambiant. On utilise également de plus en plus fréquemment des systèmes d'injection d'huile sous la calotte, car l'huile a une remarquable faculté d'absorption et de transport des calories.

Cependant, la majeure partie de la chaleur s'évacue par les parois du cylindre, par la jupe du piston et les segments. Pour ce faire, il importe que le diamètre de ces pièces soit calculé au plus juste et surtout que la température du cylindre soit suffisamment basse, pour que le transfert des calories s'effectue avec la rapidité requise.

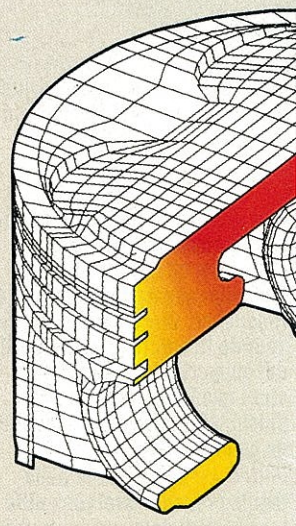
On imagine que la forme du piston est globalement cylindrique, à quelques découpes près. En fait, il n'en est rien car le piston subit des variations de taille en raison de sa montée en température, laquelle engendrent des dilatations.

Si la valeur de dilatation de l'alliage métallique est homogène pour une température donnée, le piston, lui, ne se dilate pas de manière uniforme. Les parties plus épaisses, telles que la calotte ou l'ancrage de l'axe, se dilatent plus que les endroits plus fins comme la jupe. Ajoutons que la tête du piston reçoit directement la chaleur de l'explosion, entraînant une température plus élevée près de la calotte qu'au niveau de la jupe. La dilatation est donc plus importante en haut qu'en bas.

Le but recherché est d'obtenir un piston de forme rigoureusement cylindrique, ajusté le mieux possible au cylindre, lorsque le moteur a atteint sa température normale de fonctionnement.

Pour ces raison, le piston froid ne présente pas une forme parfaitement cylindrique. En fonction des contraintes qu'il va subir à chaud, on lui donne une forme plus ou moins elliptique, tant dans le plan horizontal que vertical. Ainsi, le diamètre de la tête est légèrement inférieur à celui de la jupe. De même, si l'on coupe le piston horizontalement au niveau de son axe, on découvre que sa forme est non pas circulaire mais légèrement elliptique, ce que révèle une mesure perpendiculaire de ses cotes à cet endroit. Le concepteur recourt

Pour supporter les contraintes mé

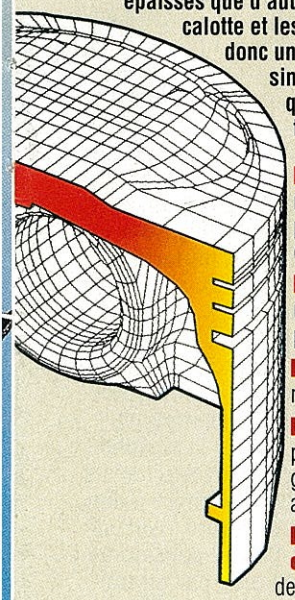


Les fortes contraintes endurées par le piston



- Il doit pouvoir supporter une température moyenne de 450° sans trop se dilater pour ne pas gripper dans le cylindre et encaisser sans broncher la violence des explosions.
- Il doit évacuer une partie de sa température par sa face interne et par la jupe

caniques auxquelles il est exposé, le piston comporte des parties plus épaisses que d'autres. Celles qui sont les plus épaisses, la calotte et les supports de l'axe de piston, subissent donc une plus forte dilatation que la jupe. Le dessin du piston tient compte des déformations que cette dilatation engendre à température de fonctionnement.



La partie haute présente donc un diamètre légèrement inférieur à celui de la partie basse .C'est pour cela qu'on dit qu'un piston est "conique".

Les segments servent aussi à évacuer une partie de la chaleur du piston sur les parois du cylindre.

La face interne comporte souvent des nervures qui font office de "radiateur".

La jupe est la partie la moins épaisse du piston, elle a pour fonction d'assurer un bon guidage du piston dans le cylindre mais aussi d'évacuer les calories.

Le piston présente une section elliptique et non pas circulaire. Vu de dessus, il est plus large au niveau de l'axe.

à deux astuces pour obtenir la forme souhaitée à température de fonctionnement. Soit il prévoit un peu moins de métal qu'il n'en faudrait aux endroits demandant un renfort (tête, ancrages d'axe), soit il pratique des nervures internes, qui se chargent de dissiper la chaleur ou de contenir la dilatation dans des normes acceptables. Ainsi, le piston conservera une taille très légèrement inférieure au diamètre du cylindre, condition sine qua non pour lui conserver sa faculté de déplacement. La différence des diamètres piston-cylindre se mesure néanmoins à froid. Nous reviendrons sur ce point dans les prochains chapitres.

Fabrication et matériaux

Le piston se déplaçant très rapidement, il doit donc être suffisamment léger pour que son inertie ne soit pas trop importante. Il est réalisé dans un alliage offrant une bonne résistance mécanique à haute température. Le plus souvent, cet alliage est constitué d'aluminium, de cuivre et de nickel, ou encore de cuivre et de fer. Le gros inconvénient de l'aluminium réside dans son fort coefficient de dilatation, que les métallurgistes réduisent par l'addition de silicium. Le silicium ne constitue pas pour autant une panacée, puisqu'il a tendance à diminuer la résistance mécanique. Vous le voyez, rien n'est simple !

Outre l'usinage pur et simple dans un bloc d'alliage, la réalisation des pistons peut se faire selon deux techniques. La première consiste à couler de l'alliage en fusion dans un moule, la seconde à le forger au marteau pilon, comme le forgeron pour un fer à cheval. Dans les deux cas, on obtient une pièce brute qui a la forme générale du piston fini, mais qu'il faut ensuite usiner pour obtenir les cotes définitives. La technique du forgeage, beaucoup plus onéreuse, permet de produire des pistons considérablement plus durs et résistants. ■

En résumé

- **Le dessin du piston** répond à ses impératifs de fonctionnement à la température normale d'utilisation du moteur. Il tient compte des contraintes mécaniques qu'il subit, de l'importance des calories qu'il doit évacuer et des variations de dilatation qu'il connaît.
- **L'alliage du piston**, à base d'aluminium, répond aux impératifs de légereté, de résistance mécanique et de déformation thermique qu'il encaisse. On lui adjoint d'autres métaux aux propriétés complémentaires pour parvenir au but recherché.
- **La fabrication du piston** utilise deux étapes : la fonderie ou le forgeage, qui lui confèrent sa forme générale, puis l'usinage à ses cotes définitives.

MOTUL MOTO *Protect*

Une gamme de produits d'entretien pour conserver à votre moto son éternelle jeunesse.



MOTUL

Les segments, indispensables à l'étanchéité

Le piston ne peut, à lui seul, établir une bonne étanchéité entre la chambre de combustion et le bas moteur. C'est donc la segmentation qui est chargée de remplir cette fonction.

Par Pepe Burgaleta (Solo Moto) ; traduction et adaptation Jérôme Eline.



Il est absolument nécessaire que la chambre de combustion soit hermétique pour assurer un bon fonctionnement du moteur. Lors de la compression, le mélange air/essence ne doit pas fuir dans le carter par l'espace libre (le «jeu») entre le piston et le cylindre, nécessaire à un bon coulissement. Après explosion, les gaz qui se détendent brutalement ne doivent pas non plus emprunter le même chemin. Enfin, il ne faut pas que l'huile d'un quatre-temps remonte dans le haut moteur et assurer une bonne compression dans le bas carter d'un deux-temps.

D'une manière générale, on évite que les matières en présence de part et d'autre du piston (gaz frais, gaz brûlés et huile) ne se "contaminent" les unes et les autres.

Cette fonction d'étanchéité échoit aux segments. Ce sont des anneaux métalliques présentant une coupe. Affichant un diamètre supérieur à celui du cylindre, il faut les comprimer pour les y introduire, ainsi une fois en place, sous l'effet «ressort», leur contact avec les parois du cylindre est parfait.

Des fonctions complémentaires

L'aspect des différents segments se distingue selon leur fonction : étanchéité ou raclage de l'excédent d'huile le long du cylindre lors de la descente du piston. En principe, dans un moteur quatre-temps, on trouve deux segments d'étanchéité et un seul segment racleur. Dans un moteur deux-temps, seulement deux segments sont utilisés, uniquement pour l'étanchéité. Particularité : sur des moteurs très évolués comme ceux utilisés en compétition, on réduit les frottements en diminuant le nombre de segments (un de chaque type pour un moteur quatre-temps, un seul et unique segment pour un moteur deux-temps).

Une bonne étanchéité suppose le meilleur contact possible entre les segments et le cylindre. Le segment supérieur, qui assume le premier cette fonction et se trouve directement au contact de l'explosion, porte le nom de "segment de feu". Il adopte généralement une forme rectangulaire ou en "L", cette dernière se rencontrant surtout sur les moteurs deux-temps. On peut ainsi placer la gorge du segment plus bas sous la calotte du piston mais par contre un segment en "L" présente une plus grande surface de frottement, génératrice de perte de puissance.

Les segments racleurs se caractérisent, eux, par leur profil en forme de raclette (Lapalisse n'aurait pas mieux dit). La plupart du temps, on leur donne un profil en "U" horizontal, dont les extrémités s'appliquent sur les parois du cylindre. On ajoute souvent un ressort dit expandeur entre la base du racleur et la gorge du piston pour optimiser ce contact. Les racleurs présentent des orifices sur leur périphérie et la gorge du piston qui leur correspond est également percée par endroits pour que l'huile qu'ils raclent puisse s'évacuer vers le bas moteur.

Au démarrage, les pièces sont froides et plus petites qu'à la température normale de fonctionnement du moteur, lorsque les dilatations sont stabilisées. C'est pourquoi les segments sont élastiques, de façon à toujours assurer leur fonction, quel que soit le jeu entre piston et cylindre, à savoir, important à froid, réduit à chaud.

Normalement, les segments sont fabriqués dans un alliage de fonte, additionné de silicium, manganèse et phosphore, plus rarement d'autres matériaux.

Dans certains cas, la périphérie du segment en contact avec le cylindre, donc soumise à des impératifs de dureté, voit sa résistance à l'usure considérablement améliorée par un traitement de surface au molybdène ou au chrome. ■

Pour chaque segment un emploi bien précis

- Le segment de feu
- Le segment d'étanchéité
- Le segment racleur



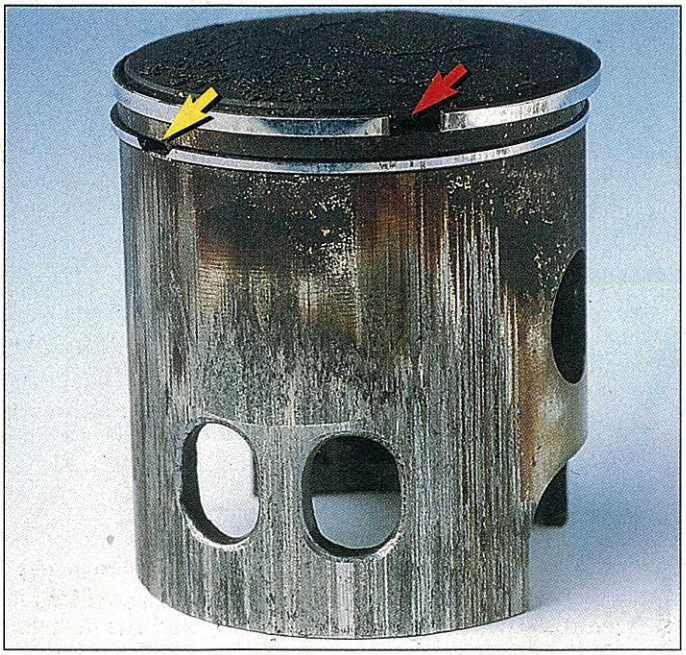
- **Le segment de feu**, placé le plus près de la calotte du piston, supporte la plus forte température. Sur un moteur de course, lui seul suffit parfois à assurer l'étanchéité de la chambre de combustion.Sur ce piston de Ducati 900, on lui à donné une forme en L.

- **Le segment d'étanchéité** est adjoint au segment de feu pour assurer une bonne tenue de l'étanchéité dans le temps, malgré l'usure inhérente aux frottements.

- **Le segment racleur** racle , d'où son nom, l'huile déposée en excès sur les parois du cylindre. La plupart du temps on lui adjoint un ressort expandeur. Entre les deux lèvres qui sont en contact avec le cylindre, il comporte une multitude de trous. Ceux-ci communiquent avec d'autres, percés dans le fond de la gorge du piston, par lesquels l'huile peut s'évacuer vers l'intérieur pour retourner dans le carter moteur.

En résumé

- **Les segments** doivent assurer une parfaite étanchéité entre le piston et le cylindre. Sur les quatre-temps, l'un d'eux, le racleur, sert à nettoyer les parois du cylindre de l'excédent d'huile qui s'y dépose, en l'évacuant vers le bas moteur
- **Le nombre des segments** n'est pas identique sur tous les types de moteur. Réduire leur nombre diminue les frottements mais aussi la bonne étanchéité de la chambre de combustion dans le temps.
- **Les quatre-temps** possèdent généralement deux segments d'étanchéité, dont le segment de feu (le plus près de la calotte) et un segment racleur. Sur les moteurs de course, on supprime parfois un des deux segments d'étancheité.
- **Les deux-temps** Un deux-temps ne possède pas de segment racleur, mais deux segments d'étanchéité. Sur les moteurs de course, on utilise parfois un seul segment.



Sur les moteurs deux-temps, on utilise seulement deux segments d'étanchéité et pas de racleur, les moteurs de course n'en possèdant souvent qu'un seul. On place un petit pion, l'ergot, dans chaque gorge du piston pour positionner la coupe du segment à un endroit précis. En effet, il ne faut pas qu'elle puisse se trouver à l'emplacement d'une lumière, sans quoi le segment risquerait de s'y briser. Le piston utilisé comme exemple a bien vécu et présente les traces d'un joli serrage.

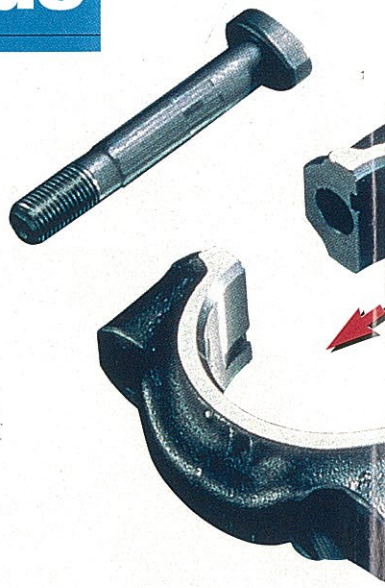
800 RACING 2T

L'huile championne du monde en GP vitesse et moto-cross ! Une formulation 100 % synthèse ester à viscosité élevée.



MOTUL

La bielle, un vrai bras de fer



Convertir le va et vient du piston en un mouvement rotatif du vilebrequin, tel est le rôle de la bielle. Pour accomplir sans mollir ce travail, cette pièce doit répondre à un cahier des charges très contraignant.

Par Pepe Burgaleta (Solo Moto) ; traduction et adaptation Jérôme Eline.

Le travail de la bielle peut se comparer à celui du bras qui fait tourner une manivelle. Comme il transforme le mouvement rectiligne de la descente et de la remontée du piston en rotation du vilebrequin, on imagine facilement que ses deux extrémités suivent des trajectoires complètement différentes.

Paradoxalement, une bielle se décrit la tête en bas. C'est-à-dire que l'extrémité qui est solidaire du piston (la plus petite, située généralement en haut) se nomme le pied, et celle qui est solidaire du vilebrequin (la plus grosse, située généralement en bas) se nomme la tête.

De son petit pied à sa grosse tête, la bielle subit des contraintes différentes et contradictoires. Le pied encaisse l'explosion qui pousse le piston avec l'axe qui le traverse, mais subit aussi l'inertie de son propre mouvement. En arrivant au PMB, la bielle aura tendance à continuer à descendre dans la direction qui lui a été imprimée par le piston, mais elle sera arretée dans son élan pour ensuite repartir vers le haut.

Le même phénomène d'inertie se produit encore pour la rotation de la tête de bielle. La force centrifuge tend à éjecter la bielle vers l'extérieur, mais elle est contrainte de décrire une trajectoire circulaire du fait de l'ancrage de sa tête sur le maneton du vilebrequin.

Le dessin de la bielle doit intégrer tous ces paramètres, avec un poids aussi réduit que possible, pour réduire les forces d'inertie qui augmentent avec le poids.

A noter, les métaux supportent mieux les efforts de compression que de traction. Ça tombe bien puisque les efforts de compression, provoqués par l'explosion, sont plus importants. Les efforts de traction ne sont causés que par l'inertie des pièces, mais il ne sont pas négligeables pour autant.

Ajoutons, pour finir le tour des contraintes, les frottements contre les axes, aux deux extrémités de la bielle.

2-temps et 4-temps n'ont pas les mêmes bielles

Sur un 2-temps, les sollicitations ne sont pas toutes identiques à celles d'un 4-temps et pour y répondre, la forme de la bielle de ces deux types de moteur sera différente .

Comme il y a une explosion par tour de vilebrequin dans un 2-temps, les efforts de compression y sont deux fois plus fréquents que sur un 4-temps. D'autre part, chaque fois que le piston arrive au PMH, donc au moment de l'inversion de son sens de déplacement, il comprime le mélange, ce qui a pour effet de le freiner en limitant d'autant les efforts de traction sur la bielle. Les bielles de 2-temps peuvent donc être dessinées comme si elles ne subissaient que des efforts de compression, et être plus légères que les bielles de 4-temps.

Au passage du PMH sur un 4-temps, le frein offert par la compression du mélange n'intervient qu'un tour sur deux. A l'autre tour, celui où les gaz brûlés s'évacuent, la résistance est bien faible pour ralentir efficacement le piston. Voilà pourquoi les bielles de 4-temps adoptent des dimensions plus conséquentes.

Les deux types de bielles se différencient aussi par les systèmes antifriction de leurs extrémités. Le 4-temps a le choix entre des coussinets ou des roulements, alors que le 2-temps est obligatoirement astreint aux roulements. Les roulements réclament une surface d'appui parfaitement cylindrique, avec des ajustements parfaits qui entraînent une fabrication des bielles d'un seul tenant. Les coussinets autorisent une tête de bielle en deux parties démontables, qui permet la dépose de la bielle, sans désassemblage du vilebrequin.

Fabrication

Plus une bielle est longue, plus elle est lourde, avec les conséquences déjà évoquées sur son inertie et les contraintes qu'elle s'impose. Elle présente en revanche l'avantage d'être moins inclinée par rapport au piston lorsqu'il est au milieu de sa course, et de moins plaquer sa jupe contre les parois du cylindre. Autant d'effets bénéfiques sur la facilité de glissement du piston dans le cylindre, donc moins de perte de puissance. Il en va à l'inverse avec une bielle courte, donc plus légère, qui permet de réduire la distance entre vilebrequin et culasse mais qui impose plus de contraintes sur le piston au contact du cylindre et qui s'use plus vite. Quelques astuces de conception permettent toutefois de réduire ces effets pervers.

Une pièce bien étudiée

- La tête de bielle
- Le pied de bielle

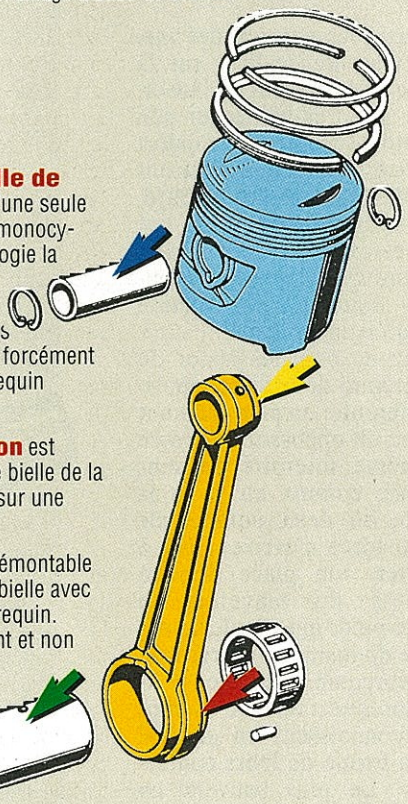


Cette bielle de 4-temps possède toutes les caractéristiques de celles que l'on trouve sur nos quatre cylindres actuels. C'est une bielle démontable de Honda 600 CBR, dite "à chapeau" et de section en H, qui sera montée sur un vilebrequin usiné d'une seule pièce.



● **La tête** destinée à recevoir deux demi-coquilles en alliage métallique anti-friction, les coussinets, comporte deux éléments assemblés par de gros boulons.

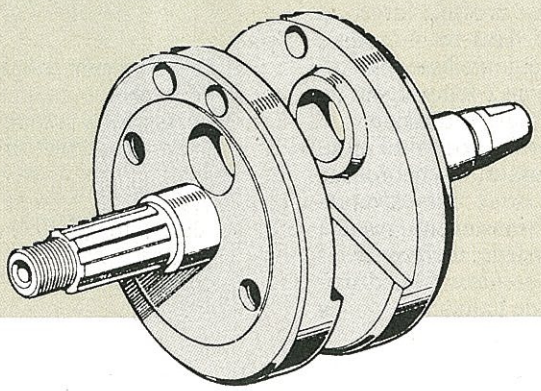
● **Le pied** supporte l'axe de piston. Il est percé pour assurer sa lubrification et son alésage reçoit un traitement anti-friction ou bien une bague en alliage à base de bronze.



Cette autre bielle de 4-temps usinée d'une seule pièce.est celle d'un monocylindre et sa morphologie la rapproche d'une bielle de 2-temps. Comme elle n'est pas démontable, elle est forcément associée à un vilebrequin assemblé.

● **L'axe de piston** est monté sur le pied de bielle de la même manière que sur une bielle assemblée.

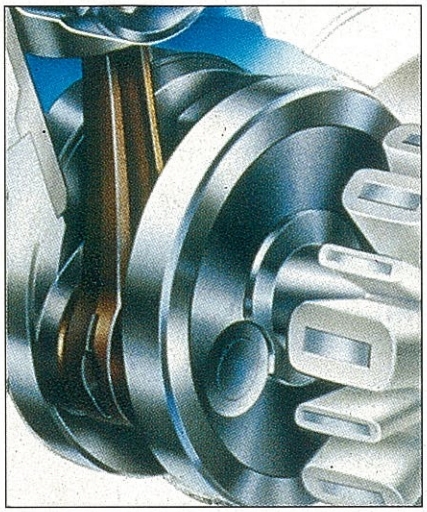
● **Le maneton** démontable solidarise la tête de bielle avec les masses du vilebrequin. Il reçoit un roulement et non pas un coussinet



La bielle doit supporter les efforts de compression sans plier. Pour combattre ce risque de déformation qu'on nomme flambage, on donne à la bielle une section en H, fine au milieu et renflée à l'extérieur.

La fabrication des bielles utilise le plus souvent le forgeage de l'acier, allié au nickel et au chrome. On trouve aussi des matériaux nobles et légers comme le titane, mais le prix s'en ressent... lourdement. Divers essais avec des alliages d'aluminium n'ont pas donné grand-chose mais on parle d'une utilisation possible de la fibre de carbone.

Les alésages des extrémités sont ensuite usinés avec précision, l'aspect rugueux de l'extérieur pouvant être éliminé par polissage, mais en tenant compte d'un éventuel traitement thermique (cémentation ou nitruration), destiné à durcir la couche extérieure du métal. ■



Sur les moteurs 2-temps, la bielle comporte un roulement à chacune de ses extrémités et le pied est généralement équipé d'une cage à aiguilles. Les problèmes de lubrification spécifiques au bas moteur des 2-temps imposent la plupart du temps de réaliser une saignée dans la tête de la bielle pour que son roulement soit correctement graissé. Cette bielle de Yamaha 350 RDLC utilise une section en H, mais ce n'est pas forcément la règle sur tous les moteurs 2-temps.

En résumé

● **La bielle** transforme le mouvement linéaire du piston en rotation du vilebrequin.

● **Les extrémités de la bielle** se nomment paradoxalement "tête" côté vilebrequin et "pied" côté piston.

● **Selon le type du moteur** 2-temps ou 4-temps, la bielle ne subit pas les mêmes contraintes et comme leurs systèmes de graissage sont différents, la forme de leurs bielles respectives change en conséquence.

● **La longueur de la bielle** a une influence non seulement sur la hauteur du moteur mais aussi sur les contraintes qu'elle subit et qu'elle engendre sur lesautres pièces dont elle est solidaire. En général, elle possède une section en H.

033MOT003 FC

MOTOLUBE 2T

Le lubrifiant Technosynthèse des moteurs 2T à graissage séparé ou par mélange. Réduit les fumées et l'encrassement du moteur et du pot.



MOTUL

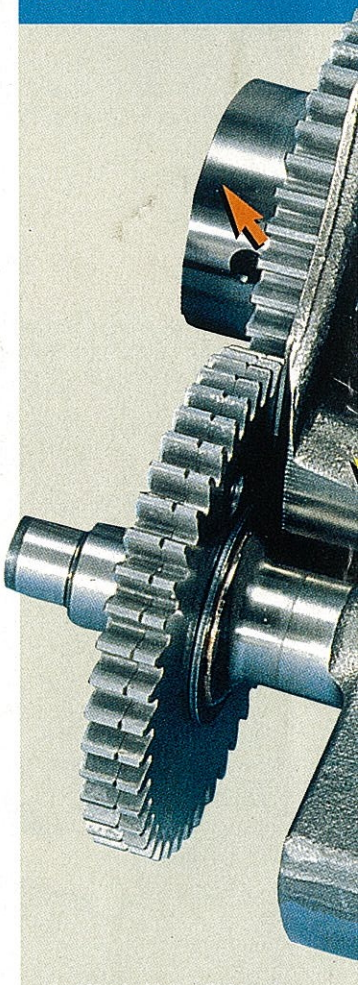
Le vilebrequin, manivelle de choc

Quand la tra n

Sous l'action de la bielle, le vilebrequin transforme le mouvement alternatif du piston en rotation utilisable par les pièces de transmission. A ce titre, il agit comme une manivelle très sophistiquée.

Par Pepe Burgaleta (Solo Moto) ; traduction et adaptation Jérôme Eline.

- le maneton
- les masses
- les tourillons



La tête de bielle, fixée au vilebrequin par **le maneton,** lui transmet le mouvement du piston. Le maneton est ancré sur **les masses** en position excentrée par rapport à l'axe de rotation du vilebrequin. L'ensemble masses/maneton qu'on peut assimiler à une manivelle

A partir du vilebrequin, toutes les pièces qui conduisent à l'entraînement de la roue arrière sont animées par un mouvement rotatif. Mais au préalable, le vilebrequin doit supporter les allers et retours incessants du piston et de la bielle, en plus de sa propre inertie, le tout lancé à plusieurs milliers de tr/mn.

Trois parties distinctes

Le vilebrequin se compose de trois parties principales. Les points d'appui autour desquels il tourne prennent le nom de tourillons, la manivelle (qui génère le mouvement de rotation) prend la forme d'une masse et l'axe d'articulation de la bielle se nomme maneton.

En raison de la vitesse de rotation élevée du vilebrequin, ses points d'appui doivent s'articuler sur des surfaces au coefficient de frottement le plus faible possible. On retrouve de fait au niveau des tourillons les mêmes différences que sur les têtes de bielle. A savoir, sur un 4-temps, la possibilité d'utiliser des coussinets, grâce à un système de graissage capable de les alimenter en huile, tandis que les 2-temps, qui butent sur ce problème de graissage, s'appuient, eux, sur des roulements.

De plus, l'admission par le bas carter des 2-temps a ses exigences en termes de forme des masses du vilebrequin, ce qui les différencient fortement de celles des 4-temps.

A noter aussi, les différences de construction : d'une seule pièce dans le cas d'un 4-temps monté sur coussinets, assemblage de sous-éléments pour un 2-temps (ou certains 4-temps montés sur roulements). A noter, les pièces d'un bloc sont plus rigides, sans risque de se désaligner, mais exigent une bielle à tête démontable, qui puisse prendre place sur son maneton. Démonté, un vilebrequin se décompose en masses terminées par leur tourillon et percées d'un trou pour le maneton et en maneton lui-même, à moins qu'il ne soit taillé en saillie sur l'une des masses. La bielle est d'un seul tenant et il faut désassembler le tout (à la presse, aucune chance au marteau) pour la démonter. Lors du montage, les tourillons doivent être parfaitement alignés, sous peine de générer d'épouvantables vibrations résultant d'un vilebrequin désaxé.

2 et 4-temps : des conceptions diverses

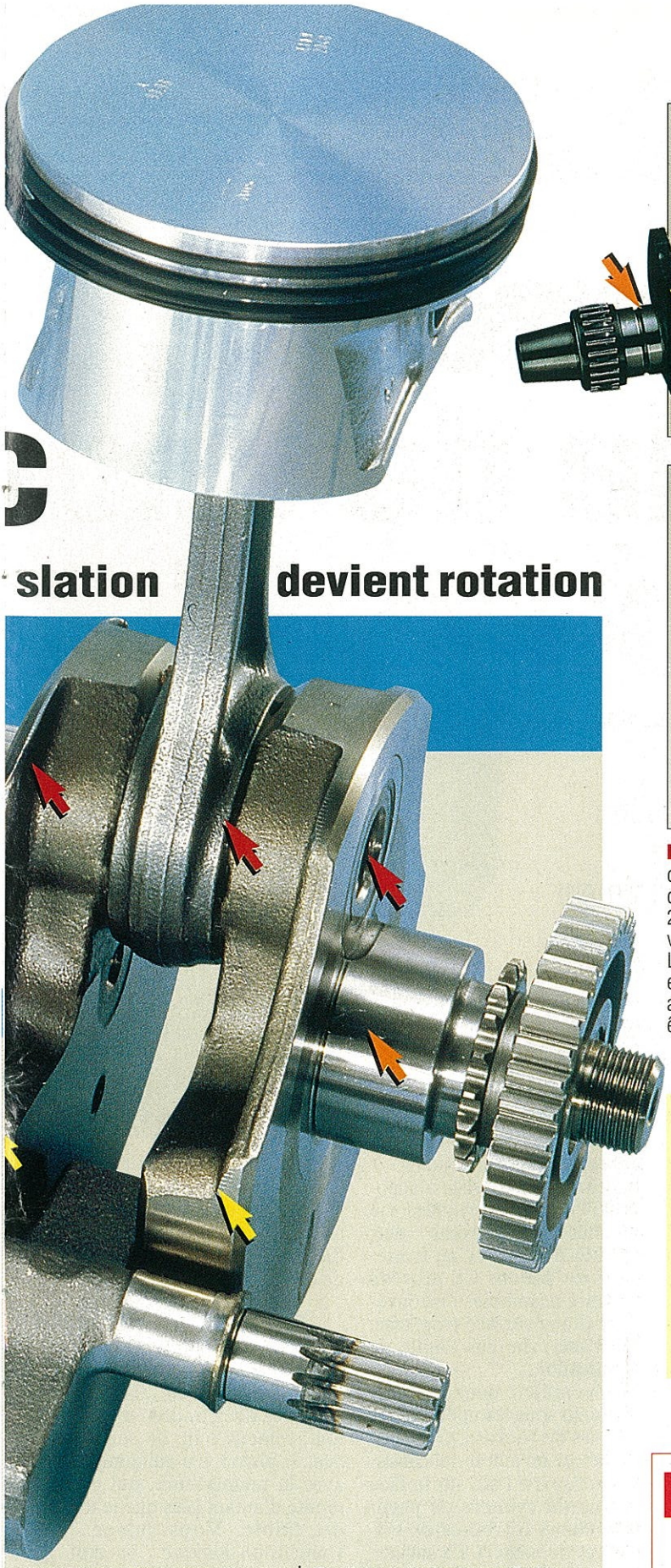
Qui dit rotation dit force centrifuge. Accrochez une boule au bout d'une ficelle et faites tourner, plus vous tournez vite, plus vous devez tirer sur la ficelle pour ne pas la lâcher. Idem pour la bielle sur son maneton, excentré par rapport à l'axe du vilebrequin. S'ensuit un phénomène de balourd, tout le vilebrequin étant tiré par cette force centrifuge. Balourd qui génère des vibrations, donc une destruction accélérée du moteur.

Si on ne peut se passer du maneton ni de la force parasite inhérente, on peut éliminer celle-ci en opposant une force de même intensité en sens opposé, comme au tir à la corde, où deux équipes de même force n'arrivent pas à s'attirer. On place donc à l'opposé du maneton un contre-poids qui annule la tendance du maneton à tirer tout le vilebrequin d'un côté.

Vilebrequins de 2 et 4-temps se reconnaissent en général par la forme de leurs contrepoids. Le plus souvent en forme de crosse, large et excentrée dans un 4-temps ; presque toujours lisse et circulaire dans un 2-temps, pour ne pas perturber l'admission.

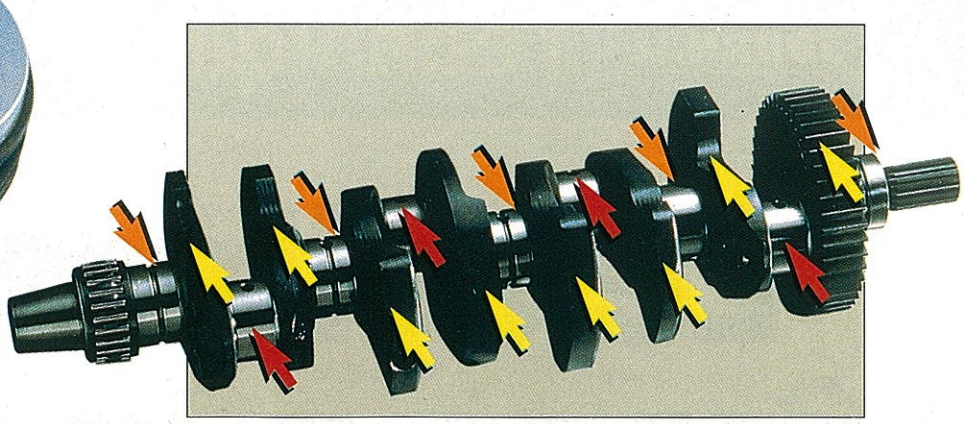
Grand ordonnateur du mouvement rotatif, le vilebrequin entraîne donc les diverses pièces de transmission jusqu'à la roue arrière, mais aussi les éléments annexes de la distribution et de l'allumage. ■

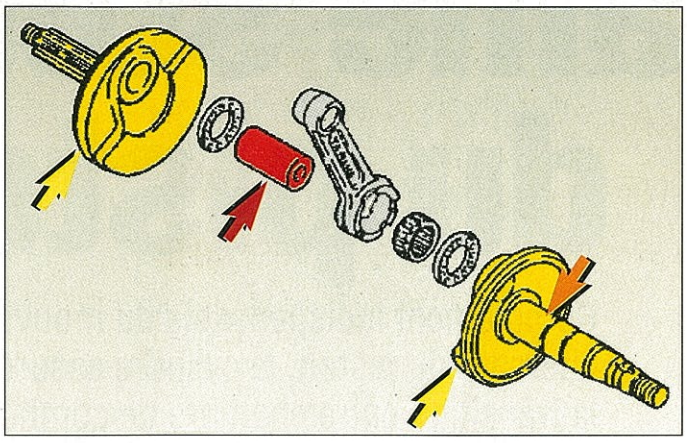
slation devient rotation



transforme un mouvement rectiligne en rotation. Le vilebrequin repose dans les carters sur **les tourillons**
Divers pignons transmettent les mouvements de rotation à la boîte de vitesses et aux accessoires moteur tels que distribution, allumage, alternateur, etc...

Ce vilebrequin de monocylindre 4-temps (BMW F 650) est du type assemblé, ses éléments étant emmanchés à la presse avec un alignement rigoureux. Il adopte des masses de forme semi-circulaire et entraîne par pignons un arbre auxiliaire d'équilibrage (au premier plan).





Deux autres types de vilebrequins En haut, un vilebrequin de 4 cylindres en ligne (Honda 600 CBR) d'une seule pièce avec un pignon directement usiné dans l'une de ses masses. En bas, un vilebrequin de 2-temps, reconnaissable à ses masses circulaires, bien que certains vilebrequins de 4-temps possèdent eux aussi des masses du même type. Les vilebrequins d'une seule pièce sont plus rigides mais leur forme est plus complexe. Les autres par contre peuvent n'être qu'un assemblage de pièces de forme simple mais leur alignement doit être particulièrement soigné pour obtenir une rotation parfaite.

En résumé

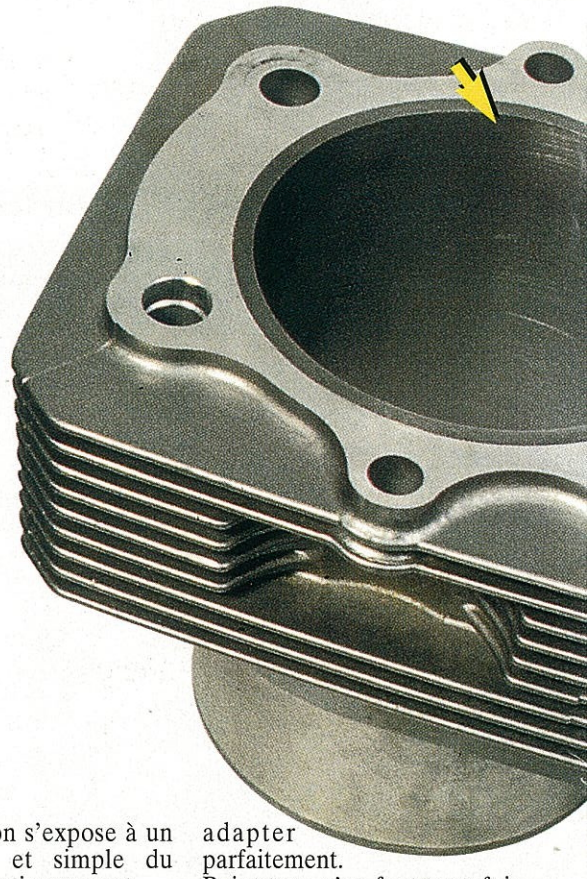
- **Le vilebrequin,** sous l'action de la bielle, transforme le mouvement rectiligne du piston en rotation.Dans un moteur à piston alternatif, il supporte la majorité des efforts.
- **Trois parties principales** composent le vilebrequin : les tourillons, les masses et leur contre-poids, le ou les manetons.
- **Par sa position excentrée,** le maneton, soumis à la force centrifuge, provoque un balourd générateur de vibrations destructrices qu'on annule par un contre-poids.

LA GAMME LA PLUS COMPLÈTE DU MARCHÉ MOTO



MOTUL

Le cylindre, âme sœur du piston



Complément indispensable du mouvement alternatif du piston, le cylindre assure la transition entre chambre de combustion et bas moteur. A ce titre, il se présente comme un tunnel aux parois particulièrement sophistiquées.

Par Pepe Burgaleta (Solo Moto) ; traduction et adaptation Jérôme Eline.

Le cylindre remplit plusieurs fonctions : guidage du piston, étanchéité de la chambre de combustion, refroidissement de la partie supérieure du moteur. Ces fonctions lui imposent des contraintes contradictoires qui entraînent une fabrication particulièrement étudiée. Soumis en permanence au frottement du piston, le cylindre doit offrir une surface de contact suffisamment dure pour prévenir l'usure. Ajoutons que piston et cylindre étant étroitement ajustés pour éviter les fuites du mélange gazeux, ceci ajoute un dégagement de chaleur qui accélère l'usure.

Une finition irréprochable

Le souci de gain de poids justifie la construction des cylindres en alliage d'aluminium, dont l'autre particularité est de bien conduire la chaleur. Revers de la médaille, l'alu est tendre et incapable d'encaisser le frottement des segments, beaucoup plus durs. En quelques allers et retours, la surface de contact laissée en l'état serait détruite. Pour contourner ce problème, on adopte au choix les solutions de chemisage, chromage ou galvanisation.

La première, la plus courante, consiste à intercaler entre l'alu du cylindre et le piston une "chemise" en matériau dur (fonte) qui résiste bien à l'usure et facilite la lubrification. Mais la fonte conduit mal la chaleur et se dilate nettement moins que l'alu. Ce qui fait qu'en chauffant, le diamètre des parties en alu augmente beaucoup plus vite que celui de la chemise. On monte donc la chemise à froid très serrée dans le cylindre, pour qu'elle reste en place à chaud. Côté face interne, la faible augmentation du diamètre de la chemise diminue son jeu avec le piston. Faute d'un jeu important à froid, on s'expose à un blocage pur et simple du moteur en fonctionnement.

Le chromage consiste à déposer à l'intérieur du cylindre une pellicule de chrome dur, capable de résister au frottement du piston. Ce procédé présente néanmoins l'inconvénient d'une surface trop lisse, qui n'accroche pas l'huile de lubrification.

On lui préfère donc le procédé connu sous les appellations diverses de Nickasil, Ghilnisil, Nickabore ou autres qui consiste à recouvrir l'alu sur la face interne du cylindre de particules dures (carbures de silicium et de nickel). La surface en contact avec le piston, peu épaisse, se dilate alors presque comme l'alu, diminuant les différences de jeu à chaud et à froid.

Un ajustement parfait entre piston et cylindre est primordial. Pour ce faire, les segments doivent user légèrement l'intérieur du cylindre jusqu'à s'y adapter parfaitement.

Point trop n'en faut toutefois, sous peine que l'huile ne s'y accroche pas. Pour effectuer ce travail aux finalités contradictoires, le piston a besoin de temps.

De l'importance du rodage

Au fil de l'usure par rodage, l'augmentation du diamètre intérieur du cylindre entraîne logiquement celle de son jeu avec le piston, jeu qui diminue avec la température, qui elle monte d'autant plus que le jeu est faible. Vous suivez ? Conclusion logique : on doit tirer progressivement sur un moteur neuf, qui n'a pas encore trouvé ses jeux normaux de fonctionnement.

Le problème est exacerbé dans un cylindre de 2-temps, où les trous des lumières diminuent la rigidité et constituent autant de points qui risquent d'accrocher le piston. Rodage

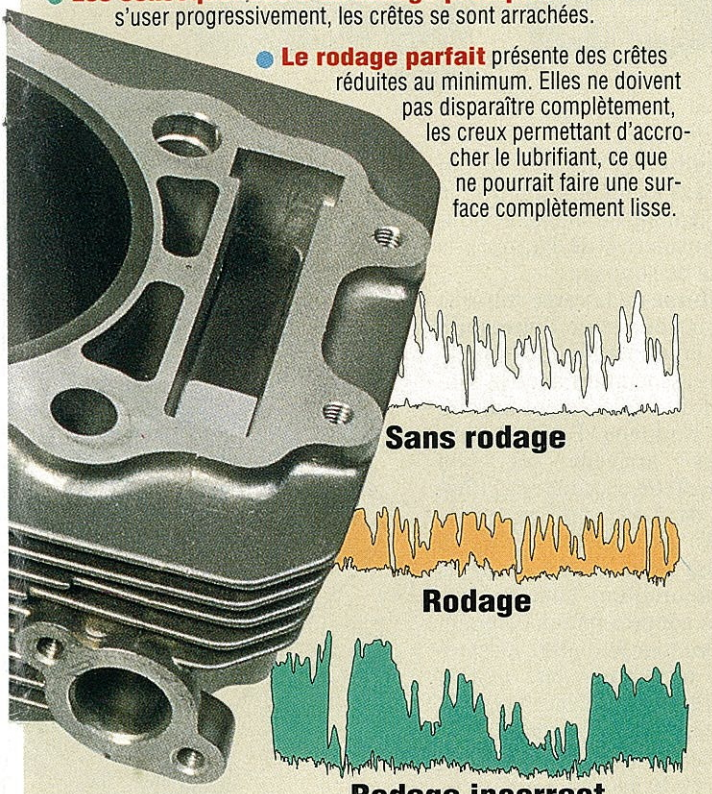
La nécessité d'un bon rodage

Chemise de cylindre neuve

Cylindre et pistons neufs présentent un état de surface marqué des traces de leur usinage. Ils demandent donc un rodage conjoint pour s'ajuster parfaitement.

Ces dessins montrent de façon très exagérée différents états de la surface du piston.

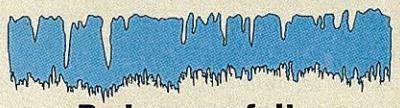
- **Piston neuf**
- **Le même en cours de rodage** les crêtes dans le métal commencent à disparaître, la surface s'aplanit.
- **Les conséquences d'un rodage précipité** au lieu de s'user progressivement, les crêtes se sont arrachées.
- **Le rodage parfait** présente des crêtes réduites au minimum. Elles ne doivent pas disparaître complètement, les creux permettant d'accrocher le lubrifiant, ce que ne pourrait faire une surface complètement lisse.



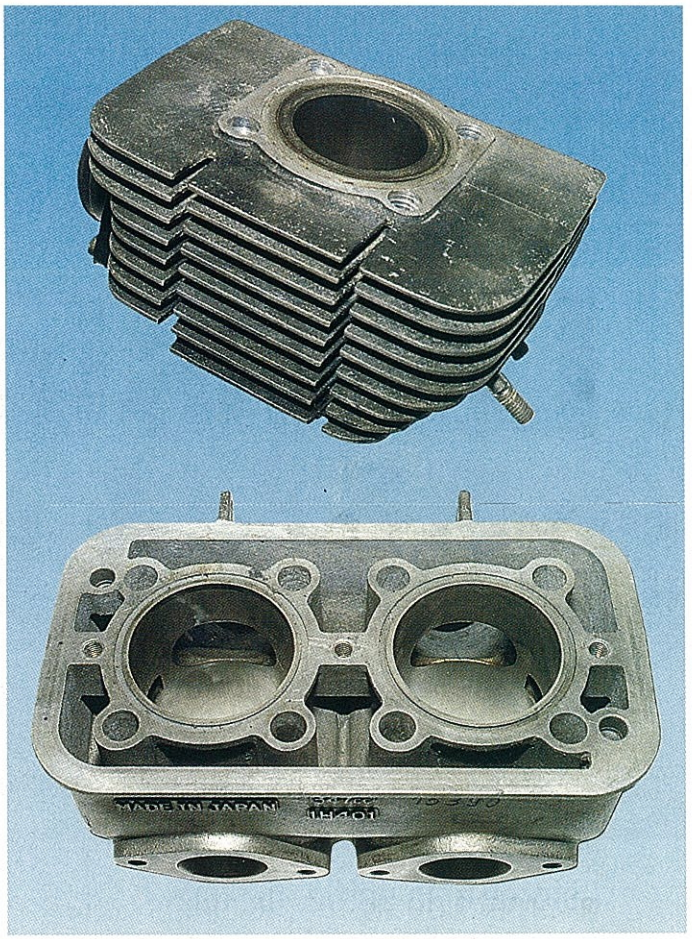
Sans rodage

Rodage

Rodage incorrect



Rodage parfait



Les cylindres se répartissent en plusieurs genres : refroidis par air et à chemise rapportée d'un métal différent, en haut ; ou réunis en un bloc, refroidi par eau et traité en surface donc sans chemise rapportée, en bas.

En résumé

- **Le cylindre** remplit plusieurs fonctions : guidage du piston, étanchéité avec la chambre de combustion, refroidissement de la partie supérieure du moteur.
- **Il est le plus souvent construit** en alliage d'aluminium. On rapporte une surface dure dans la zône qui reçoit le piston, par divers procédés : chemisage en fonte, chromage dur ou galvanisation par des opérations type Nickasil.
- **L'ajustement parfait** entre piston et cylindre aux diverses températures de fonctionnement suppose l'usure progressive des irrégularités présentes dans un cylindre neuf.
- **L'usure du cylindre** compromet l'étanchéité des segments et donc la puissance délivrée par le moteur. Pour retrouver cette étanchéité, on peut soit changer le cylindre, soit réaléser et monter des pistons plus gros, soit procéder à un nouveau chromage ou une nouvelle galvanisation.

et montée progressive en température prennent plus d'importance, en vue d'obtenir un jeu, une fois toutes les parois dilatées, qui autorise le libre mouvement du piston à tous les régimes.

L'usure est maximale non pas au milieu du cylindre, où le piston va le plus vite, mais en haut, en raison des températures élevées, des pressions qui plaquent le piston lors de la compression et de l'explosion et de la corrosion du métal par les substances contenues dans les gaz.

Quand le cylindre s'use, son jeu avec le piston (qui s'use encore plus vite) augmente. Pistons et segments peuvent être changés facilement mais le cylindre coûte beaucoup plus cher. On préfère donc une réparation, possible seulement sur un cylindre chemisé. On réusine l'intérieur un peu plus grand (0,25 à 0,5 mm) et bien cylindrique, avant remontage de pistons plus gros, dits en "cote réparation", pour retrouver un jeu normal, toute l'étanchéité voulue et... une cylindrée légèrement augmentée. ■

033MOT001
FC
600 2T
100 % synthèse, la référence pour les moteurs 2T hautes performances ! Diminue les fumées et les dépôts grâce à une base ester additivée.
MOTUL



La distribution, robinet des gaz

Sous le terme distribution sont regroupés, dans le cas d'un moteur 4-temps, les soupapes et le mécanisme qui les commande, pour gérer l'entrée et la sortie des gaz dans le moteur. Découverte d'un système d'horlogerie...

Par Pepe Burgaleta (Solo Moto) ; traduction et adaptation Jérôme Eline.

Le comportement d'un moteur dépend pour une grande part de ses périodes d'admission et d'échappement, qui conditionnent les quantités de gaz transitant par le cylindre, donc le rendement. La distribution y joue un rôle essentiel. Pour ce faire, les moteurs 4-temps utilisent des soupapes accompagnées d'une chaîne de pièces qui servent à les ouvrir et les fermer.

Les soupapes

Elles servent à réguler les périodes de charge et décharge du cylindre et prennent le plus souvent la forme d'un champignon à tête aplatie, prolongé d'une tige. On distingue deux parties principales : **la tête** (plate, en forme de disque) qui a en charge la fermeture du conduit et **la tige** (cylindrique), servant à guider le mouvement de la tête. En appui sur son **siège**, la soupape ferme hermétiquement le conduit d'admission ou d'échappement. En se déplaçant, elle permet aux gaz de circuler par l'espace ouvert entre sa tête et le siège.

Plusieurs pièces annexes l'accompagnent. Le **siège**, sur lequel elle repose en position fermée, se situe au débouché du conduit dans la chambre de combustion. Le **guide**, dans lequel coulisse la tige, est logé, lui, en haut de la soupape. Autour de ces éléments statiques se greffent des parties mobiles commandant ouverture et fermeture des soupapes. Dans la majorité des cas, le mouvement est commandé par une **came**, tandis qu'un **ressort** se charge de maintenir la soupape soit au contact de la came pendant les mouvements, soit en appui sur le siège en phase fermée. La came est une excroissance sur un arbre cylindrique. La rotation de l'arbre met la came au contact de la tige de la soupape, qui se déplace alors linéairement, comprimant au passage son ressort. La came peut agir directement sur la **queue** de la soupape, ou par un levier intermédiaire, le **culbuteur**, logé entre came et soupape. Le culbuteur tourne autour d'un axe et reçoit d'un côté le mouvement de la came, pour le transmettre de l'autre à la queue de soupape.

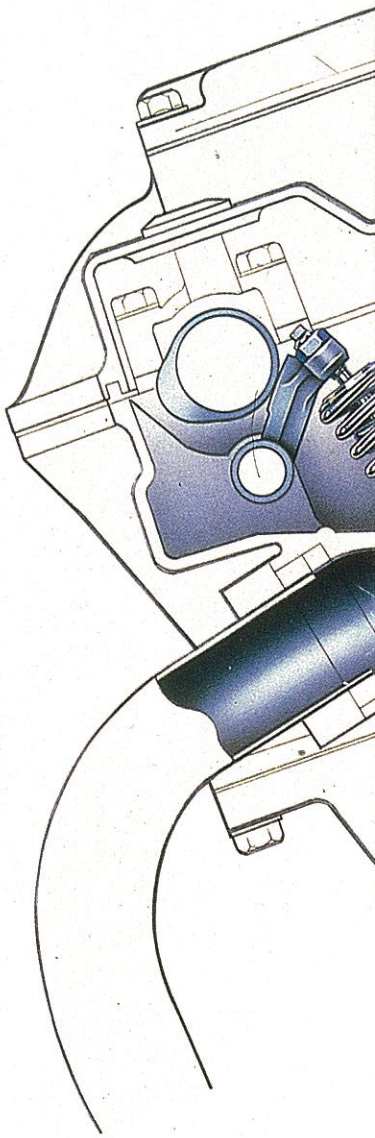
La forme de la came contrôle les paramètres de l'ouverture et de la fermeture de la soupape en association avec la longueur du déplacement linéaire de la soupape. Pour que ces ordres arrivent au bon moment, on coordonne la rotation de l'axe qui porte les cames (le célèbre **arbre à cames**) avec les mouvements du vilebrequin. Tous les systèmes adoptés ont en commun de faire tourner l'arbre à cames deux fois moins vite que le vilebrequin, pour la simple raison que chaque soupape ne s'ouvre qu'une fois au cours d'un cycle moteur, soit deux tours de vilebrequin.

Différentes architectures moteur

Les séquences d'ouverture des soupapes d'admission et d'échappement étant différentes, chacune dispose d'une came spécifique. Selon les conceptions, les deux types de cames prennent place sur un ou deux arbres. Dans ce dernier cas, on se trouve face à un moteur **"double arbre à cames"**. Les variantes se distinguent ensuite par la position de l'arbre à cames dans le moteur et par son attaque des soupapes : directement ou par l'intermédiaire de culbuteurs.

Certains systèmes répondent à des appellations universelles, symbolisées par des sigles anglais bien connus. Ainsi, le terme **OHV** correspond à l'anglais Over Head Valve et désigne des soupapes actionnées par des culbuteurs situés dans la culasse et eux-mêmes mis en mouvement par un arbre à cames disposé auprès du vilebrequin, dans la partie basse du moteur.

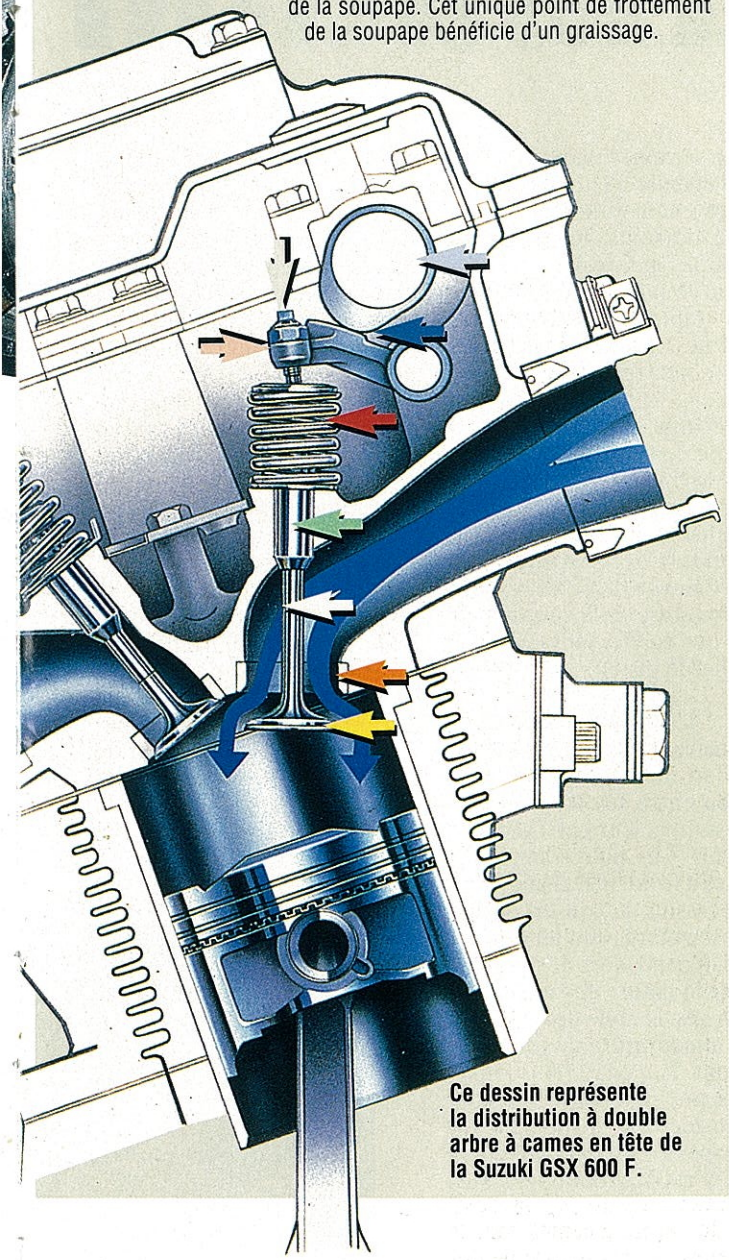
L'arbre à cames logé dans la culasse sera qualifié d'**arbre à cames en tête** ou **OHC** (Over Head Camshaft, en anglais). Le préfixe "D" mentionnant la



Les éléments de la distribution

● la tête de soupape ● la tige de soupape
● le siège de soupape ● le guide
● l'arbre à cames ● la came ● le basculeur
● le ressort ● la vis de réglage du jeu

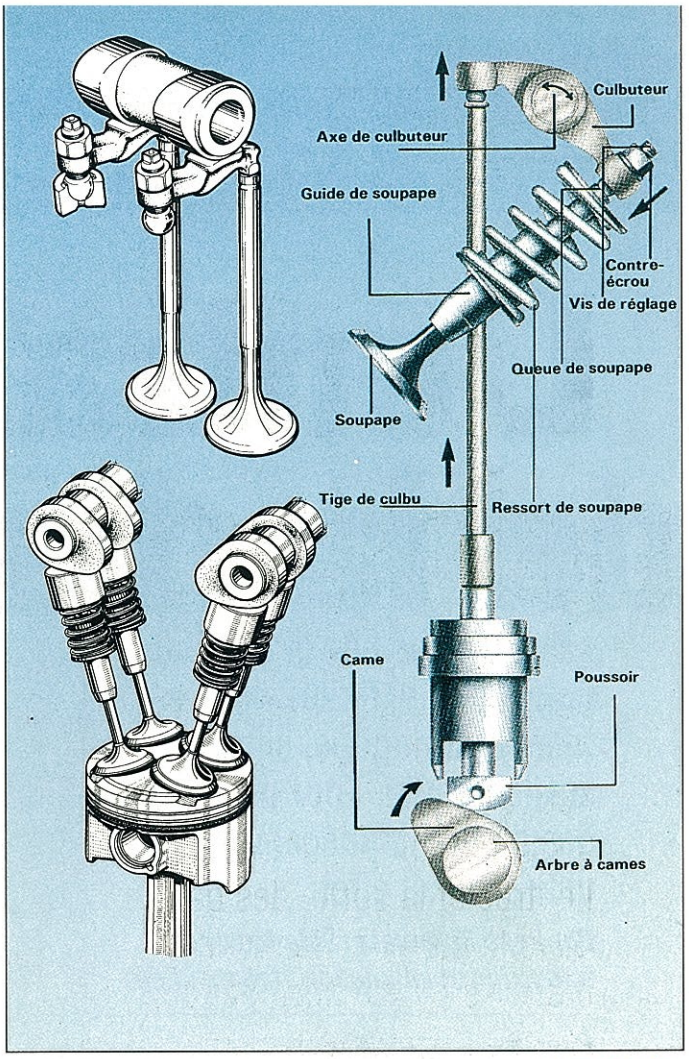
La rotation de **la came** enfonce la soupape dans **le guide**. Pour que **la tige** reste au contact de la came et que la soupape soit plaquée sur **le siège** en position fermée, on utilise **le ressort**. Pour assurer l'étanchéité de la soupape en position fermée, **la tête** doit s'ajuster parfaitement sur une pièce qui termine le conduit : **le siège**. La tige s'ajuste dans le guide qui impose un déplacement linéaire de la soupape. Cet unique point de frottement de la soupape bénéficie d'un graissage.



Ce dessin représente la distribution à double arbre à cames en tête de la Suzuki GSX 600 F.

présence de deux arbres à cames distincts (l'un pour l'admission, l'autre pour l'échappement), s'ajoute le cas échéant pour donner **DOHC**.

Dans des moteurs anciens, ou peu évolués comme ceux des tondeuses à gazon, les soupapes actionnées directement par les cames sont disposées le long du cylindre. On parle alors de **soupapes latérales**. Inconvénient : les têtes de soupape se trouvent dans une excroissance de la chambre de combustion et une partie de l'explosion s'y disperse, au lieu de pousser sur le piston, avec des conséquences sur le rendement. ■



Les trois principaux systèmes de commande des soupapes. **A gauche, les arbres à cames en tête.** En haut : l'utilisation d'un linguet permet d'amplifier le mouvement imprimé par la came. En bas : cames et queues de soupapes ne sont séparées que par des poussoirs. **A droite, le bon vieux système culbuté :** l'arbre à cames situé tout en bas pousse une tige, reliée à un culbuteur qui bascule autour de son axe pour enfoncer la soupape.

En résumé

- **Le moteur 4-temps** a besoin d'un système complexe pour ouvrir et fermer ses soupapes : la distribution.
- **Le mouvement des soupapes** est commandé par les cames, disposées sur un axe en rotation : l'arbre à cames.
- **L'emplacement de l'arbre à cames** dans le moteur et la manière dont le mouvement des cames est transmis aux soupapes sont qualifiés par différents sigles qui distinguent les conceptions des moteurs.

3100 4T

Le meilleur de la Technosynthèse !
Existe en 3 viscosités : SAE 10W 40, 20W 40 et 15W 50, avec additif spécial boîte de vitesses.



MOTUL

L'entraînement de la distribution

La commande de la distribution est un véritable mouvement d'horlogerie, entraîné par le vilebrequin. Tour d'horizon des différents mécanismes utilisés à cet effet.

Par Pepe Burgaleta (Solo Moto) ; traduction et adaptation Jérôme Eline.

C'est à partir du vilebrequin que l'on commande la rotation de l'arbre à cames. Au cours des deux tours du cycle d'un moteur 4-temps, chaque soupape ne s'ouvre et se ferme qu'une fois (voir chapitre 4), et l'arbre à cames n'effectue qu'un tour quand le vilebrequin en fait deux. Le mécanisme d'entraînement fait donc office de réducteur au rapport 1/2 en même temps qu'il synchronise les deux mouvements.

L'entraînement "souple"

Solution courante et la plus économique : la chaîne. Elle ne demande qu'un pignon entraîneur sur le vilebrequin, ou à proximité pourvu qu'il tourne à la même vitesse, et un pignon récepteur par arbre à cames. Le pignon récepteur comporte le double de dents, pour obtenir le fameux rapport 1/2.

Pour que la synchronisation soit parfaite, la chaîne doit toujours être tendue, même après usure normale. On emploie différents types de chaîne mais dans tous les cas des tendeurs costauds.

La courroie crantée appartient à la même famille que les chaînes et est entraînée de la même manière mais le matériau qui la compose est flexible. Principal avantage : le silence de fonctionnement alors que ses exigences en tension et guidage sont identiques à la chaîne.

L'entraînement "rigide"

Plus onéreux, les systèmes rigides ont une précision, une fiabilité et une durée de vie supérieures. On ne les change pas à titre préventif comme une chaîne ou une courroie.

On emploie des pignons de départ et d'arrivée respectant le sempiternel rapport de 1 à 2, puis on les réunit, par exemple, par une succession d'autres pignons, réunis en "cascade".

Autre solution, relier vilebrequin et arbre à cames par un axe rigide qui prend place le long du cylindre, perpendiculairement au vilebrequin et à l'arbre à cames, grâce à des pignons coniques.

Le couple came-soupape

Les hauts régimes exigent une inertie minimale de la commande de distribution et une synchronisation vilebrequin-arbre à cames parfaite. Exit donc culbuteurs, tiges et autres pièces encombrantes ! Autre cause de souci, le ressort de soupape perd les pédales quand le mouvement devient trop rapide. Dans les cas extrêmes, il peut ne pas rappeler la soupape à temps sur son siège et c'est alors le piston qui s'en charge...

Eviter ce genre de problème, c'est le but de la distribution dite "desmodromique". Celle-ci utilise deux cames et deux culbuteurs par soupape : l'un pour l'ouverture, l'autre pour la fermeture et la soupape ne peut que suivre, sans risque de toucher le piston.

L'enfer du jeu

Le mécanisme de distribution requiert de la précision, mais du jeu entre ses éléments est nécessaire à leur bon fonctionnement. Les pièces sont plus petites à froid qu'à chaud, d'où la nécessité de conserver une certaine marge. Le jeu idéal à froid dépend alors de trois facteurs : la nature des matériaux employés, la taille des pièces et leur température de fonctionnement. Les dilatations impliquant une réduction du jeu, si ce dernier est insuffisant, la soupape ne parvient plus à fermer. C'est pourquoi on laissera toujours un jeu entre la soupape fermée et sa came ou son culbuteur, ainsi que par rapport à son culbuteur de fermeture pour la soupape ouverte d'un système "desmo".

Faible mais très précise (quelques dixièmes de millimètre), la valeur de ce jeu est déterminée par le constructeur.

Sur une soupape actionnée directement par la came, on intercale sur ou sous le poussoir qui la coiffe une pièce calibrée nommée pastille. Plus la pastille est épaisse, moins il y a de jeu. Hélas, la rigoureuse précision du système oblige parfois à démonter les arbre à cames pour changer les pastilles.

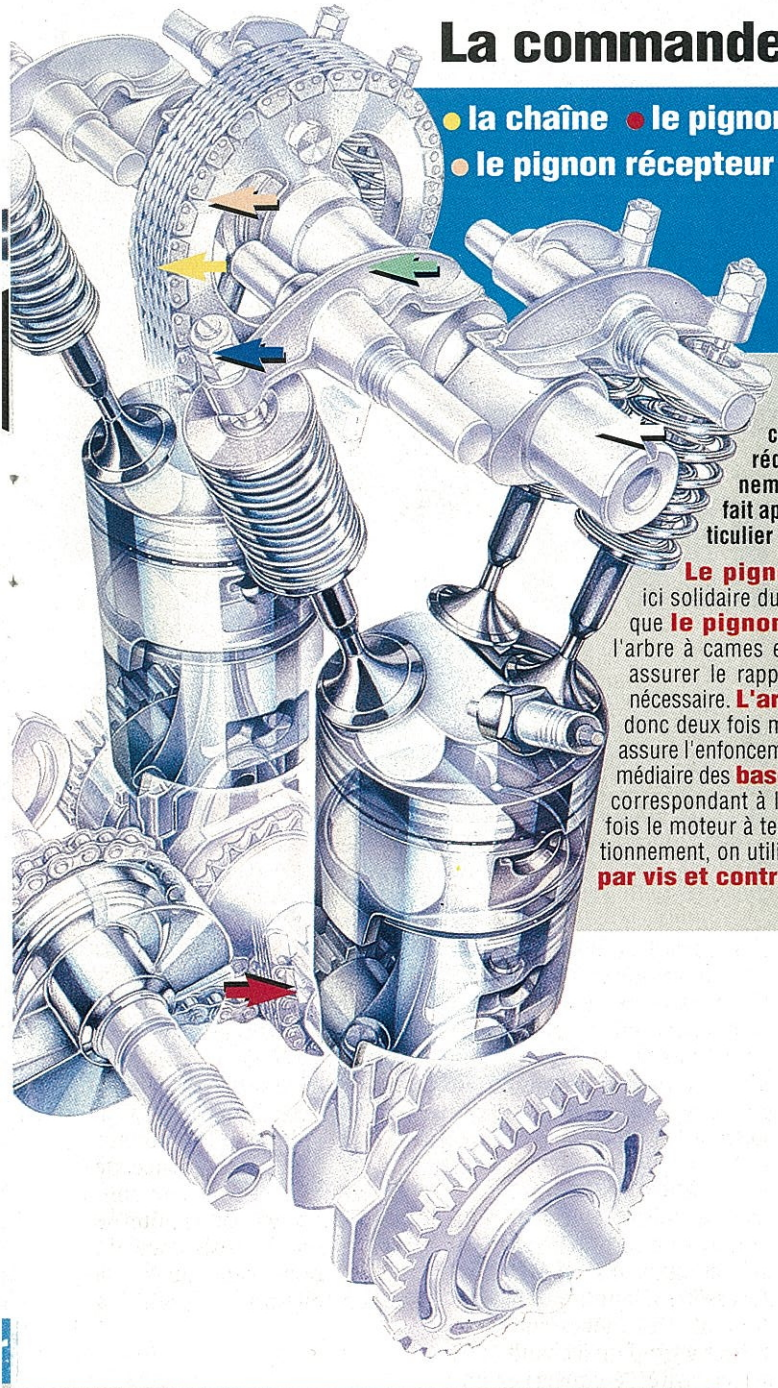
Moins précis mais plus pratiques, les culbuteurs. A une extrémité, le culbuteur comporte une vis bloquée par un contre-écrou. En serrant la vis, on rattrape le jeu, le contre-écrou devant en principe maintenir le tout en place jusqu'à la révision suivante.

Dernier système, peu répandu en moto : l'assistance hydraulique. Un vérin, alimenté par la pression d'huile du moteur, se charge en permanence de rattraper le jeu, dans une limite suffisante toutefois pour ne pas vaincre la résistance du ressort, donc sans ouvrir la soupape intempestivement. ■



Voici les deux principaux systèmes d'entraînement par liaison rigide. A gauche les deux cascades de

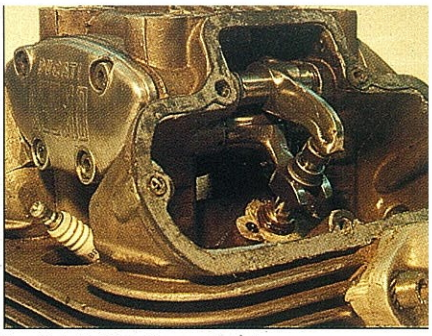
La commande par chaîne



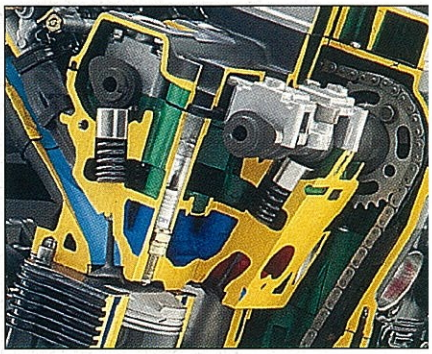
- la chaîne
- le pignon d'entraînement
- le pignon récepteur
- l'arbre à cames
- le basculeur
- le réglage du jeu par vis et contre-écrou

L'entraînement par chaîne est la technique la plus couramment utilisée. Pour réduire les bruits de fonctionnement, cette Honda CB 250 N fait appel à un type de chaîne particulier dit "chaîne silencieuse".

Le pignon d'entraînement est ici solidaire du vilebrequin et on remarque que **le pignon récepteur,** solidaire de l'arbre à cames et deux fois plus gros pour assurer le rapport de démultiplication 1/2 nécessaire. **L'arbre à cames,** en tournant donc deux fois moins vite que le vilebrequin, assure l'enfoncement des soupapes par l'intermédiaire des **basculeurs.** Pour obtenir le jeu correspondant à la dilatation des pièces, une fois le moteur à température normale de fonctionnement, on utilise un système de **réglage par vis et contre-écrou.**



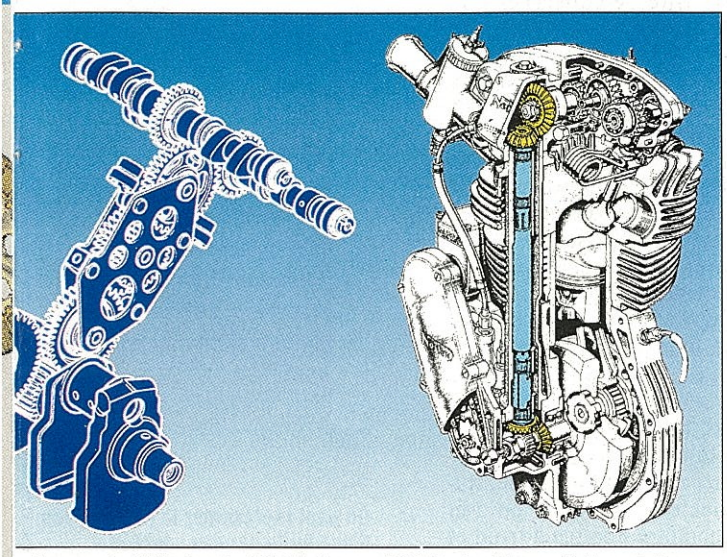
La distribution desmodromique, chère à Ducati, remplace le ressort de la soupape par un second culbuteur. Celui du dessus enfonce la soupape tandis que celui du dessous la rappelle.



De nombreux double ACT actuels, comme ce Suzuki RF 600, utilisent des poussoirs, interposés entre les cames et la queue des soupapes. Le réglage du jeu s'effectue alors avec des pastilles calibrées, placées entre la came et le poussoir.

En résumé

- **L'entraînement de la distribution** peut utiliser des liaisons souples ou rigides. Les premières, de type chaîne ou courroie, sont plus économiques mais moins résistantes à l'usure que les secondes, cascades de pignons ou arbres et couples de pignons côniques, plus onéreux mais plus résistants et plus précis.
- **Le mécanisme de distribution,** quel que soit son type, doit faire tourner le ou les arbres à cames deux fois moins vite que le vilebrequin.
- **La distribution desmodromique** n'utilise pas de ressorts pour le rappel des soupapes mais un culbuteur supplémentaire qui ramène la soupape sur son siège.
- **Le jeu aux soupapes**, indispensable, se mesure à froid et tient compte de la dilatation des pièces une fois le moteur chaud. Trois principaux systèmes permettent d'ajuster ce jeu : les pastilles calibrées, les vis et contre-écrous et enfin, les poussoirs hydrauliques.



pignons du V4 à double ACT de la Honda RC 30. **A droite** l'arbre et les couples de pignons coniques du 500 Norton Manx. Cette solution n'est plus employée aujourd'hui car elle est très coûteuse.

3100 4T

Le meilleur de la Technosynthèse !
Existe en 3 viscosités : SAE 10W 40, 20W 40 et 15W 50, avec additif spécial boîte de vitesses.



MOTUL

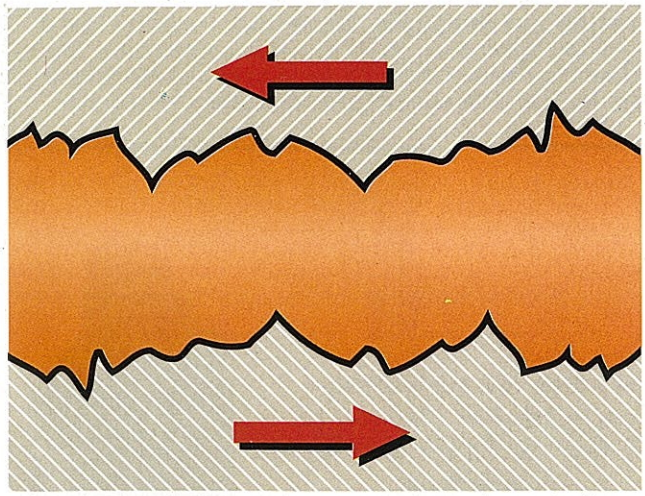


Ça baigne... dans l'huile !

Sans lubrification, le mouvement des pièces du moteur se transformerait en grippage. Etudions donc le composant miracle qui évite cette catastrophe : le lubrifiant.

Par Pepe Burgaleta (Solo Moto) ; traduction et adaptation Jérôme Eline.

Dans un moteur, les frottements entre pièces dégagent d'importantes quantités de chaleur qui, faute de mesures appropriées, feraient fondre les métaux. Le coefficient de frottement exprime la résistance qu'offrent deux surfaces à glisser l'une sur l'autre. Outre la nature des matériaux, il dépend de la forme des pièces et de leur polissage. Frottez entre eux deux bouts de papier de verre ou de métal poli, vous apprécierez la différence. Mais jouer sur la qualité des matériaux ne suffit pas. On intercale donc entre les pièces un composant annexe, huile ou graisse par exemple, sur lequel chaque pièce glisse de son côté



Même d'aspect très lisse, la surface des pièces présente de réelles rugosités, qui génèrent de la chaleur lors des frottements. En s'intercalant, le lubrifiant évite un contact direct. Il doit être à la fois fluide pour ne pas freiner le déplacement et suffisamment consistant pour résister à la pression qui lui est appliquée.

Les différents lubrifiants

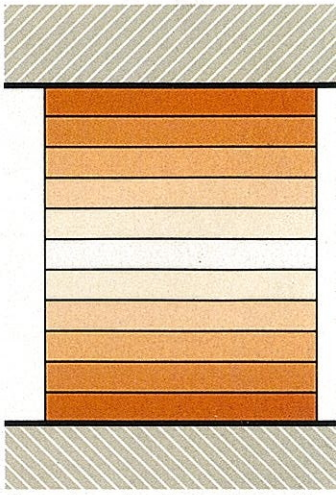
D'origines diverses, ils ont en commun un faible coefficient de frottement et une résistance aux pressions importantes. Dérivés du pétrole, ils prennent l'appellation de lubrifiants "minéraux". Produits en laboratoire, ils sont dits "de synthèse".

L'huile se compose de deux parties bien distinctes : la base et les additifs. La première réduit le frottement tandis que les seconds améliorent les caractéristiques lors de certaines phases. La structure d'une huile se compose de larges molécules d'hydrocarbures, qui lui donnent sa consistance visqueuse. Le déplacement des couches les unes par rapport aux autres suppose un effort variable, qui caractérise la viscosité, qu'on exprime en degrés "SAE". Plus les couches opposent de résistance au déplacement, plus le produit est visqueux. Ajoutons que la résistance à la pression varie en fonction directe de la viscosité.

La viscosité diminuant à chaud, une bonne huile devra donc oublier cette tare originelle, quelle que soit la température. Idéalement, l'huile ne doit pas trop être épaisse à froid et pas trop fluide à chaud. A basse température, elle peut ainsi se glisser dans les moindres recoins et ne pas opposer trop de résistance à la mise en mouvement du moteur. A chaud au contraire, on souhaite que l'huile ne perde pas trop sa viscosité, pour conserver ses caractéristiques de résistance à la pression, tout en gardant sa faculté de se glisser partout. Les huiles "multigrades" répondent à ce double défi. Leur degré SAE varie en fonction de la température, faible à froid et élevé à chaud pour obtenir un produit plus visqueux.

De l'utilité des additifs

Cette viscosité variable, "contre nature", s'obtient en bourrant l'huile d'additifs qui apportent au lubrifiant de nou-



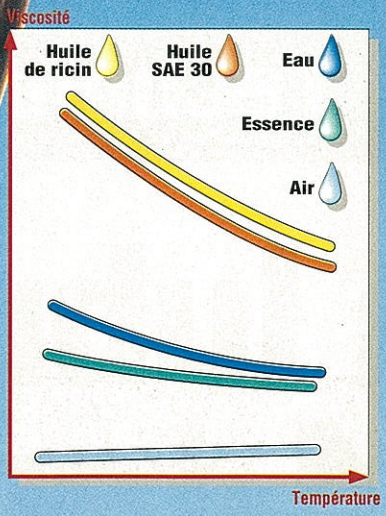
On peut représenter la composition d'une huile par des couches moléculaires superposées. Les deux couches extrêmes "collant" à la surface des pièces qu'elle lubrifie.

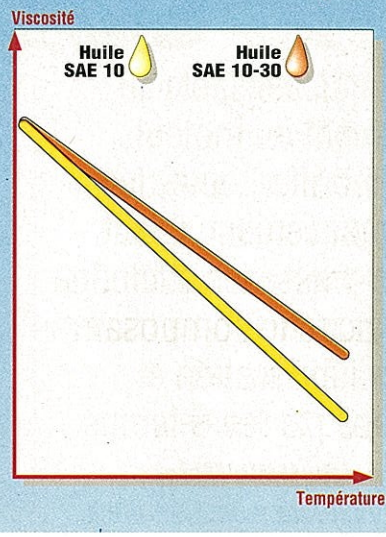


velles caractéristiques ou renforcent celles existantes. Les principaux additifs peuvent améliorer l'indice de viscosité, transformer une huile monograde en multigrade, ou s'opposer à une viscosité excessive à froid. On rencontre également des détergents, des antioxydants, des anti-moussant et des produits améliorant la résistance à la pression, en particulier dans les lubrifiants destinés aux organes de transmission.

De fait, en partant d'une base identique, les additifs créent toutes les différences entre deux lubrifiants. Ils occupent ainsi une place prépondérante dans les réponses des fabricants aux exigences croissantes en qualité des huiles. ■

Lorsque les pièces se déplacent l'une par rapport à l'autre, les couches glissent également l'une sur l'autre. Plus une huile est visqueuse, plus elle oppose de résistance au glissement de ces couches l'une sur l'autre.





Ces deux graphiques représentent les variations de viscosité de divers lubrifiants, en fonction de leur température.

En haut on a représenté les variations de viscosité de 5 liquides différents. L'huile de ricin, longtemps utilisée en compétition, est la moins fluide à température élevée, mais à froid elle est très épaisse. Trop pour le tourisme.

En bas on a représenté le comportement d'une huile monograde SAE 10 et une huile multigrade SAE 10-30. On constate que la baisse de viscosité lors de l'élévation de température est bien moins importante dans le second cas.

En résumé

- **Pour diminuer frottements et dégagements de chaleur,** on intercale entre les pièces une substance à faible coefficient de frottement, qui facilite le déplacement : le lubrifiant.
- **La viscosité,** est la principale caractéristique d'un lubrifiant. Elle doit rester aussi stable que possible malgré les variations de température.
- **Le "degré SAE"** caractérise couramment la viscosité d'un lubrifiantdu produit. Un chiffre bas indique un lubrifiant fluide.
- **Les huiles "multigrades"** voient ce chiffre varier en fonction de la température du lubrifiant.
- **Divers additifs** sont ajoutés au lubrifiant de base pour en améliorer les caractéristiques.

LA GAMME LA PLUS COMPLÈTE DU MARCHÉ MOTO

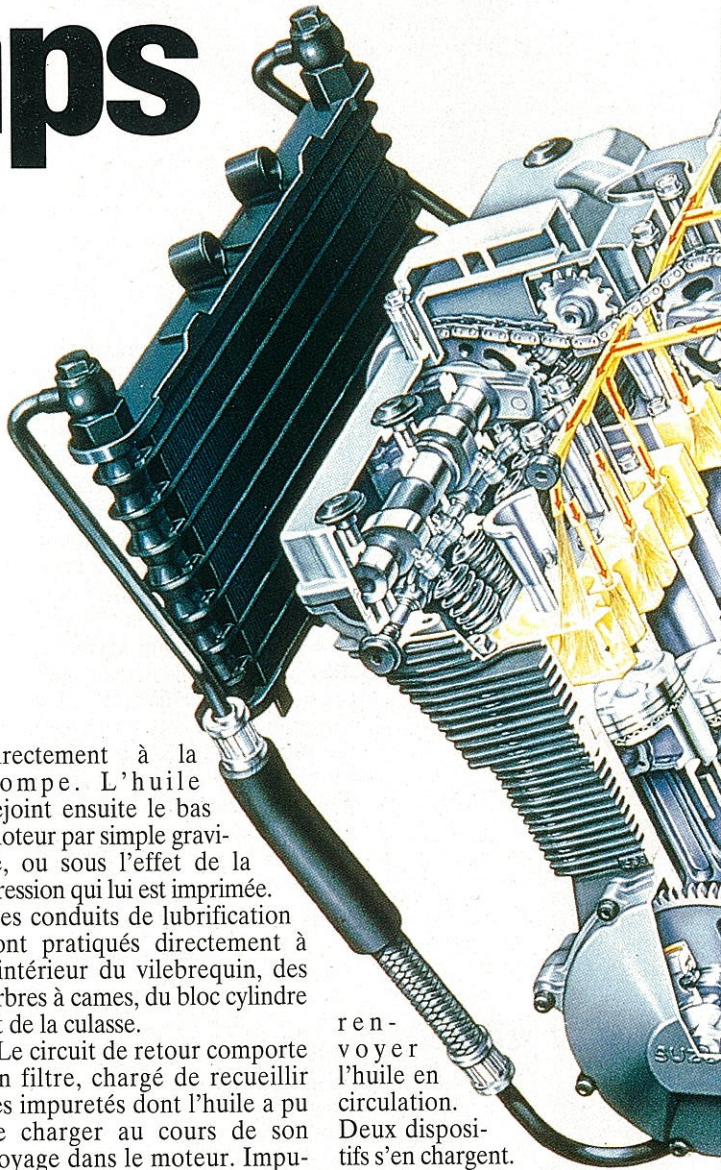


MOTUL

La lubrification du 4-temps

L'huile est indispensable au fonctionnement du moteur, mais pour lubrifier toutes les pièces en mouvement, il faut bien qu'elle puisse les atteindre. Etudions sa circulation à travers le circuit de lubrification et commençons par les 4-temps.

Par Pepe Burgaleta (Solo Moto) ; traduction et adaptation Jérôme Eline.



L'huile circule dans le moteur grâce à une pompe qui l'envoie sous pression aux points à graisser. La pompe baigne dans un volume d'huile suffisamment important pour qu'elle soit correctement alimentée en toute circonstance. Elle est entraînée par le vilebrequin, qui rend ainsi son débit intimement dépendant du régime de rotation du moteur.

Carter sec et carter humide

Lorsque l'huile est contenue dans le carter moteur, qui constitue ainsi son réservoir, on parle de circuit à "carter humide". La pompe se trouve alors à proximité immédiate de la réserve. L'huile y retombe naturellement après avoir graissé le haut moteur. Ce système simple oblige cependant d'augmenter le volume inférieur du carter moteur pour y mettre l'huile.

Lorsque l'huile est contenue dans un réservoir séparé du moteur, on parle de circuit à "carter sec". On place alors le réservoir d'huile plus haut que la pompe, pour qu'elle soit alimentée par gravité. L'huile qui a graissé le haut moteur est renvoyée dans le réservoir par une deuxième pompe. La place gagnée sous le moteur se paie donc par un peu de tuyauterie entre moteur et réservoir et par cette deuxième pompe.

En moto, les pompes sont systématiquement mécaniques, et le plus souvent "à engrenage". Deux roues dentées sont introduites dans un carter, l'une est entraînée par le moteur et transmet ce mouvement à l'autre. Le tout est alimenté en huile qui se trouve coincée entre les dents des pignons, dont l'ouverture expulse le lubrifiant sous une pression plus importante. Pour éviter que la pression reste quasi constante, on adjoint à la pompe un clapet de décharge qui joue le rôle de soupape de sécurité, en s'ouvrant à une valeur précise.

Le circuit de lubrification

Pour que l'huile parvienne aux endroits à graisser, on ménage à l'intérieur du moteur des conduits qui les relient directement à la pompe. L'huile rejoint ensuite le bas moteur par simple gravité, ou sous l'effet de la pression qui lui est imprimée. Ces conduits de lubrification sont pratiqués directement à l'intérieur du vilebrequin, des arbres à cames, du bloc cylindre et de la culasse.

Le circuit de retour comporte un filtre, chargé de recueillir les impuretés dont l'huile a pu se charger au cours de son voyage dans le moteur. Impuretés qui pourraient entraîner une chute de pression ou rayer les pièces parfaitement lisses que sont les paliers.

Refroidissement

Lorsque l'huile entre en contact avec les diverses pièces portées à haute température, huile et métal échangent leurs calories. Comme la température de l'huile est moins élevée, elle se réchauffe tandis que les pièces se refroidissent. La chaleur faisant chuter la viscosité de l'huile, on doit évacuer les calories excédentaires avant de renvoyer l'huile en circulation. Deux dispositifs s'en chargent.

Le réservoir séparé (carter sec) ou le carter moteur (du type "humide") offrent à l'extérieur une surface de contact importante avec l'air ambiant, qui dissipe les calories transmises par l'huile. Si ce refroidissement par le carter est insuffisant, on peut intercaler un radiateur d'huile dans le circuit de retour.

A noter : plus l'huile est utilisée pour évacuer les calories du moteur vers le système de refroidissement, plus sa qualité prend de l'importance pour assurer ce double emploi. ■

Le circuit de lubrification

- le carter moteur réservoir d'huile
- la pompe à huile de refroidissement
- la pompe à huile de lubrification
- la circulation d'huile de refroidissement

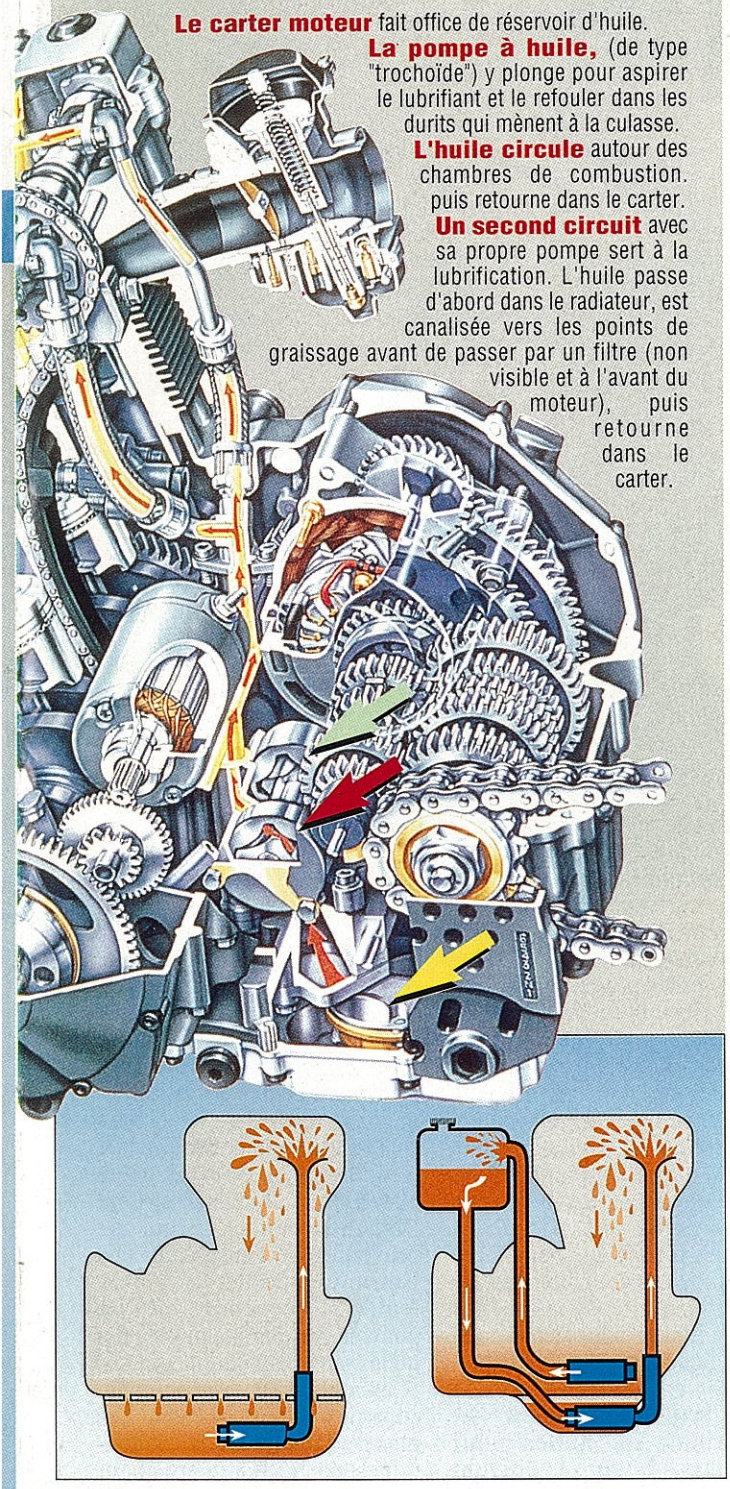
Le Suzuki GSX 600 F est un moteur à "carter humide" et à refroidissement mixte, air et huile. Il utilise l'huile de lubrification pour évacuer une part importante des calories dissipées par les chambres de combustion. C'est pour cette raison qu'il possède un radiateur d'huile de fortes dimensions.

Le carter moteur fait office de réservoir d'huile.

La pompe à huile, (de type "trochoïde") y plonge pour aspirer le lubrifiant et le refouler dans les durits qui mènent à la culasse.

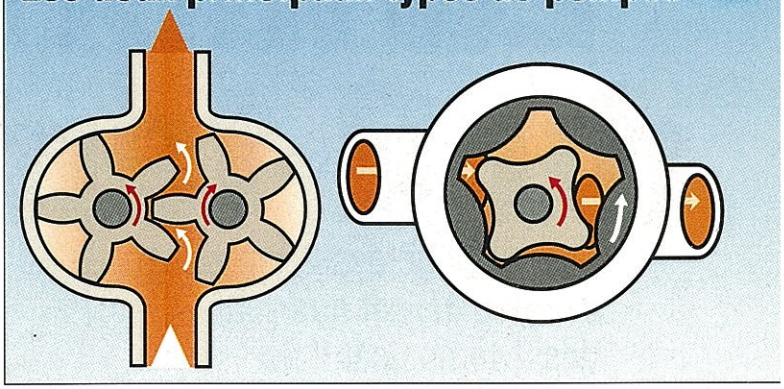
L'huile circule autour des chambres de combustion. puis retourne dans le carter.

Un second circuit avec sa propre pompe sert à la lubrification. L'huile passe d'abord dans le radiateur, est canalisée vers les points de graissage avant de passer par un filtre (non visible et à l'avant du moteur), puis retourne dans le carter.



Les deux grands types de circuits de graissage. A gauche, le carter humide, à droite, le carter sec. Dans le premier cas, le carter sert de réserve d'huile pour maintenir la pompe alimentée en permanence.

Les deux principaux types de pompes



La classique "pompe à engrenages" Le pignon de gauche est entraîné par le moteur, celui de droite entraîné par le premier, suit le mouvement. L'huile est aspirée entre les dents des pignons puis refoulée avec une vitesse et une pression supérieures.

La pompe dite "trochoïde" ou "Eaton" aujourd'hui la plus courante. La roue motrice (en gris clair), entraîne la roue menée (en gris sombre). L'huile (flèches orange clair) est comprimée entre les dents puis chassée de l'autre côté, avec une pression supérieure.

En résumé

- **Un 4-temps** dispose d'un circuit de lubrification qui envoie l'huile directement aux endroits à graisser.
- **Les points de graissage** concernent des pièces en mouvement, où existe un risque de contact métal contre métal. Soumis à des efforts importants, ils recevront une forte quantité d'huile sous pression.
- **Le circuit de graissage** se compose d'un réservoir, d'une pompe, de conduits pour acheminer l'huile et d'un filtre pour aider celle-ci à conserver sa propreté initiale.
- **Le graissage à "carter humide"** définit le système de lubrification où l'huile est contenue dans le bas du carter moteur.
- **Le graissage à "carter sec"** définit le système de lubrification où l'huile est contenue dans un réservoir séparé du moteur.
- **L'huile participe au refroidissement** du moteur. En s'échauffant, elle perd de ses qualités lubrifiantes. Un échauffement important nécessite donc un système de refroidissement annexe et une huile de qualité supérieure.

300 V COMPETITION 4T

L'huile championne du monde en superbike !
100 % synthèse, performances
et longévité extrêmes.

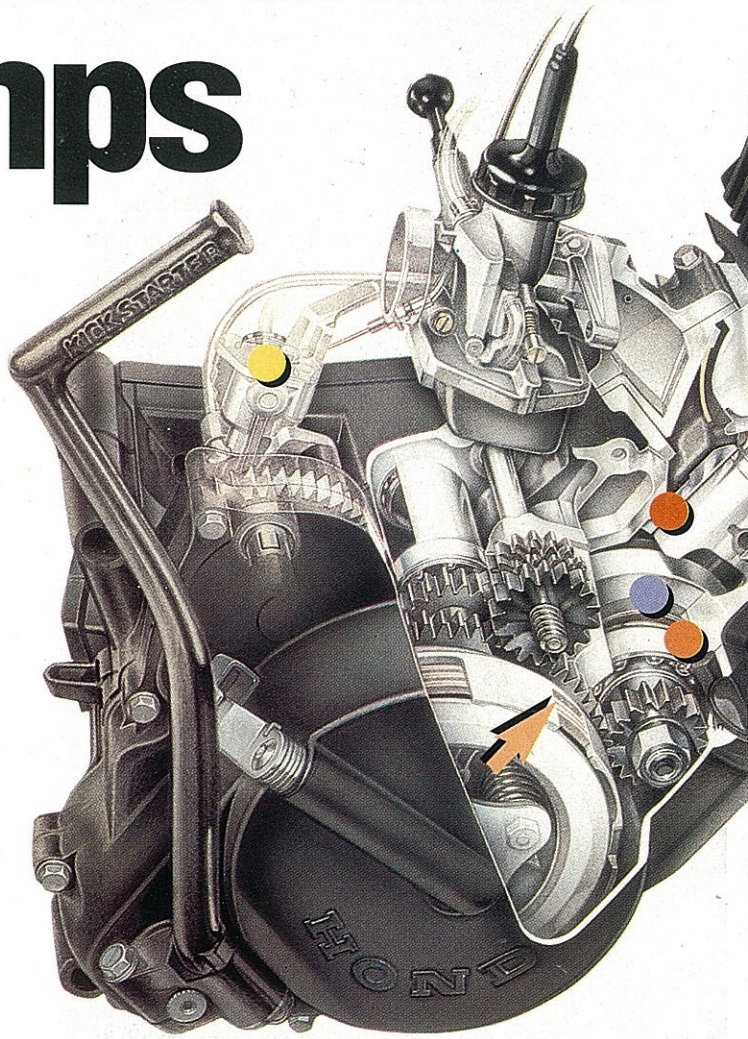


MOTUL

La lubrification du 2-temps

Le graissage des 2-temps est plus délicat que celui des 4-temps car il ne fonctionne pas en circuit fermé mais par huile perdue. Le problème est donc d'alimenter le moteur en huile sans nuire à la combustion.

Par Pepe Burgaleta (Solo Moto) ; traduction et adaptation Jérôme Eline.



Dans un 4-temps, l'huile tourne en circuit fermé. Elle est pompée dans une réserve, passe par différents conduits pour lubrifier certains points avant d'y retourner. Dans un moteur 2-temps, la zone entourant le vilebrequin servant à comprimer le mélange, il est impossible de la remplir en totalité d'huile, ce qui rendrait le mélange incombustible. La lubrification est donc beaucoup plus délicate à assurer.

Le mélange air-carburant-huile

Pour l'amener aux zones à lubrifier, on ajoute l'huile au mélange gazeux. Divers systèmes existent, dont le plus simple consiste à mélanger l'huile et l'essence dans le réservoir. D'évidence, ce système n'est pas aussi performant que la lubrification d'un 4-temps, mais s'avère suffisant si les pièces en rotation reposent sur des roulements, peu exigeants en lubrifiant.

Lors de l'explosion, l'huile brûle avec le carburant et ne peut plus servir. L'utilisateur est donc contraint d'ajouter de l'huile à chaque plein d'essence, dans une proportion précise. Suffisante pour éviter la casse, sans excès pour préserver la qualité de la combustion. On demande à cette huile de laisser un minimum de résidus de combustion et de dépôts de calamine sur la calotte du piston et de réduire au maximum la pollution des rejets d'huile imparfaitement brûlée.

Pour éviter les inconvénients du "mélange", l'huile, contenue dans un réservoir annexe, est introduite dans le moteur par une pompe commandée mécaniquement. Le plus souvent, la pompe injecte l'huile dans le conduit d'admission mais ce mélange est moins homogène que celui de l'huile dans l'essence du réservoir. Avantage en revanche, le débit est régulé en fonction de la charge imposée au moteur, l'ouverture de la poignée de gaz déterminant la proportion d'huile injectée. Faible à bas régime, elle devient maximale à pleine ouverture.

Dans une variante plus sophistiquée, l'huile est amenée par des conduits directement sur les paliers de vilebrequin. Ces points exigeants en lubrifiant, une fois servis, centrifugent l'huile dans la masse de mélange air-essence qui transite autour du vilebrequin. Les gaz qui remontent ensuite vers la partie haute du moteur sont donc chargés d'huile pour graisser cylindre et piston.

Le nec plus ultra consiste à créer un circuit interne au vilebrequin, pour amener l'huile injectée directement sur le roulement de tête de bielle

Huiles spéciales

Au final, les huiles pour moteurs 2-temps doivent répondre à de très nombreuses exigences. Ainsi, elles doivent d'abord compenser leur présence en faible quantité dans le moteur par un pouvoir lubrifiant supérieur, sans que le mélange à l'essence n'altère leurs qualités. Elles doivent également brûler en laissant le minimum de résidus charbonneux, qui contrarient le refroidissement de la calotte du piston et de la culasse et dont l'incandescence risque de provoquer de l'auto-allumage. Enfin, une faible viscosité à froid est nécessaire afin de pouvoir pomper et injecter ces huiles sans problème.

Ces contraintes augmentent le coût des huiles 2-temps. Les plus performantes sont synthétiques, particulièrement quant aux résidus de combustion, les bases minérales contenant, elles, plus de carbone. ■

Les points de lubrification

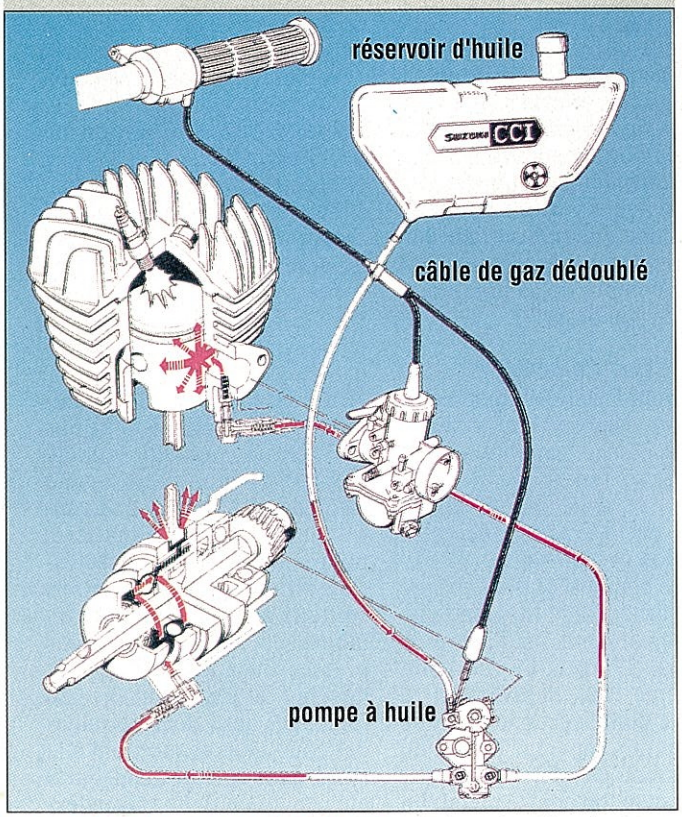
- les paliers de vilebrequin
- les roulements de tête et de pied de bielle
- le fût du cylindre
- la jupe du piston
- la pompe à huile
- le joint à lèvre ou joint "spi"



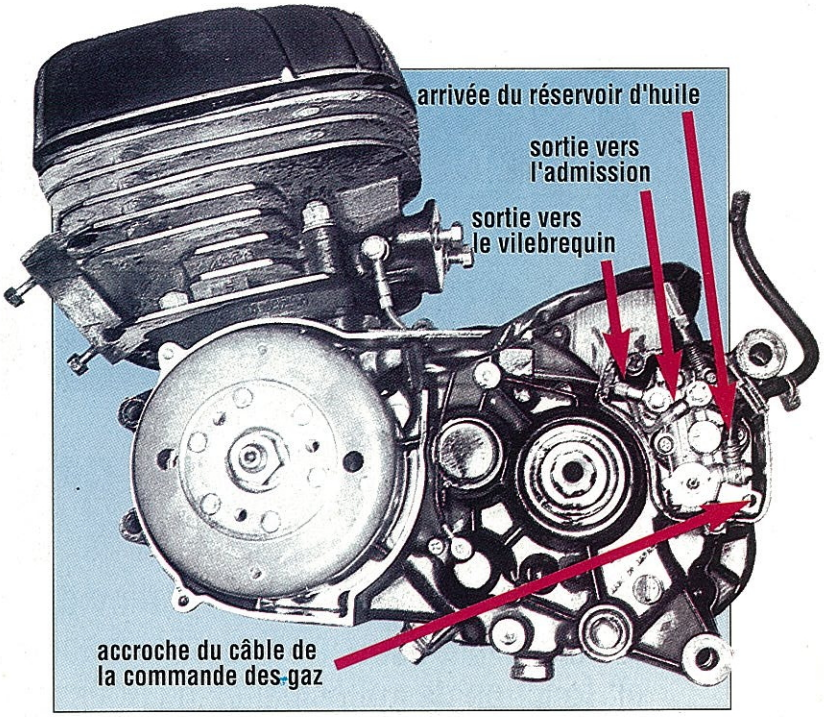
Plus simple que le 4-temps, le moteur 2-temps, qui ne possède pas de mécanisme de distribution, se compose donc de moins de pièces à lubrifier.

Paliers de vilebrequin, roulements de tête et de pied de bielle, cylindre et jupe du piston doivent néanmoins être lubrifiés comme sur un 4-temps, que l'huile soit mélangée à l'essence dans le réservoir ou qu'elle soit contenue dans un réservoir séparé et injectée par pompe comme sur ce MB 80 Honda.

Sur les moteurs 2-temps, la lubrification du moteur est indépendante de celle de la boîte de vitesse. On utilise un joint à lèvre ou joint "spi" comme "cloison étanche" entre la boîte et le carter moteur. Généralement, le roulement de palier de vilebrequin côté transmission primaire est lubrifié par l'huile de la boîte, le joint spi est donc placé entre le carter et le roulement.



Le système de graissage séparé adopté par Suzuki est le plus efficace. Le débit de la pompe est fonction du régime moteur et de l'ouverture de la poignée de gaz. L'huile est injectée dans le vilebrequin (puis centrifugée dans le carter à sa sortie) et dans le conduit d'admission.



La pompe à huile d'un 2-temps à graissage séparé est entraînée par le moteur. Son débit augmente donc avec le régime, mais aussi avec le tirage du câble de la poignée de gaz. Ceci permet un graissage adapté à la sollicitation du moteur, et donc moins polluant qu'un graissage conçu uniquement pour une charge maximum. En outre, cette pompe Suzuki possède deux sorties : pour le vilebrequin et l'admission.

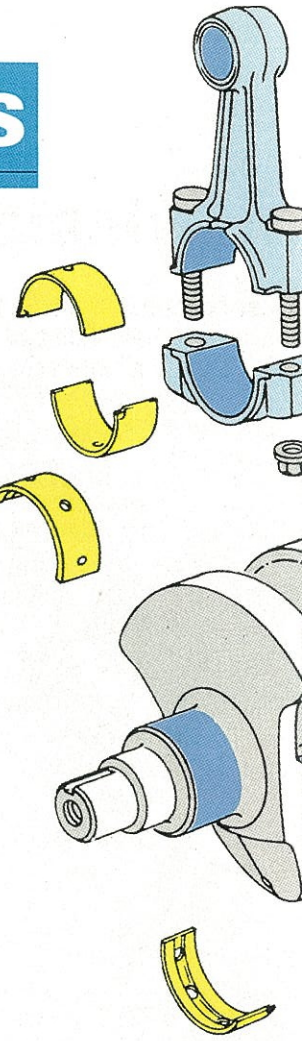
En résumé

- **La lubrification des 2-temps** est délicate car elle ne fonctionne pas en circuit fermé comme pour le 4-temps.
- **Tous les systèmes employés** consistent à intégrer l'huile à la masse explosive air-essence, soit par mélange préalable à l'essence daans le réservoir, soit ultérieurement par injection dans le flux gazeux à l'admission.
- **La lubrification des 2-temps est imparfaite** et nécessite des roulements sur les paliers des pièces en rotation.
- **L'huile 2-temps** doit répondre à de nombreuses contraintes : possibilité de se mélanger à l'essence sans perdre ses qualités, fluidité à froid pour pouvoir être pompée et injectée sans problème, haut pouvoir lubrifiant et combustion propre.

033MOT001
FC
600 2T
100 % synthèse, la référence pour les moteurs 2T hautes performances ! Diminue les fumées et les dépôts grâce à une base ester additivée.


MOTUL

Roulements et coussinets, ça tourne



Destinés à faciliter la rotation des pièces, roulements ou coussinets apportent, en fonction des possibilités de graissage et des efforts subis par ces pièces, deux types de réponses spécifiques.

Par Pepe Burgaleta (Solo Moto) ; traduction et adaptation Jérôme Eline.

Pour faciliter la rotation entre deux pièces et éviter la fusion du métal du fait des frottements, il est nécessaire, d'une part, d'assurer un apport de lubrifiant, d'autre part d'intercaler entre les deux pièces un troisième élément, roulement ou coussinet. Les premiers sont utilisés massivement dans les moteurs 2-temps, en raison de leur faculté à supporter un graissage rudimentaire. Les seconds, qui ne peuvent se passer d'un important apport d'huile sous pression, supportent la plupart des vilebrequins de 4-temps.

Les roulements

Ils se composent de deux bagues concentriques, à l'intérieur desquelles prennent place des éléments roulants séparés par une cage. Lorsqu'une des bagues tourne, elle entraîne les éléments roulants qui se déplacent alors autour de l'autre bague. En rendant chaque bague solidaire de l'une des deux pièces entre lesquelles existe un mouvement de rotation, on reporte le frottement direct de l'une contre l'autre par le roulement d'éléments prévus pour ça. De plus, la très faible surface de contact avec l'élément roulant diminue la perte d'énergie par frottement, au prix d'une pression plus importante à ce point précis. C'est pourquoi les éléments roulants sont fabriqués dans des aciers de haute qualité, renforcés par des traitements thermiques. Essayez donc d'attaquer un roulement à la lime...

Le coût de production élevé entraîné par ces aciers spéciaux se compense par une fabrication en grande série, rendue possible par la normalisation des roulements.

Un roulement se caractérise en premier lieu par ses éléments roulants, billes, rouleaux cylindriques ou coniques, répartis en une ou deux rangées. La forme du roulement détermine le type d'effort qu'il peut encaisser. Les rouleaux coniques supportent par exemple les efforts axiaux, ceux à billes les encaissent moins bien et les rouleaux cylindriques pas du tout. Ces derniers en revanche supportent de plus grands efforts radiaux, en raison de la surface de contact plus importante des rouleaux.

Si un roulement supporte un graissage faible, il est en revanche encombrant en diamètre et le concepteur doit tenir compte de ce paramètre lors de son dessin.

Les coussinets

Ils remplacent les roulements si l'on dispose d'un système de graissage capable de les alimenter (en pression et en débit) et si la largeur disponible entre les deux pièces en rotation est suffisante.

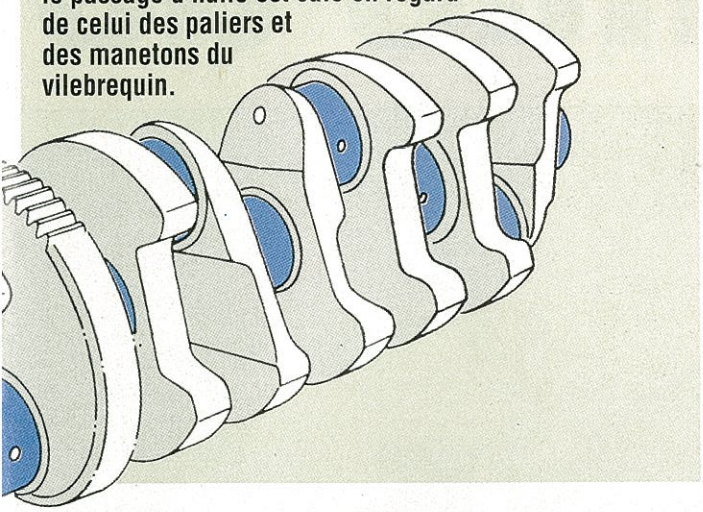
Ils se composent d'une bague fixe sur l'alésage (le grand diamètre) et libre sur l'arbre de l'autre. L'arbre, en tournant, imprime un mouvement à l'huile dont la pression interne augmente, séparant l'arbre du coussinet jusqu'à éviter tout contact métal contre métal. La pression interne du matelas d'huile dépend du jeu entre le coussinet et l'arbre, de la vitesse de rotation et de la pression à laquelle l'huile a été injectée.

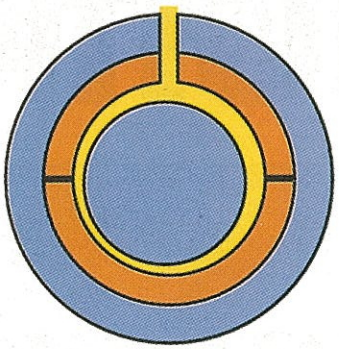
Problème lors de la mise en mouvement de l'arbre : la faible vitesse de rotation ne peut mettre l'huile en pression, et encore s'il reste de l'huile... Il y a alors contact direct métal contre métal, c'est pourquoi le revêtement intérieur des coussinets est traité en matériau antifriction, capable d'encaisser les surchauffes pendant un court instant.

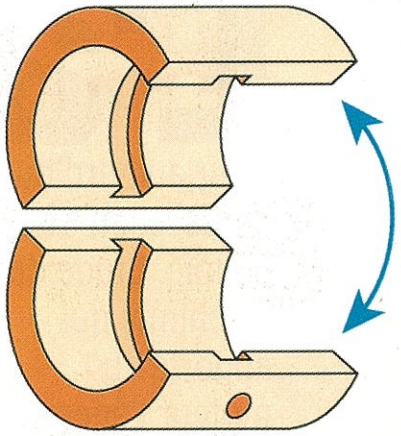
En comparaison des roulements, les coussinets sont fins mais larges, pour un volume global bien moindre. Comme ils demandent moins de quantité et de qualité de matière, pour une précision de fabrication moindre, ils sont moins coûteux à fabriquer. Lors du montage, on se passe des presses ou autre instrument destiné à un montage en force. Les deux demi-coquilles des coussinets se montent à la main dans le logement qui a été séparé en deux (rappelez-vous les bielles à chapeau des 4-temps). Ajoutons une durée de vie supérieure, due à l'apport permanent d'huile. ■

Le principe de fonctionnement des coussinets

Les coussinets sont deux demi-coquilles métalliques avec un revêtement anti-friction. Leur perçage pour le passage d'huile est calé en regard de celui des paliers et des manetons du vilebrequin.

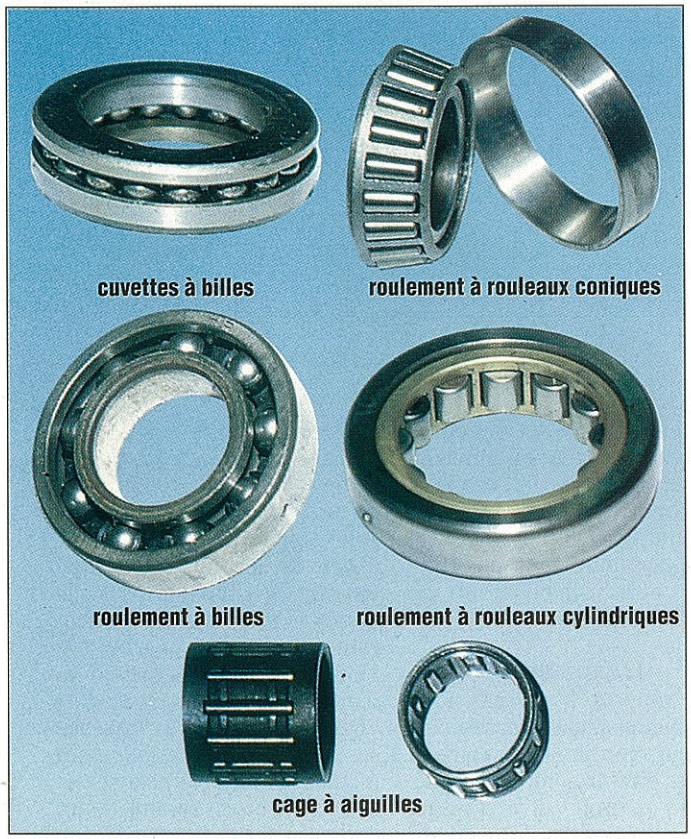






Les coussinets sont montés solidairement aux carters moteur comme à la tête de bielle au moyen de petits ergots de calage. La rotation du vilebrequin met en mouvement l'huile injectée sous pression et la répartit dans l'espace séparant le coussinet et l'alésage. Ce mouvement augmente la pression interne, laquelle génère une force suffisamment importante pour décoller l'arbre du coussinet, évitant un contact métal contre métal. Avec une pression d'huile conséquente, ce système possède une durée de vie élevée. Ses inconvénients par rapport aux roulements sont en conséquence : il suffit d'une mauvaise lubrification pour que survienne un grippage, alors que le roulement peut continuer à fonctionner tant qu'il est graissé.

Les grands types de roulements



- **Les roulements à billes** supportent des vitesses de rotation élevées, leurs billes offrant une faible surface de frottement sur les bagues. Les cuvettes à billes sont une variante conçue pour subir des efforts en écrasement.
- **Les roulements à rouleaux** offrent une plus grande surface de frottement mais un meilleur guidage axial. Les roulements à rouleaux coniques peuvent aussi supporter des efforts en écrasement.
- **Les cages à aiguille**, dépourvues de bagues interne et externe, possèdent des rouleaux de très faible diamètre (comme des aiguilles). Quelque soit leur type, la plupart des roulements possèdent une "cage" pour maintenir en place leurs billes ou rouleaux.

En résumé

- **Pour diminuer le frottement** entre deux pièces en rotation, on utilise des roulements ou des coussinets.
- **Les roulements** sont des pièces complexes de haute précision, fabriquées dans des aciers de qualité. On les utilise pour les endroits peu lubrifiés, comme les paliers de vilebrequins ou les manetons des moteurs 2-temps.
- **Les coussinets** utilisent dans leur principe la rotation de l'arbre qu'ils supportent. Pour cette raison, leur fonctionnement est déficient au départ du mouvement. Ils ont besoin d'un apport important de lubrifiant, que seule peut leur fournir la pompe à huile d'un moteur 4-temps.
- **La place disponible autour d'un palier** peut aussi décider du choix d'un roulement ou d'un coussinet. En effet, par conception, les roulements sont de grand diamètre et étroits, les coussinets fins mais larges.

CONTACT CLEANER

Le must en matière de dégraissant ! Dégraisse instantanément : toutes pièces et systèmes mécaniques ou hydrauliques, et circuits électriques.



MOTUL

L'alchimie de

Pour aujourd'hui, petite leçon de chimie. Etude de l'alchimie qui apporte au moteur l'énergie première qu'il se charge de transformer en mouvement.

Pepe Burgaleta.
Traduction/adaptation
Jérôme Eline.



La combustion représente le point commun de tous les moteurs... à combustion, quelque soit le produit brûlé pour en tirer de l'énergie : charbon, fuel, essence, etc. Ils se distinguent ensuite par le lieu où se déroule la combustion et la façon dont ils en recueillent l'énergie, sur la tête de piston (moteurs à explosion et à vapeur), les ailettes d'une turbine (turbopropulseurs et autres) ou par "réaction" (turbo et statoréacteurs, moteurs fusée), etc.

Nos moteurs de motos sont dits "à combustion interne". Le carburant se consume à l'intérieur du moteur et l'énergie est directement recueillie par le piston. Par contre, dans une locomotive à vapeur, la combustion est externe. Une chaudière vaporise l'eau, puis des tuyaux transportent l'énergie de la vapeur jusqu'au piston.

La combustion est la combinaison chimique de deux substances : un carburant et un comburant. Soit, pour nous, de l'essence et de l'oxygène de l'air.

Examinons d'abord de plus près le processus de combustion pour comprendre les mécanismes de cette réaction. On admettra que les atomes qui composent les molécules de la matière sont ordonnés selon un dessin en dégradé.

Ces atomes peuvent se combiner entre eux, selon des lois naturelles plus ou moins complexes. En simplifiant, les atomes situés à l'extrémité d'une molécule peuvent s'accrocher à ceux formant la couche périphérique de la molécule d'en face et plus ils sont situés à cette périphérie, plus ils se détacheront facilement, pour aller s'unir avec d'autres et former des substances nouvelles.

Voila ce qui arrive aux atomes d'oxygène lors d'une combustion ou de l'oxydation d'un métal. Combinés avec le carburant ou le métal, ils produisent à la fois de la chaleur (énergie) et des corps nouveaux : rouille ou fumée.

Dans notre cas, on cherche à tirer une énergie maximale de la quantité de carburant, et ce, le plus rapidement possible. Plus de travail en moins de temps égale plus de puissance.

L'explosion

Par rapport à ce que nous connaissons déjà d'un moteur, on peut énoncer une série d'exigences pour la combustion.

Celle-ci doit être rapide, pour être compatible avec le régime de rotation élevé. Elle doit démarrer à un moment précis, et non pas sous le simple effet de la pression résultant de la compression préalable du mélange. Elle doit être complète, afin de ne pas laisser de résidus toxiques.

Ajoutons que, sur une moto, la place est limitée pour emmener des réserves de carburant et de comburant. Et qu'enfin on souhaiterait que tout cela soit le moins cher possible.

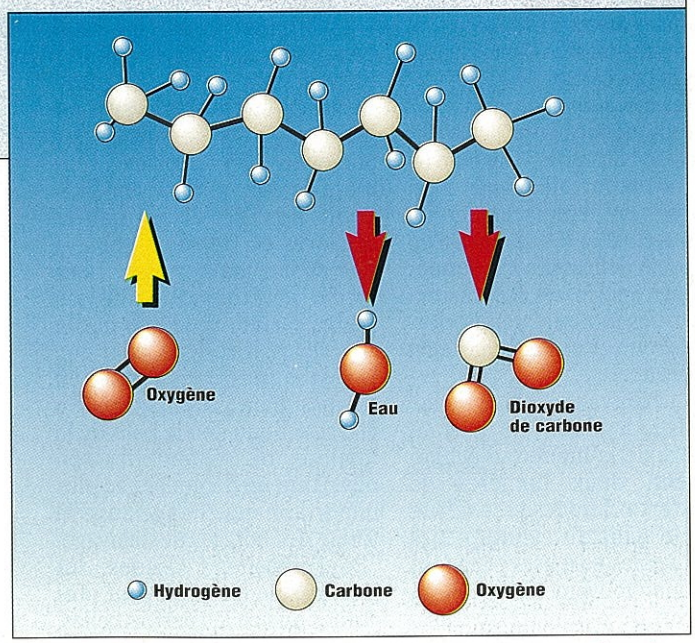
L'air est gratuit, et contient environ 20% d'oxygène. Voilà résolu le problème du comburant. Quant au carburant, l'essence répond raisonnablement aux exigences posées.

Dérivée du pétrole, l'essence se compose essentiellement d'atomes de carbone et d'hydrogène, formant un hydrocarbure. Leur position dans la molécule fait qu'ils s'en détachent sans trop insister, pour aller se combiner avec de l'oxygène qui traînerait par là.

Cette réaction de combinaison hydrocarbure/oxygène produit divers effets et substances nouvelles : de fortes élévations des températures et de la

la combustion

La combustion est un des moyens les plus utilisés pour obtenir l'énergie qui permet à l'homme de se déplacer à grande vitesse. Quelle plus évidente expression de ce principe qu'un turbo-réacteur en phase de "post-combustion" (ils sont deux sur ce Mig 31).



Représentation schématique du processus de combustion

En haut, une molécule d'hydrocarbure, formée d'une chaîne d'atomes d'hydrogène et de carbone.
En dessous à gauche, sous les effets de la chaleur produite par l'étincelle de la bougie et de la pression due à la compression, les premiers atomes d'oxygène se combinent avec ceux d'hydrogène et de carbone. Cette combinaison provoque une élévation de température et de pression, qui étend très rapidement la réaction aux autres atomes, qui se combinent dans la foulée.
En dessous à droite, après combustion totale, on récupère : de l'eau (un atome d'oxygène pour deux d'hydrogène) et du dioxyde de carbone, un atome de carbone combiné à deux atomes d'oxygène.

pression (précisément l'énergie qui nous intéresse) du dioxyde de carbone ainsi que de l'eau.

Le déclenchement initial de cette réaction s'obtient par un petit apport extérieur d'énergie. Un peu comme les dominos qui se renversent successivement, pour peu que l'on ait poussé le premier. Dans notre cas, c'est l'étincelle de la bougie qui lance le processus.

Le mélange

En observant de près la réaction, on remarque que les substances se combinent en quantités exactes : un certain poids d'essence réagit par l'apport d'un certain poids d'air, ni plus ni moins. Mais faute de l'introduction dans le cylindre de certaines quantités dans un rapport exact, deux problèmes peuvent apparaître.

S'il y a trop d'air, l'essence brûle complètement mais l'oxygène restant se combine de nouveau en absorbant de l'énergie. S'il y a trop d'essence, elle ne brûle pas complètement et part dans l'échappement. Résultat : perte d'énergie et pollution en prime.

Un calcul théorique, partant des poids respectifs des divers atomes en présence, conclut à une proportion idéale de 15 unités d'air pour 1 unité d'essence.

Inutile de dire qu'on ne s'en approche que rarement, une fois intégrées les variations des conditions climatiques et du régime moteur, pour ne citer qu'elles. Voila pourquoi la mise au point de la carburation idéale constitue un véritable casse-tête. ■

En résumé

- **Nos moteurs de moto** sont dits à "combustion interne". Ils utilisent l'apport énergétique d'une réaction chimique appelée combustion. L'énergie dégagée est directement recueillie par le piston.
- **La combustion** met en présence deux substances capables de se combiner chimiquement. Un comburant, l'oxygène de l'air, et un carburant, en règle générale un hydrocarbure dérivé du pétrole.
- **La carburation** doit être réglée pour respecter une proportion optimale carburant / comburant, gage d'une réaction chimique complète. Un bon réglage permet de brûler tous les gaz et apporte donc un rendement parfait du moteur tout en diminuant la pollution.

BRAKE FLUID

Indispensable à une bonne sécurité ! Fluides 100 % synthèse pour commande hydraulique de freins et d'embrayages. Une gamme spécifique qui répond à toutes les recommandations : DOT 3, DOT 4 et DOT 5.1.

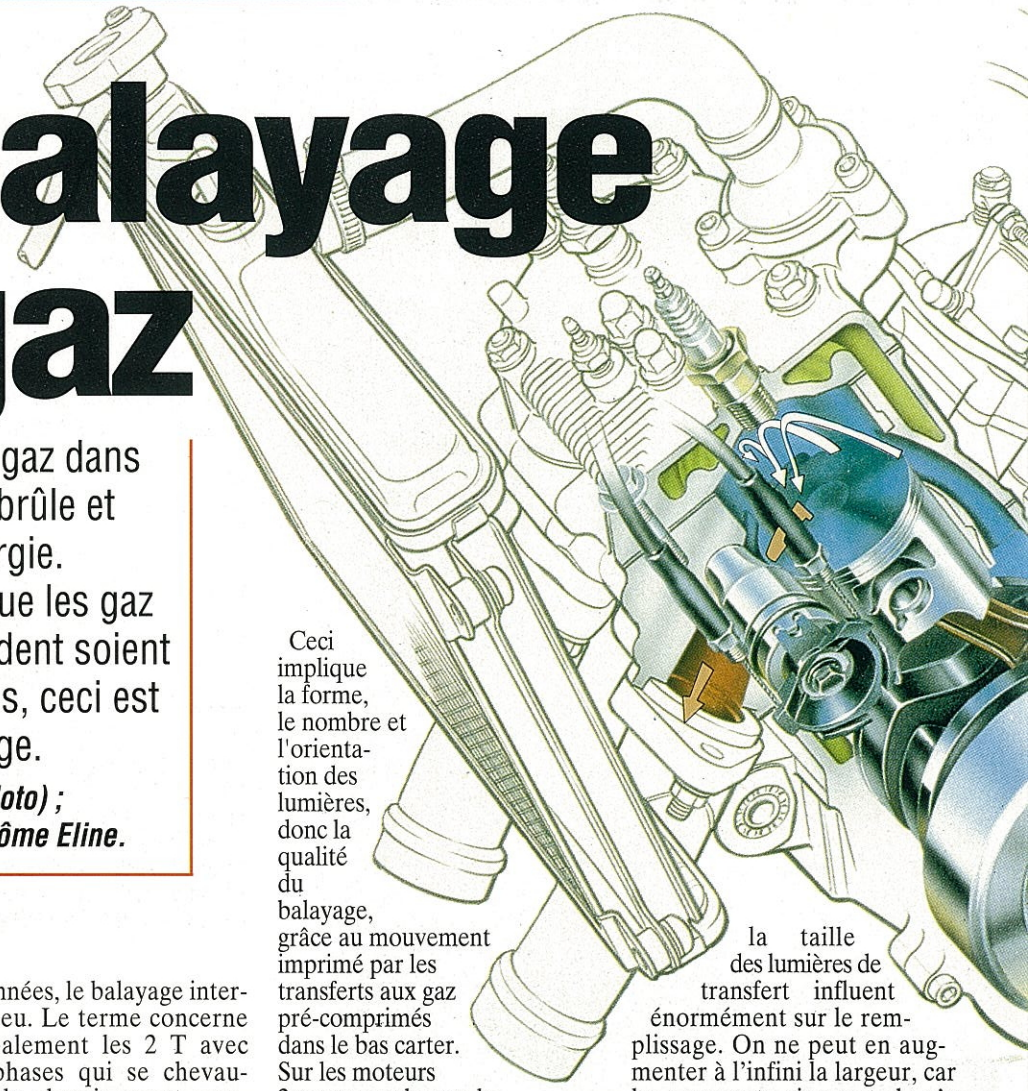


MOTUL

Le balayage des gaz

Plus on fait entrer de gaz dans le cylindre, plus il en brûle et plus on obtient d'énergie. Mais il faut d'abord que les gaz brûlés au cycle précédent soient correctement expulsés, ceci est le domaine du balayage.

Par Pepe Burgaleta (Solo Moto) ; traduction et adaptation Jérôme Eline.



Ceci implique la forme, le nombre et l'orientation des lumières, donc la qualité du balayage, grâce au mouvement imprimé par les transferts aux gaz pré-comprimés dans le bas carter.

Comme nous l'avons vu au chapitre 4 et 5 des diagrammes de distribution, on peut augmenter la quantité de gaz pénétrant dans la chambre de combustion, en augmentant le temps d'admission. Jusqu'au moment où la colonne gazeuse entrante aura tendance à ressortir par où elle est entrée. Cet instant fatidique est retardé par l'effet de "balayage", qui donne plus d'inertie aux colonnes gazeuses. Important dans les 4 T, il est fondamental dans les 2 T.

Du balai !

Le"balayage" consiste à imprimer un mouvement aux gaz frais pour expulser les gaz brûlés restés dans le cylindre.

A l'ouverture de l'admission, les gaz frais ne rencontrent pas d'obstacle. Mais au fil du remplissage du cylindre, la fraction restante de gaz brûlés finit par s'opposer au mouvement d'entrée. On imprime aux gaz frais un mouvement et une incidence tels qu'ils poussent ce bouchon vers l'échappement.

Dans un 4 T aux phases bien fractionnées, le balayage intervient peu. Le terme concerne principalement les 2 T avec leurs phases qui se chevauchent, le cheminement complexe de leurs veines gazeuses et leurs cylindres à trous, qui permettent les échanges avec l'extérieur. Nous avons vu que si l'on n'utilise pas de clapet ou de distributeur rotatif à l'admission, leurs diagrammes seraient parfaitement symétriques, avec néanmoins un temps d'échappement plus long que celui de transfert.

Divines lumières.

A l'échappement, le piston descend et les gaz sortent rapidement, puis perdent leur vitesse à mesure qu'augmente le volume libre au-dessus du piston, jusqu'à l'équilibre entre les pressions intérieure et extérieure. Quand les lumières de transfert sont découvertes, il reste donc une quantité importante de gaz brûlés à expulser. On s'arrange alors pour faire suivre aux gaz frais un itinéraire précis à l'entrée du cylindre, afin qu'ils chassent les résidus de gaz brûlés à l'extérieur.

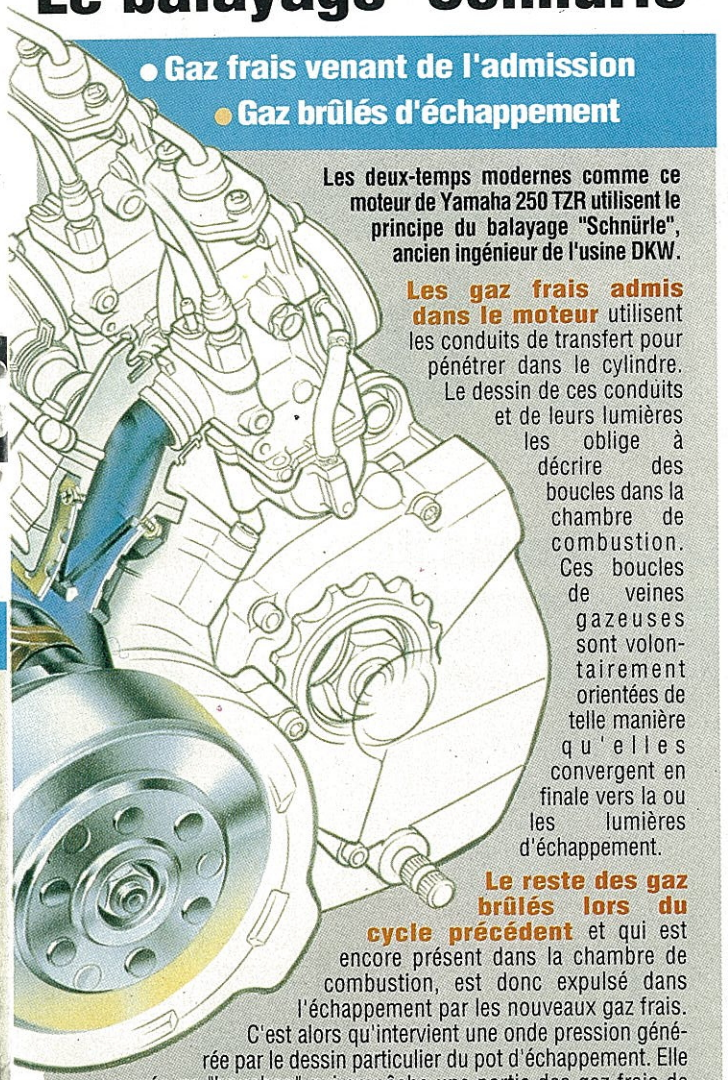
Sur les moteurs 2-temps modernes, le balayage "Schnürle" (du nom de son inventeur allemand) s'est imposé, en remplacement du balayage par la tête de piston en forme de déflecteur. Ce dernier système, ancien, est encore utilisé sur des moteurs peu performants, ou sur certains moteurs industriels.

Le balayage "Schnürle" consiste à placer de part et d'autre de la lumière d'échappement, deux lumières de transfert orientées face à face vers le haut du cylindre. Les deux veines gazeuses prennent alors un mouvement en boucle, qui part de la lumière de transfert vers la culasse, pour redescendre vers la lumière d'échappement, balayant au passage le reste des gaz brûlés.

On optimise ce système en multipliant les transferts (4 ou 6 pour créer 2 ou 3 boucles de balayage), ou, plus simple, en plaçant la lumière de transfert face à celle d'échappement. Outre leur nombre, la forme et la taille des lumières de transfert influent énormément sur le remplissage. On ne peut en augmenter à l'infini la largeur, car les segments risquent de s'y accrocher. D'évidence, il vaut alors mieux obtenir un gros débit par plusieurs petites lumières de transfert que par une seule, mais grosse. Leur forme est toujours plus ou moins carrée, avec une partie supérieure rectiligne, pour que le piston puisse les fermer en les masquant brutalement. En élargissant un peu le haut de la lumière, on obtient dès son ouverture un débit des gaz plus important, qui change aussi la forme des boucles de balayage.

Pour plusieurs raisons, les lumières de transfert sont plus petites que celle (parfois celles, car il peut y en avoir plusieurs) d'échappement. Le temps de transfert est le plus court du diagramme, donc ses lumières sont placées bas dans le cylindre. Ensuite, parce que les gaz pré-comprimés dans le bas carter acquièrent de la vitesse en passant sous pression par ces petits trous, ce qui permet de mieux en diriger le flux. ■

Le balayage "Schnürle"

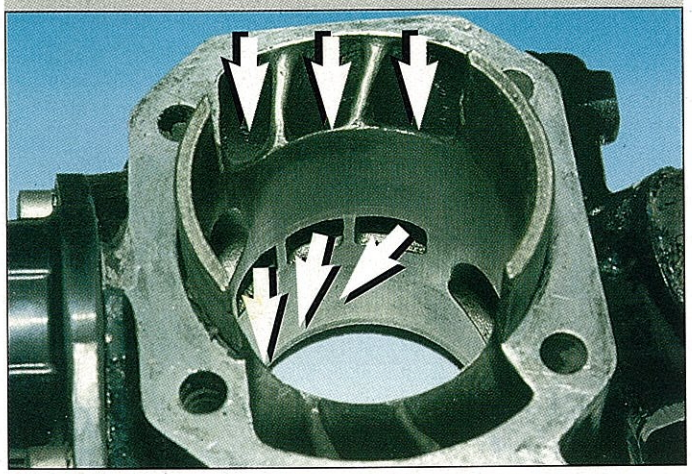


- Gaz frais venant de l'admission
- Gaz brûlés d'échappement

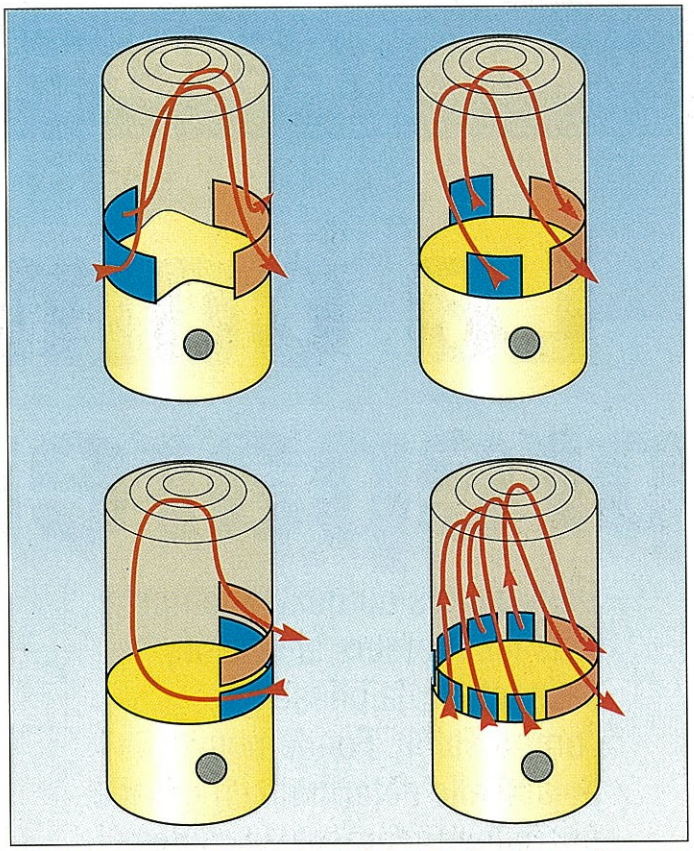
Les deux-temps modernes comme ce moteur de Yamaha 250 TZR utilisent le principe du balayage "Schnürle", ancien ingénieur de l'usine DKW.

Les gaz frais admis dans le moteur utilisent les conduits de transfert pour pénétrer dans le cylindre. Le dessin de ces conduits et de leurs lumières les oblige à décrire des boucles dans la chambre de combustion. Ces boucles de veines gazeuses sont volontairement orientées de telle manière qu'elles convergent en finale vers la ou les lumières d'échappement.

Le reste des gaz brûlés lors du cycle précédent et qui est encore présent dans la chambre de combustion, est donc expulsé dans l'échappement par les nouveaux gaz frais. C'est alors qu'intervient une onde pression générée par le dessin particulier du pot d'échappement. Elle crée un "bouchon" qui empêche une partie des gaz frais de s'engouffrer dans l'échappement à la suite des gaz brûlés. Il est évident que ce phénomène est optimisé pour un régime donné du moteur, et qu'en deçà et au-delà de ce régime, il sera moins efficace. C'est pour cela que les deux-temps modernes sont équipés d'une valve à l'échappement. Commandée électroniquement, cette valve modifie la la section de la lumière d'échappement en fonction du régime et augmente donc la plage de rendement du moteur.



Le dessin des transferts de ce cylindre (retourné et donc la tête en bas) de Yamaha TZ 250 est une parfaite illustration du principe de balayage "Schnürle". On remarque parfaitement qu'il imprime aux gaz frais, une trajectoire légèrement tangentielle aux parois du cylindre. De plus les gaz seront canalisés vers le haut du cylindre.



Différents types de balayage de deux-temps

En haut à gauche, l'ancestral système du piston à déflecteur. C'est la forme de la calotte qui imprime le mouvement des gaz frais.
En haut à droite, la plus simple version du balayage "Schnürle", avec deux lumières de transfert.
En bas à gauche, version avec les transferts sous les lumières d'échappement.
En bas à droite, un cylindre moderne à 7 transferts, dont l'un est disposé en face de la lumière d'échappement.

En résumé

- **Pour augmenter le rendement d'un moteur,** on augmente le volume de gaz frais qui pénètre dans le cylindre. Sur un 4T, on jouera sur l'admission, dans un 2T on s'intéressera à l'admission et au transfert.
- **Dans un 2-temps,** le temps de transfert comprend une période dite de balayage, pendant laquelle les gaz frais qui entrent dans le cylindre sont utilisés pour chasser les gaz brûlés résiduels.
- **Le balayage "Schnürle"** est le principe le plus utilisé. Il imprime aux colonnes gazeuses des mouvements en boucle, dont la forme et l'efficacité dépendent directement du dessin des lumières de transfert, point capital pour le rendement d'un moteur 2-temps.

MOTOWASH

La propreté du bout des doigts ! Biodégradable ce nettoyant élimine toutes salissures et dépose un film protecteur anti-corrosion.



MOTUL

La compression préparer le big ba

Deux-temps ou quatre-temps, tous les moteurs alternatifs passent par la phase de compression. Fondamentale puisqu'elle détermine en grande partie le rendement du moteur.

Par Pepe Burgaleta (Solo Moto) ; traduction et adaptation Jérôme Eline.

Nous avons vu au chapitre 18 comment la combustion des gaz fournit de l'énergie. Mais pour obtenir un résultat intéressant, il convient de comprimer le mélange gazeux avant de l'enflammer.

On mesure le rendement énergétique en comparant la pression obtenue à l'intérieur du cylindre, à la pression atmosphérique qui règne à l'extérieur du moteur, qui elle, reste sensiblement toujours égale. En faisant exploser un mélange gazeux à la pression atmosphérique, on obtient par sa combustion, une multiplication par 4 (environ) de sa pression. En comprimant le mélange à une valeur de 15 fois la pression atmosphérique, puisqu'on l'enflamme, on obtient après combustion une pression équivalente à 60 fois la pression atmosphérique (15 fois 4). Autrement dit, un gain évident de 56 unités.

Le rapport de compression

Rappelons que ce rapport caractérise la variation du volume du cylindre supérieur au piston, entre le moment où il est au Point Mort Bas et celui où il est au Point Mort Haut. Il a bien sûr une influence directe sur la pression des gaz avant leur inflammation, mais ce n'est pas le seul paramètre.

On doit d'abord prendre en considération la pression des gaz introduits dans le cylindre, avant que ne commence la phase de compression compression. Plus le cylindre sera rempli de gaz, plus cette valeur sera élevée et donc augmentée par la compression. Le remplissage dépend de facteurs tels que formes des conduits, vitesse du piston, diagramme d'admission. Le régime moteur influe également, en augmentant la dépression (l'effet de pompage) en début d'admission, un paramètre intégré dans la définition du diagramme de distribution.

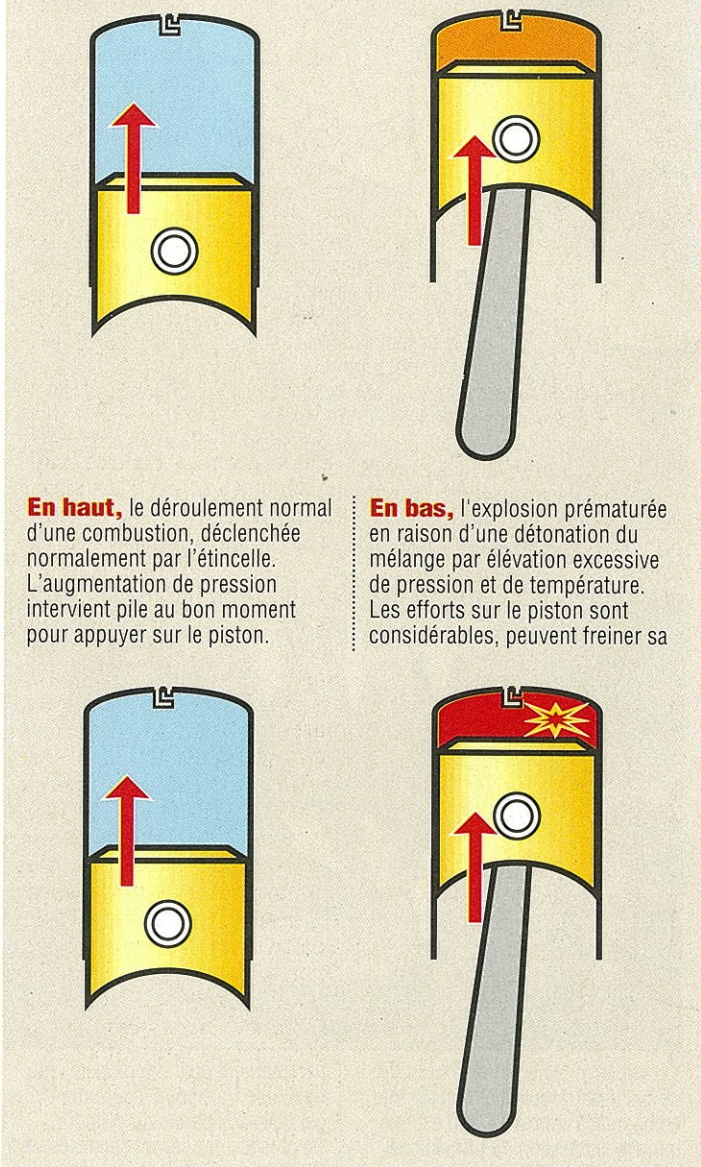
Enfin, la compression du mélange en élève la température, ce qui dans l'espace clos de la chambre de combustion, augmente encore la pression.

La détonation

Hélas, il ne suffit pas de comprimer le mélange comme une brute pour obtenir un rendement fabuleux. A partir d'une certaine pression, le mélange air/essence devient instable et explose avant que la bougie ne l'ait enflammé. Imaginez alors le piston qui remonte vers le

Les risques du phénomène d

La détonation intervient lorsque le mélange en explosion avant que la bougie ne se soit



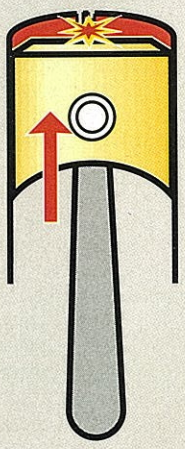
En haut, le déroulement normal d'une combustion, déclenchée normalement par l'étincelle. L'augmentation de pression intervient pile au bon moment pour appuyer sur le piston.

En bas, l'explosion prématurée en raison d'une détonation du mélange par élévation excessive de pression et de température. Les efforts sur le piston sont considérables, peuvent freiner sa

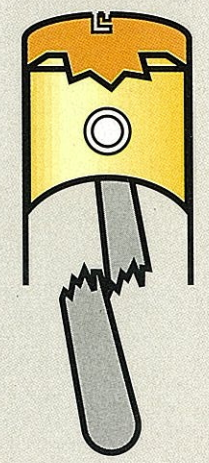
ang

e détonation

air/essence entre chargée de le faire



remontée au point de provoquer une rupture de pièces, et cette combustion incontrôlée de mauvaise qualité tend à ronger le piston, qui finit par casser.



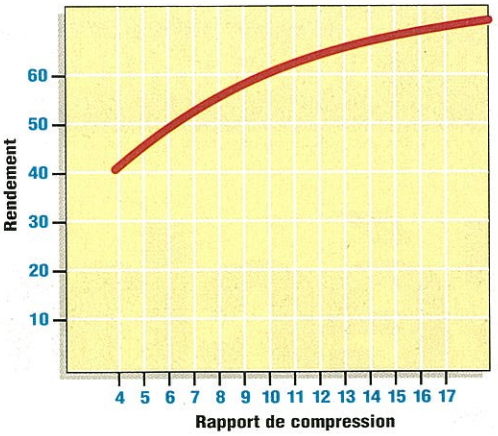
point mort haut et, bien avant qu'il n'y soit parvenu, se prenant en pleine tête l'augmentation de pression due à l'explosion prématurée. Sur sa lancée il va atteindre le PMH, mais en encaissant au passage cette explosion incontrôlée. Outre le fait que le rendement va chuter vertigineusement, cette anomalie a tôt fait de détruire le piston et partant, le reste du bas moteur.

Il existe donc des limites en terme de rapport de compression, qui tiennent à la nature du carburant utilisé et à sa proportion dans le mélange.

Pour pouvoir comparer la résistance des carburants à cette explosion spontanée qu'on nomme détonation, on a créé le fameux indice d'octane. Pour le déterminer, on compare expérimentalement, sur un moteur au taux de compression ajustable, la résistance du carburant testée à celle de deux carburants de référence. Ces carburants de référence sont l'iso-octane, peu détonant, qui représente la borne maximale (100) et l'heptane, très détonant, qui sert de référence zéro. Un carburant qui se met à détoner au-même moment qu'un mélange de 95 % d'iso-octane et de 5 % d'heptane se voit affecté de l'indice 95. Très simple.

La proportion du carburant et de l'oxygène dans les gaz influe également sur leur résistance à la détonation. Celle-ci chute avec la raréfaction du carburant. D'où, là encore, la nécessité d'une carburation adaptée.

L'essence est formée de différents hydrocarbures, chacun avec leur indice d'octane propre. Comme ces hydrocarbures performants sont chers, on les mélange avec d'autres, meilleurs marchés, à l'indice d'octane plus faible. Ensuite on rétablit l'ordre des choses par des additifs, les plus connus étant les plombs dits tétraéthyle ou tétraméthyle. Peu chers mais de plus en plus bannis pour raison de pollution. Pas par la pollution directe qu'ils provoquent, mais parce qu'ils détruisent les catalyseurs des pots d'échappement, chargés de transformer les substances toxiques résiduelles de la combustion. ■



Le rendement d'un moteur augmente en relation avec l'élévation de son taux de compression. Prononcée au départ, cette augmentation croit de moins en moins rapidement. Elle finit par trouver ses limites avec l'indice d'octane du carburant utilisé.

Type de machine	Année	Cylindrée	Rapport de compression	Puissance	Régime de puissance maxi
Yamaha YZF 750	1993	750 cm³	11,5 à 1	100 ch	10 500 tr/mn
Kawasaki ZXR 750 full power	1992	750 cm³	11,5 à 1	125 ch	12 000 tr/mn
Suzuki GSX 750	1981	750 cm³	9,4 à 1	80 ch	9 500 tr/mn
Honda CB 750	1969	750 cm³	9,1 à 1	68 ch	8000 tr/mn

Ces quatre machines d'époque différente, équipées d'un quatre cylindres 4-temps de même cylindrée, illustrent la relation entre les puissances délivrées, les rapports de compression et les régimes de puissance maxi. Ces paramètres s'influencent les uns les autres mais dépendent aussi de la qualité du remplissage (diagramme forme des conduits etc.).

En résumé

- **La compression du mélange gazeux,** avant son inflammation, augmente le rendement du moteur.
- **Le rendement d'un moteur** dépend de la différence entre la pression des gaz après combustion, et la pression atmosphérique.
- **Le rapport de compression** indique (sans la quantifier précisément) la différence de pression entre le moment où les gaz pénètrent dans le cylindre et celui où ils sont complètement comprimés.
- **Le remplissage initial** du cylindre influe sur la pression effective des gaz en fin de compression.
- **Un rapport de compression trop élevé** entraîne une inlammation spontanée des gaz : la détonation.
- **L'indice d'octane** d'un carburant caractérise son niveau de pouvoir anti-détonant Zéro comme l'heptane, cent comme l'iso octane, qui sont les carburants de référence. On augmente l'indice d'octane des carburants par des additifs, notamment à base de plomb.

MOTUL MOTO *Protect*

Une gamme de produits d'entretien pour conserver à votre moto son éternelle jeunesse.



MOTUL

L'échappeme

Sur un 2-temps, le pot est le siège de phénomènes complexes, mais ô combien importants, qu'on utilise pour reculer encore un peu les limites de son rendement.

Pepe Burgaleta. Traduction/adaptation Jérôme Eline, illustration Lionel Boloré.

Dépourvu des soupapes qui en régulent précisément le fonctionnement, le 2-temps utilise divers artifices pour ajuster au mieux ses temps d'ouverture selon son régime de rotation. De là vient l'utilisation des clapets à l'admission, ou des diverses valves à l'échappement. Mais pour comprendre l'intérêt de ces systèmes, il faut d'abord savoir comment fonctionne le 2-temps "de base", dépourvu de ces progrès.

Les ondes

Les ondes sont le phénomène physique autour duquel s'articulent tous les échanges à l'intérieur du pot d'échappement. A l'intérieur d'un tube, une onde peut se comprendre comme une brusque variation de la pression interne du gaz enfermé dans ce tube. Elle peut être positive (onde de pression), ou négative (dépression).

Etudions le comportement d'une onde de pression parcourant un tube, en négligeant pour simplifier, les frottements du fluide contre les parois de ce tube. En théorie donc, sans chute de l'intensité de l'onde au long de son cheminement. Si le tube est de section constante, l'intensité de l'onde ne change pas. En revanche, toute variation du diamètre du tube crée une contre-onde, qui a pour origine le point où le diamètre a changé et qui se dirige vers l'entrée du tube. Le sens de la contre-onde dépend du sens de la variation de diamètre. Lorsqu'il augmente, une contre-onde négative apparaît, qui tend à vider le tube ; lorsque le diamètre diminue, la contre-onde est positive et les gaz sortent moins facilement du tube.

Applications

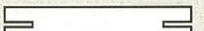
L'ouverture de la lumière d'échappement permet la sortie des gaz brûlés, soumis à la pression de la fin de l'explosion. Cette sortie subite produit une onde de pression, qui accompagne la masse gazeuse jusqu'à la sortie du tube. Pendant ce temps, le piston descend vers le PMB, provoquant une chute de pression.

Aux alentours du PMB, les gaz brûlés ont perdu beaucoup de pression, et donc de vitesse de sortie. En élargissant le tube d'échappement en forme de cône, on crée une onde de dépression qui remonte jusqu'à la lumière et aspire les derniers gaz brûlés. L'intensité et la durée de l'onde dépendent de l'angle et de la longueur du cône, tandis que le moment où elle apparaît au niveau de la lumière d'échappement varie selon la distance qui la sépare du début du cône.

La remontée du piston qui suit provoque un nouveau

Le dessin du pot d'échappen

A gauche, un moteur 2-temps dépourvu de pot d'échappement



A gauche
Le piston descend sous la pression des gaz brûlés. Il commence à démasquer la lumière d'échappement par laquelle les gaz s'engouffrent vers l'air libre. Tout va bien.

A droite
Nous sommes à la même phase qu'à gauche, mais les gaz brûlés qu s'engouffren dans le po d'échappemen commencent à engendrer un onde de pression



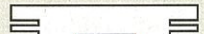
A gauche
La lumière d'échappement est pratiquement démasquée, les gaz frais que comprime la descente du piston, remontent par les transferts pour commencer à remplir le cylindre.

A droite
La même phase qu'à gauche, mais les gaz on progressé dans le pot et génèren une contre-onde en remplissant le volume du pot. Elle devient dépressio et aspire les gaz brûlés



A gauche
Le piston est parvenu au PMB, les lumières de transfert et d'échappement sont ouvertes, les gaz frais remplissent le cylindre. Sur leur lancée, ils expulsent le reste des gaz brûlés.

A droite
Toujours la même phase qu'à gauche. La contre pression génèré par les gaz brûlés en atteignant le contre-cône cré un "bouchon" qu interdit toute sorti des gaz frais pa l'échappement



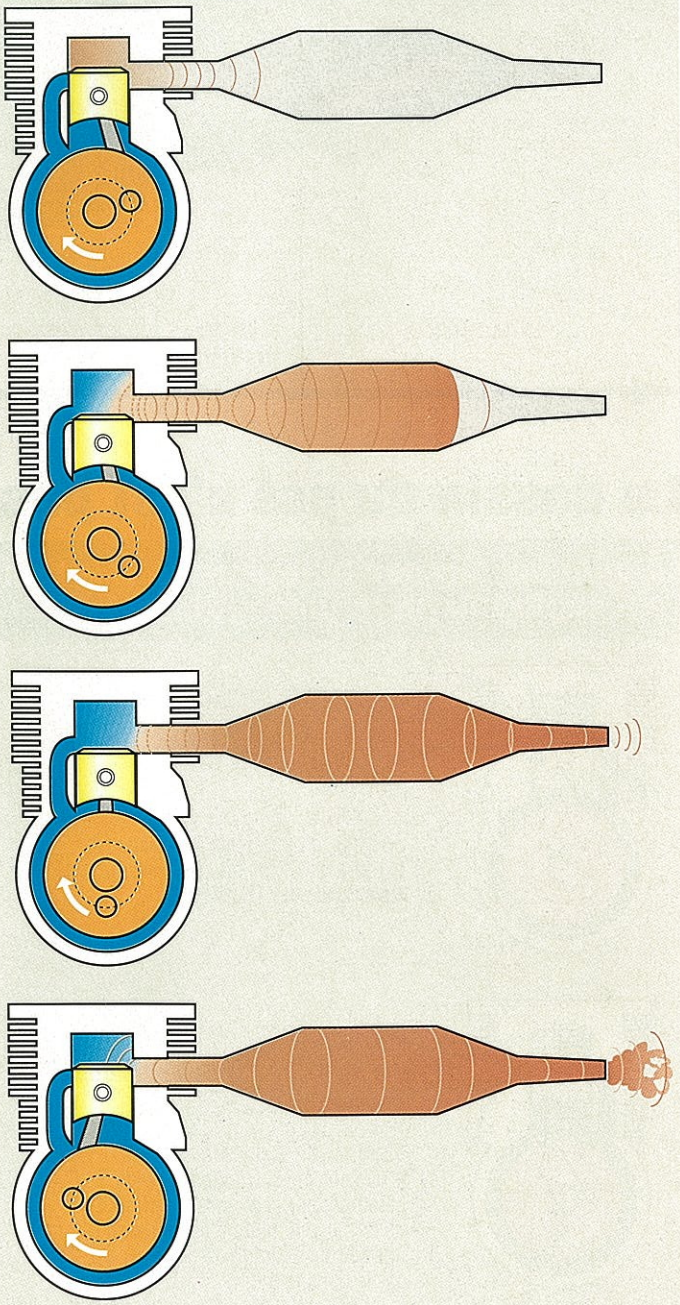
A gauche
On touche le fond de l'horreur. La remontée du piston comprime les gaz frais alors que la lumière d'échappement est encore partiellement ouverte. les gaz frais s'y engouffrent.

A droite
Contrairement à la phase de gauche le "bouchon" agi encore, alors que la pression aug mente dans le pot Les gaz brûlés sont donc expul sés par le "tube de fuite", leur seul porte de sortie

nt du 2-temps

ent est la clé du rendement

A droite, un moteur 2-temps pourvu d'un pot d'échappement adapté



problème, puisque les gaz frais ont maintenant tendance à partir par l'échappement toujours ouvert. Pour éviter cette fuite, on utilise de nouveau une onde venue de l'échappement. Un rétrécissement sous forme d'un deuxième cône (nommé contre-cône) tourné en sens inverse du premier, augmente la pression des gaz d'échappement. Cette pression se communique jusqu'à la lumière et s'oppose à celle régnant dans le cylindre. Artificiel mais efficace, ce bouchon empêche toute sortie intempestive de gaz frais. Là encore, intensité, durée et moment d'apparition de cette contre-pression dépendent respectivement de la variation de diamètre, de la longueur du contre-cône et de sa distance à la lumière d'échappement.

Exactitude

Ainsi exprimées, les choses paraissent fort simples. En fait, les phénomènes se produisent dans des périodes très courtes et avec des effets très difficiles à quantifier précisément. Après des dizaines d'années d'expérimentation, on commence à maîtriser relativement correctement les conséquences du dessin d'un échappement de 2-temps. Il n'en reste pas moins que sa plage d'efficacité optimale est très étroite et accordée à une gamme de régimes moteurs tout aussi étroite. ■

En résumé

- **Une onde** qui parcourt un tube crée une contre-onde de pression face à un rétrécissement du diamètre du tube ; une contre-onde de dépression en rencontrant une augmentation du diamètre du tube.
- **Le cône** matérialise la première augmentation du diamètre de l'échappement, qui produit au niveau du cylindre, une dépression facilitant l'extraction des gaz brûlés.
- **Le contre-cône,** situé plus loin que le cône, vers la sortie du pot d'échappement, matérialise une réduction de diamètre.Il génère une pression dans le cylindre qui s'oppose à toute sortie intempestive des gaz frais.

033MOT003 FC

MOTOLUBE 2T

Le lubrifiant Technosynthèse des moteurs 2T à graissage séparé ou par mélange. Réduit les fumées et l'encrassement du moteur et du pot.

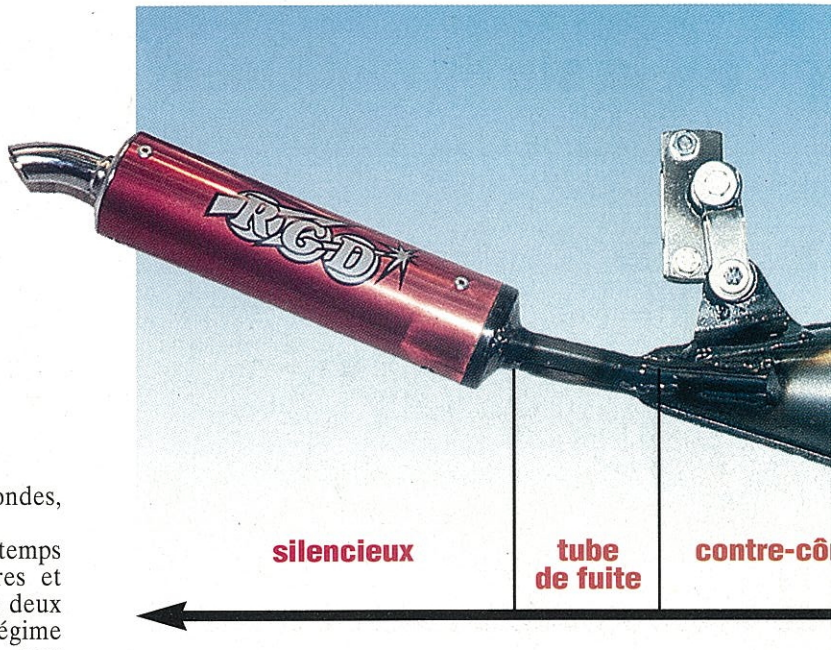


MOTUL

L'échappeme

Les ondes de pression et dépression circulant dans un pot de 2-temps permettent d'en améliorer le rendement. Hélas, leur efficacité maximale est limitée à une plage de régimes étroite.

Pepe Burgaleta. Traduction/adaptation Jérôme Eline, illustration Lionel Boloré.



Idéalement, on souhaite que l'onde de dépression réfléchie par l'échappement vienne vider le cylindre lorsque le piston arrive au P.M.B. Ensuite, l'onde de pression prendra le relais, pour éviter une sortie de gaz frais en fin de transfert. Tout irait pour le mieux si la vitesse de circulation des ondes variait en fonction de celle de rotation du moteur.

Constance

La vitesse des ondes change selon la nature et la température du gaz dans lequel elles circulent. Paramètres quasiment constants, puisque, quel que soit le régime, on se trouve en présence de résidus de combustion, à une température de 700 à 800 degrés. Par un calcul théorique, on arrive à déterminer une vitesse de l'onde de l'ordre de 600 m/seconde, soit plus de 2 000 km/h.

Fort de ces éléments, on peut déterminer facilement le temps que mettront les ondes pour parcourir la distance qui sépare leur lieu de naissance, cône ou contre-cône, de leur lieu d'action, à savoir la lumière d'échappement.

Vitesse de circulation constante et longueur du pot constante donneront, en terme de temps, des instants d'apparition et d'action des ondes, constants également.

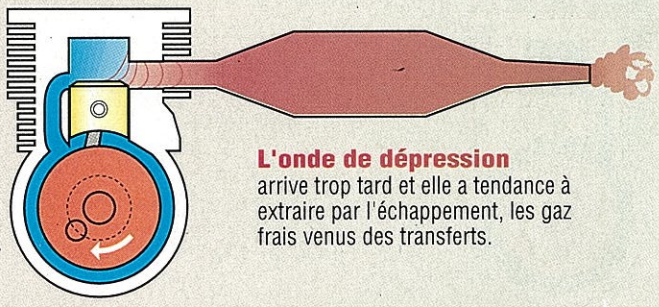
Problème toutefois : le temps d'ouverture des lumières et celui qui s'écoule entre deux ouvertures dépend du régime de rotation. Ainsi, nos fameuses ondes n'arriveront que rarement au moment précis où on a besoin d'elles.

Par exemple, à un régime inférieur à l'optimal donné par la longueur du pot, l'onde de dépression arrive trop tôt, alors que le piston, n'est pas encore au P.M.B. La pression à l'intérieur du cylindre suffit encore à pousser les gaz brûlés vers l'échappement, et l'onde n'aide pas à grand-chose. Côté onde de pression, même problème : elle arrive trop tôt. Son effet de bouchon empêche alors la sortie des derniers gaz brûlés, alors qu'on souhaitait la voir intervenir un peu plus tard, pour contrarier la sortie des gaz frais.

Ces phénomènes, qu'on nomme résonances, s'inversent à un régime supérieur à l'optimal. Le piston parcourt alors plus de chemin pendant le temps que les ondes mettent à circuler dans le pot. Vers le P.M.B., l'onde de dépression n'est pas encore là et les gaz brûlés restent un moment sans sortir. La dépression se manifeste ensuite, alors que les gaz sortent à pleine vitesse par les

Le dessin du pot n'est pas

A gauche, lorsque le régime de rotation est supérieur au régime optimal

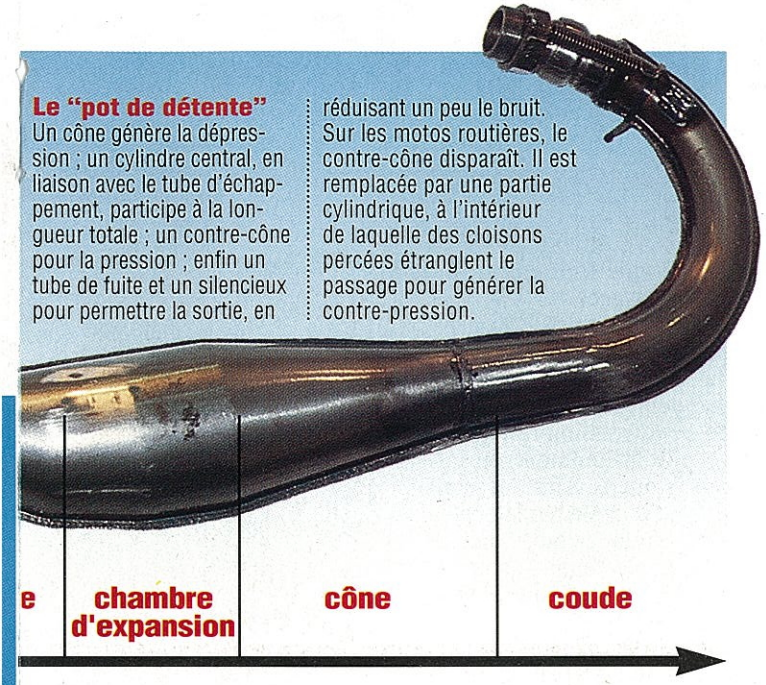


L'onde de dépression arrive trop tard et elle a tendance à extraire par l'échappement, les gaz frais venus des transferts.



L'onde de pression arrive elle aussi trop tard et bute bêtement sur le piston. Avant qu'il ne ferme la lumière d'échappement, une sacrée quantité de gaz frais est partie dans le pot.

nt du 2-temps



Le "pot de détente"
Un cône génère la dépression ; un cylindre central, en liaison avec le tube d'échappement, participe à la longueur totale ; un contre-cône pour la pression ; enfin un tube de fuite et un silencieux pour permettre la sortie, en réduisant un peu le bruit. Sur les motos routières, le contre-cône disparaît. Il est remplacée par une partie cylindrique, à l'intérieur de laquelle des cloisons percées étranglent le passage pour générer la contre-pression.

accordé à tous les régimes

transferts. Même retard du côté de l'onde de pression qui se pointe alors que la lumière d'échappement est déjà bien masquée par le remontée du piston. Les gaz frais sont déjà dans l'échappement.

Accord parfait ?

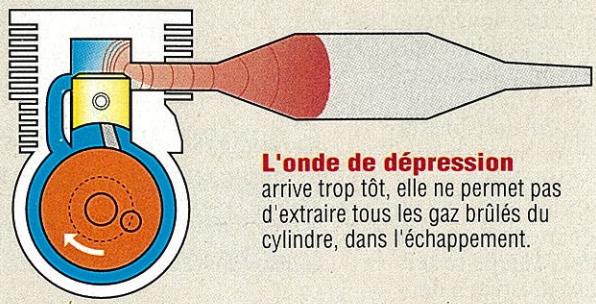
Cet accord dépend du caractère du moteur, lent ou rapide. Un 2-temps destiné au trial n'a pas du tout la même courbe de réponse qu'un moteur de vitesse. Tous les paramètres tels que diagramme, nombre et formes des lumières, ou autres, ont leur importance et le dessin du pot d'échappement doit s'y accorder.

Globalement un pot long favorise les bas ou moyens régimes, et plus on le raccourcit, plus il favorise les hauts régimes. Dans le premier cas, les ondes mettront beaucoup de temps à venir du lieu de leur naissance et comme le piston se déplace lentement (tout est relatif), il prend son temps pour décrire les différentes phases du cycle. Au contraire, un pot court rapproche le délai d'apparition des ondes, en accord avec le temps plus bref qui sépare deux ouvertures de lumière ainsi que leur temps même d'ouverture.

Ajoutons que la plage de régimes utilisable que détermine le pot, est d'autant plus étroite que le régime optimal est élevé. Tout simplement parce que plus on va vite et plus le risque de taper à côté est grand.

Quelque part ces 2-temps ont finalement un côté très humain, non ? ■

A droite, lorsque le régime de rotation est inférieur au régime optimal



L'onde de dépression
arrive trop tôt, elle ne permet pas d'extraire tous les gaz brûlés du cylindre, dans l'échappement.



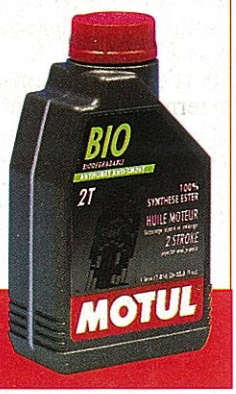
L'onde de pression
arrive aussi trop tôt, elle empêche la sortie du cylindre de tous les gaz brûlés, alors qu'ils devraient être poussés vers la sortie par l'arrivée des gaz frais.

En résumé

- **Les phénomènes de résonance** dans les échappements de 2-temps ne sont pleinement efficaces que dans une plage de régimes étroite.
- **Aux régimes différents de l'optimal,** les ondes ne sont pas synchronisées avec les déplacements du piston.
- **La longueur et la forme de l'échappement** doivent être accordées au diagramme de distribution et elles déterminent en grande partie le régime optimal de fonctionnement du moteur.

BIO 2T

Une formulation 100 % synthèse à base d'esters biodégradables ! Réduit considérablement les fumées et les dépôts.



MOTUL

L'échappement le règne de la

Comme son frère aux cylindres à trous, le moteur des 4-temps utilise des ondes dans son système d'échappement pour améliorer son rendement. Avec un seul souci : faciliter l'extraction des gaz brûlés.

Burgaleta. Traduction/adaptation Jérôme Eline, illustration Lionel Boloré.

Avec ses phases bien fractionnées par l'action des soupapes, un 4-temps est moins sensible qu'un 2-temps aux effets d'un échappement inadapté, mais ce n'est pas une raison suffisante pour s'en passer. Selon qu'on est en présence d'un mono ou d'un multicylindre, l'utilisation des ondes venues du tube d'échappement sera différente.

Le monocylindre

En s'engouffrant dans l'échappement les gaz brûlés y provoquent une onde de pression. En sortant de l'échappement vers l'air libre, cette onde génère une contre onde, de dépression cette fois, qui remonte alors jusqu'à la soupape d'échappement pour y butter puisque celle-ci s'est fermée entre-temps. L'onde repart donc dans l'autre sens, toujours en onde de dépression (selon les règles expliquées par le dessin ci-dessous), pour retrouver l'extrémité de l'échappement où elle change de signe. La dépression devient pression et repart vers la soupape d'échappement, pour etc... En fait, ces allers et retours d'onde font entrer le pot en résonance.

Toute l'astuce consiste à caler cette résonance en phase avec les ouvertures de la soupape d'échappement, pour que l'onde de dépression réfléchie arrive pile au moment ou la soupape s'ouvre. Ainsi les gaz brûlés sont poussés par la pression interne du cylindre, mais dans le même temps, aspirés par cette contre onde de dépression.

On joue sur des allers et retours d'ondes et de contre ondes, pour réduire la longueur totale du pot. En effet, les ondes circulent très vite, alors que la soupape d'échappement passe plus de temps fermée qu'ouverte. Si on se contentait d'une simple alternance onde/contre onde (comme dans les 2-temps), il faudrait un pot très long pour "occuper" l'onde pendant que le moteur accomplit les autres phases du cycle. Option courte donc, mais qui fait passer les calculs dans le domaine salement compliqué de l'acoustique.

Enfin, on remarquera que les pots de mono 4-temps se terminent en cône, destiné à donner de la progressivité à l'effet de l'onde.

Les multicylindres

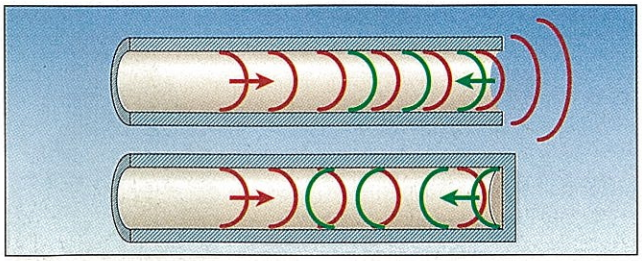
Il y a là deux solutions possibles. Soit un pot par cylindre, ce qui en fait un "multi mono", soit un pot final unique, dans lequel aboutissent les tubes venus de chacun des cylindres. Une option moins encombrante (et moins chère), utilisant l'onde d'un cylindre au profit d'un autre, selon un principe très simple.

Une onde de pression partie d'un cylindre franchit le nœud qui réunit les différents tubes, en générant dans chacun d'eux une contre onde de dépression. C'est-à-dire, le type exact d'onde qu'on cherche pour aider à vider le cylindre. Ne reste donc qu'à caler l'apparition de cette onde favorable en phase avec l'ouverture de la soupape, calage obtenu en cal-



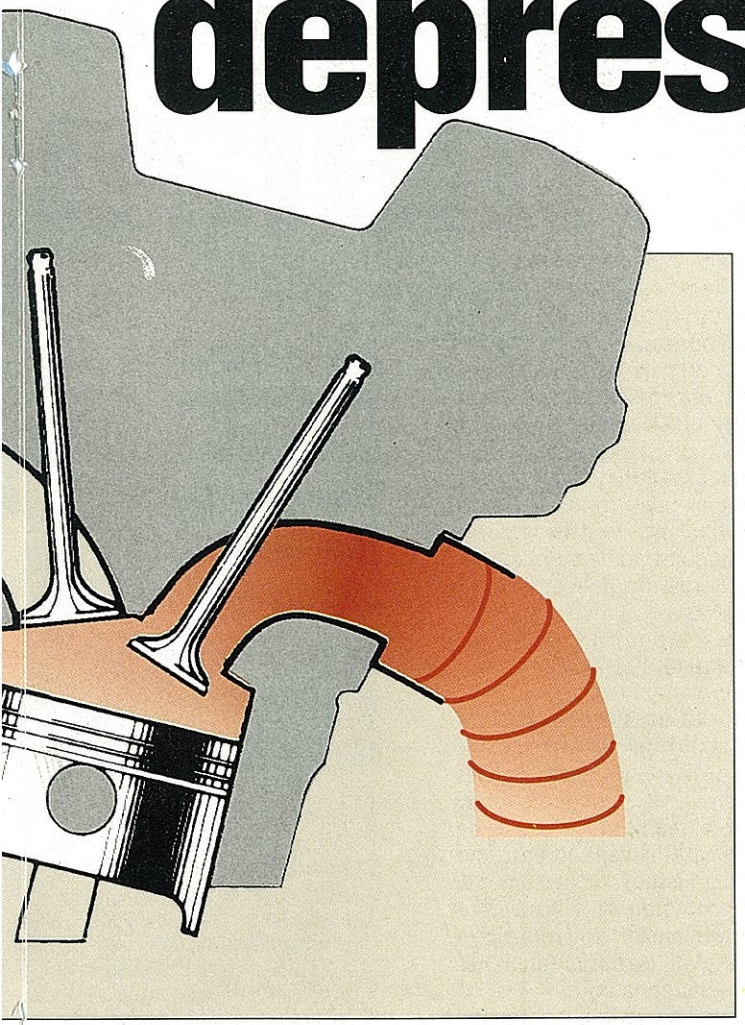
Comment aide

On utilise une onde moment de l'ouver



Face à une embouchure ouverte ou fermée, comme face à un changement de section, les ondes génèrent une contre onde. **En brun** l'onde initiale, **en vert** l'onde réfléchie, d'une intensité plus importante que dans le cas d'un rétrécissement/agrandissement. L'onde réfléchie est de même signe que l'onde initiale face à une fermeture et de signe contraire face à une ouverture.

: du 4-temps, dépression



r à l'extraction des gaz brûlés

e de dépression qui se manifeste pile au t ure de la soupape d'échappement.

culant subtilement la longueur de tube qui sépare la soupape, du noeud réunissant les différents tubes.

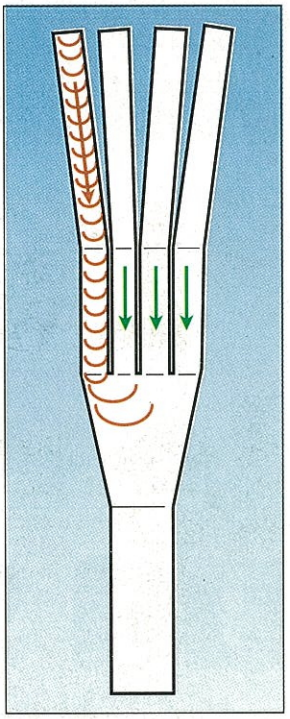
Le bon régime

Comme dans les moteurs 2 temps, l'échappement du 4-temps ne fonctionne parfaitement qu'au régime pour lequel il est accordé. En deçà et au-delà, de ce régime, l'effet recherché est altéré.

On souhaite que l'onde en retour arrive au niveau de la soupape d'échappement au moment de son ouverture. A un régime inférieur à l'optimal, l'onde arrive trop tôt et rebondit sur la soupape, encore fermée. Lorsque la soupape s'ouvre l'onde se trouve plus loin dans le pot et elle perd son efficacité.

A un régime supérieur à l'optimal, l'affaire est plus grave. L'onde en retour bute sur les gaz qui sortent, et non pas sur la soupape. Manque de pot, car on comptait sur elle pour extraire les gaz et non pas pour bouchonner ainsi.

Finalement, on préfère accorder le pot d'échappement en phase avec le régime maxi pour sauver les meubles en dehors du régime pour lequel le pot a été dessiné. ■



Voici de façon simplifiée le principe de l'échappement quatre en un.
En brun l'onde de pression venue d'un cylindre se transforme en dépression dans les autres tubes.
En vert cette dépression facilitera l'extraction suivante des gaz brûlés des autres cylindres.

En résumé

- **Les échappements de 4-temps** utilisent une onde de dépression pour faciliter l'extraction des gaz brûlés au moment de l'ouverture de la soupape d'échappement
- **Les pots de monocylindres** utilisent une résonance faite d'allers et retours d'ondes et de contre ondes.
- **Les multicylindres** utilisent l'onde générée par un cylindre pour faciliter l'extraction des gaz des autres cylindres, en réunissant les tubes de chaque cylindre en un seul pot.
- **A un régime inférieur à l'optimal** prévu par la longueur du pot, l'effet de l'onde de dépression est amoindri.
- **A un régime supérieur à l'optimal,** l'effet est contraire à celui recherché.

3100 4T

Le meilleur de la Technosynthèse !
Existe en 3 viscosités : SAE 10W 40, 20W 40 et 15W 50, avec additif spécial boîte de vitesses.



MOTUL

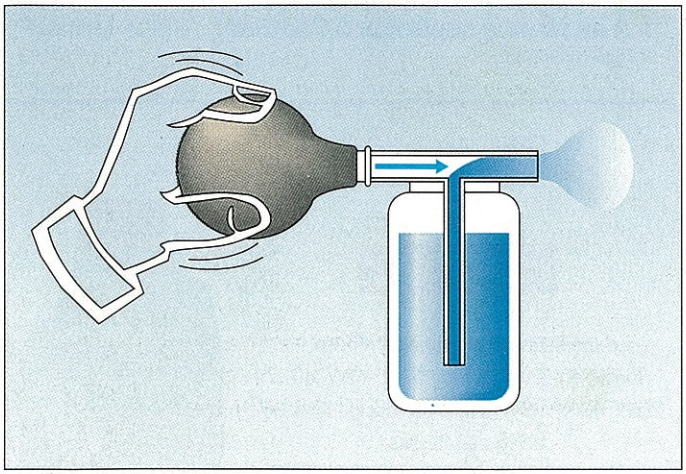
La carburation, un savant mélan

Le plus souvent, un moteur de moto est alimenté par un carburateur. Cet appareil devient de plus en plus raffiné et complexe. Commençons donc par en voir les principes les plus élémentaires.

Par Pépé Burgaleta. Traduction/adaptation Jérôme Eline, illustration Lionel Boloré.

La fonction du carburateur est double. Il doit fournir au moteur de l'air carburé (additionné de carburant) dans une proportion aussi proche que possible de l'idéal (15 à 1), mais aussi permettre au conducteur de contrôler la quantité de ce mélange air/essence fourni au moteur. Ceci afin d'en adapter le régime de rotation en fonction des besoins du moment.

Dans sa définition la plus élémentaire, un carburateur fonctionne comme un vaporisateur de parfum équipé d'une poire. On envoie de l'air lécher le produit (si vous voulez vous parfumer à l'essence, il suffit simplement de remplacer le parfum), avec pour effet de vaporiser les gouttes superficielles qui se mélangent à l'air. La dépression provoquée par le passage de l'air a ainsi tendance à aspirer les gouttes de parfum, ou d'essence.



Un carburateur ressemble à un vaporisateur de parfum ou encore de produits ménagers. La circulation du gaz (ou de l'air) dans la partie supérieure met en dépression le liquide qui se trouve dans le réservoir, en dessous. Il est alors aspiré et finit par se mélanger au gaz.

Le carburateur élémentaire

Il se divise en trois parties principales : une cuve pour stocker une petite quantité de combustible avant qu'il ne soit mélangé à l'air, un système de régulation pour le débit d'air et un système de contrôle de la quantité de carburant qu'il faudra mélanger à l'air.

La cuve de stockage est munie d'un système de robinet automatique très simple, destiné à y maintenir un niveau constant. Ce premier système participe à la continuité de la proportion air/essence ou, en termes plus scientifiques, du mélange carburant/comburant. Il s'agit d'une sorte de bouée nommée "flotteur", qui monte et descend avec le niveau de l'essence contenue dans la cuve. Ce flotteur commande plus ou moins directement une espèce de soupape, le "pointeau", placé à l'endroit ou l'essence pénètre dans la cuve du carburateur. Lorsque le niveau descend, le pointeau, solidaire du flotteur, libère le passage de l'essence vers la cuve. Le

Le principe du

- cable de gaz
- boisseau
- venturi
- aiguille
- puits d'aiguille
- pointeau
- flotteur

Voici donc les éléments de base du carburateur élémentaire.

Le flotteur et le pointeau se chargent de contrôler l'arrivée d'essence en maintenant constant le niveau dans la cuve.

Le cable de gaz est ancré au boisseau et en actionne la levée.

Le boisseau, actionné par le cable de gaz, régule la quantité de gaz admise par le moteur, donc son régime de rotation.

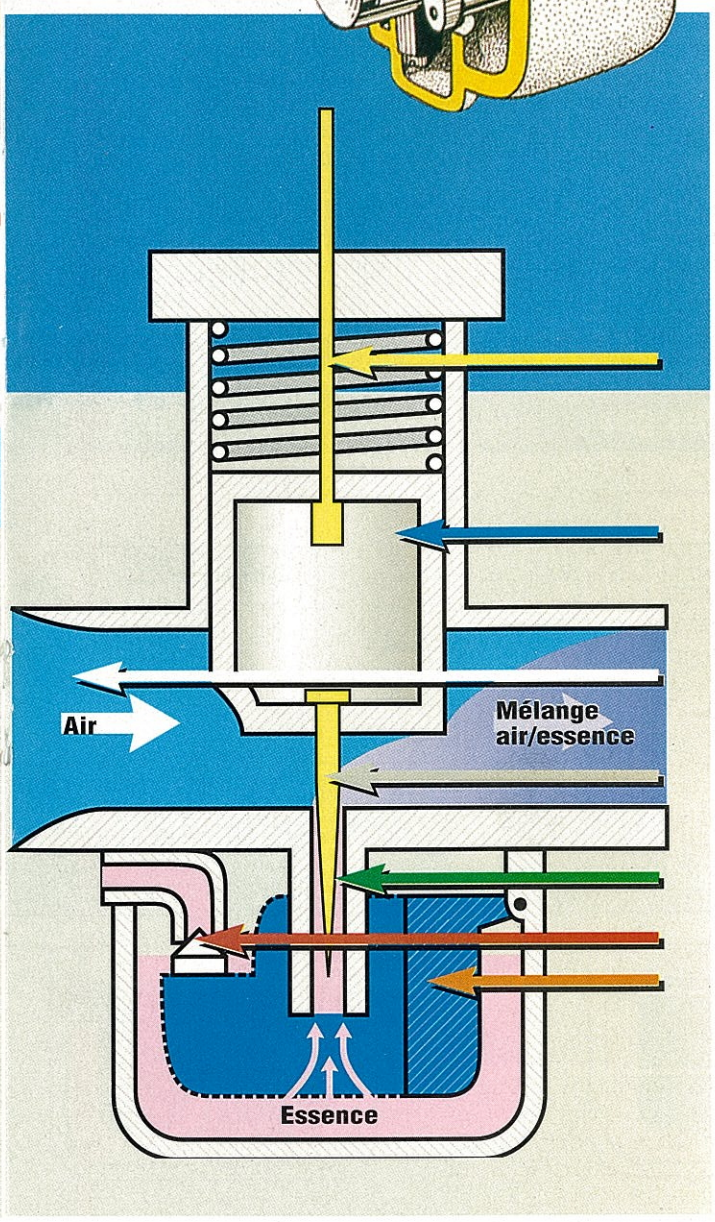
Le venturi, plus ou moins découvert par la levée du boisseau, canalise l'air dans le corps du carburateur.

L'aiguille, de forme conique et solidaire du boisseau, libère, au fil de son déplacement vers le haut, un passage de plus en plus important pour l'essence.

Le puits d'aiguille posséde une forme adaptée à celle de l'aiguille qui coulisse à l'intérieur et ce couple assure un débit correct de l'essence qui va se mélanger à l'air venu du venturi. Ainsi, la proportion air/essence tend-elle à rester constante, quelles que soient les besoins du moteur.

ge

carburateur



niveau remonte, le couple pointeau/flotteur suit toujours, jusqu'à commander la fermeture de l'arrivée d'essence. Ainsi, de montée en descente, au fil des consommations plus ou moins importantes du moteur, le niveau de l'essence dans la cuve reste-t-il constant.

Deuxième fonction de base, contrôler le passage de l'air vers le moteur. On utilise un barrage mobile commandé par le câble de la poignée de gaz, une sorte de guillotine qu'on appelle le "boisseau" et qui coulisse de bas en haut, dans le conduit de passage de l'air.

Dernière fonction de notre carburateur élémentaire : assurer et réguler le passage de l'essence contenue dans la cuve, vers l'air en train de s'engouffrer dans le moteur. C'est le rôle du "puits d'aiguille" en liaison avec "l'aiguille".

Une cheminée située verticalement au-dessus de la cuve assure le passage vers le "venturi", dans lequel l'air aspiré par le moteur crée une dépression qui suce l'essence au passage. La taille du passage d'essence doit pouvoir varier, pour accorder le débit de l'essence à celui de l'air. Fonction assurée par l'aiguille, solidaire du boisseau, qui se déplace de bas en haut, au centre du puit d'aiguille. A mesure qu'elle se soulève, sa forme conique, libère un passage de plus en plus important entre elle et le puit d'aiguille. Les deux variations du débit carburant/comburant sont correspondantes puisque l'aiguille, accrochée sous le boisseau se déplace exactement en même temps et de la même manière que lui.

Ainsi présenté, le carburateur apparaît comme une machine fort simple. En fait, de nombreux systèmes périphériques viennent affiner le dosage à différents moments. Ils feront l'objet des leçons à venir. ■

En résumé

- **Le carburateur** est le système le plus répandu en moto pour fabriquer le mélange gazeux brûlé dans le moteur.
- **Le principe de base du carburateur** consiste à utiliser une dépression pour faire circuler de l'air, et aspirer de l'essence pour l'y mélanger.
- **Les multicylindres** utilisent l'onde générée par un cylindre pour faciliter l'extraction des gaz des autres cylindres, en réunissant les tubes de chaque cylindre en un seul pot.
- **Le carburateur se compose de divers élements,** une cuve d'essence à niveau constant, assortie de divers systèmes de régulation des débits d'air et d'essence.

CONTACT CLEANER

Le must en matière de dégraissant ! Dégraisse instantanément : toutes pièces et systèmes mécaniques ou hydrauliques, et circuits électriques.



MOTUL

Le carburateur e ses réglages de b

Gicleur, aiguille, niveau de cuve et coupe du boisseau, autant d'éléments variables du carburateur que le constructeur se charge de déterminer, en principe une fois pour toutes.

Par Pepe Burgaleta. Traduction/adaptation Jérôme Eline, illustration Lionel Boloré.

Reprenons notre carburateur élémentaire, tel que nous l'avons décrit la semaine passée. Sur les seules fonctions de base présentées, on imagine déjà facilement qu'en étranglant ou en libérant tel passage de l'air ou telpassage de l'essence, on fait varier la proportion du mélange fourni au moteur.

Définissons d'abord deux termes qui reviennent souvent dès qu'on parle carburation : riche ou pauvre. Ils qualifient un écart par rapport au fameux 15 g d'essence pour 1 g d'air, réputé idéal. Dans un mélange trop riche, la quantité d'essence est en excès par rapport à la quantité d'air ; lorsqu'il est trop pauvre, c'est l'air qui est en excès par rapport à l'essence. On enrichit par apport supplémentaire d'essence, ou par la réduction de l'air admis pour une même quantité d'essence.

Le niveau de cuve

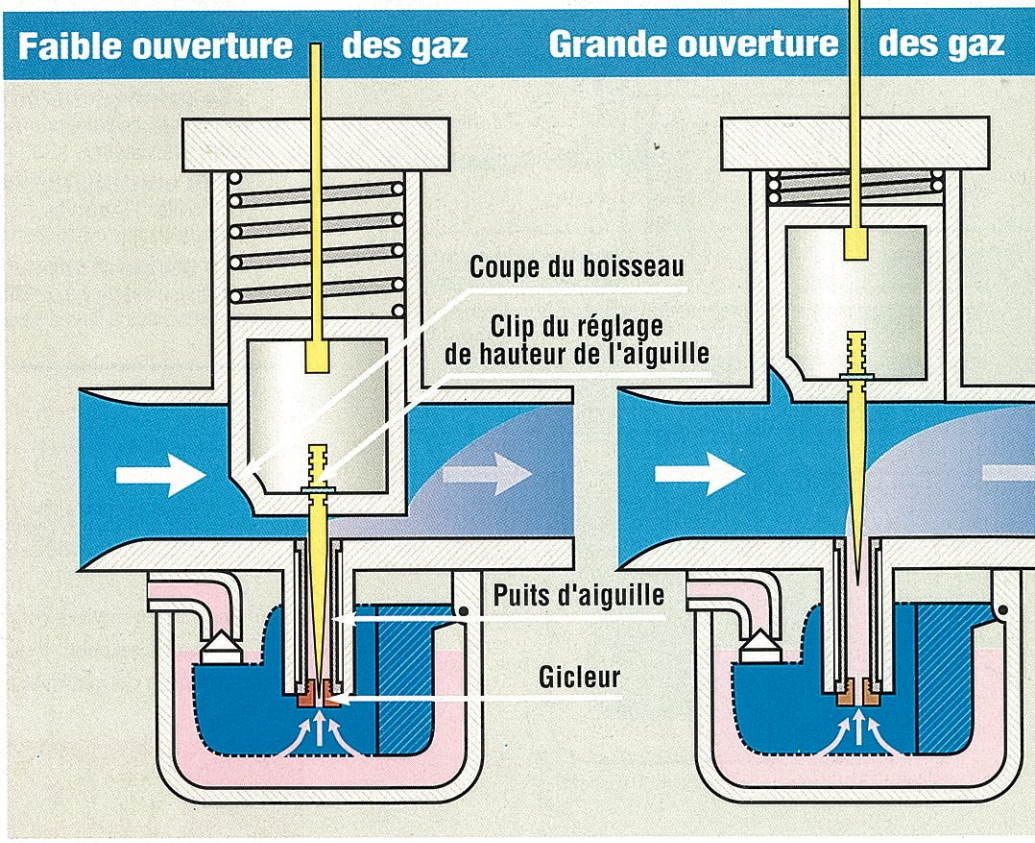
Le niveau de l'essence dans la cuve n'influe pas sur la richesse optimale du mélange. On cherche simplement à ce que le gicleur baigne en permanence dans l'essence de la cuve sans se désamorcer. On ajuste ce niveau en jouant sur la liaison mécanique entre les flotteurs et le pointeau. En tordant des pattes prévues à cet effet, on déclenche une ouverture plus ou moins prématurée du pointeau. En principe, ce réglage n'a pas de raison de bouger. Tout au plus le vérifie-t-on de temps à autre, ou bien lorsqu'on a un énorme doute sur le bon fonctionnement de son carburateur.

Le gicleur principal

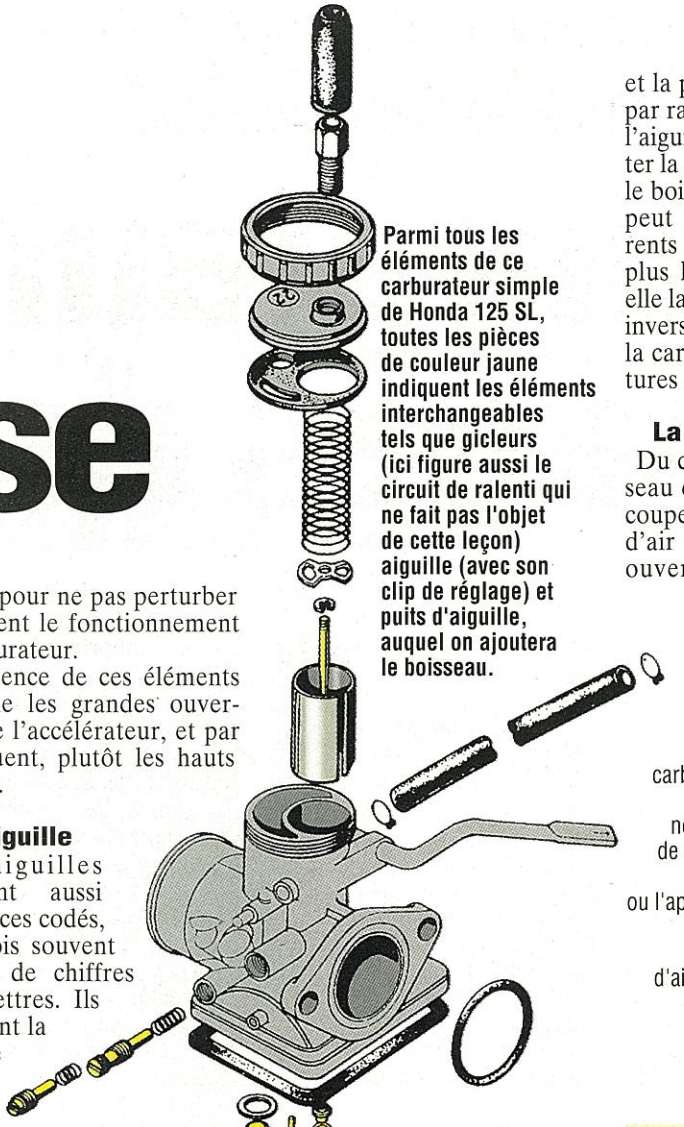
Il prend place sur le puits d'aiguille et commande le débit d'essence. Il s'agit d'une pièce de précision, calibrée et interchangeable. Le fabricant vend des gicleurs de différentes tailles, dont le débit est caractérisé par un chiffre gravé dessus. D'une marque à l'autre, les échelles ne sont pas les mêmes, il faut donc raisonner comparativement à l'intérieur d'une même échelle. Cependant, dans tous les cas, plus le chiffre est gros, plus il traduit un passage calibré important et donc un débit d'essence en rapport. Augmenter la taille du gicleur enrichit la carburation, mais là encore, il s'agit d'un réglage fondamental, auquel on n'a pas de raison de toucher, sauf modification importante comme le gonflage du moteur, le changement du filtre à air ou du pot d'échappement, etc.

Les mêmes remarques s'appliquent au puits d'aiguille, calibré et caractérisé par un chiffre, lui aussi. Le changer est encore plus délicat que le gicleur et réclame de solides connais-

Le contrôle du débit air/essence dans l



t ase



Parmi tous les éléments de ce carburateur simple de Honda 125 SL, toutes les pièces de couleur jaune indiquent les éléments interchangeables tels que gicleurs (ici figure aussi le circuit de ralenti qui ne fait pas l'objet de cette leçon) aiguille (avec son clip de réglage) et puits d'aiguille, auquel on ajoutera le boisseau.

sances, pour ne pas perturber gravement le fonctionnement du carburateur.

L'influence de ces éléments concerne les grandes ouvertures de l'accélérateur, et par conséquent, plutôt les hauts régimes.

L'aiguille

Les aiguilles reçoivent aussi des indices codés, cette fois souvent à base de chiffres et de lettres. Ils qualifient la conicité et la position de cette conicité par rapport à une extrémité de l'aiguille. Il est possible d'ajuster la position de l'aiguille dans le boisseau, grâce à un clip qui peut prendre place sur différents crans. Plus le clip est bas, plus l'aiguille est haute, plus elle laissera passer d'essence et inversement. L'aiguille corrige la carburation dans les ouvertures moyennes.

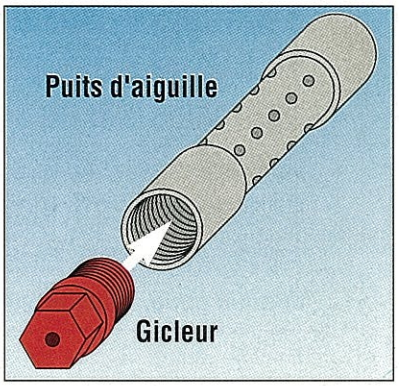
La coupe du boisseau

Du côté entrée d'air, le boisseau est coupé en biais. Cette coupe détermine la quantité d'air admise lors des basses ouvertures, quand on commence à peine à accélérer. Une coupe haute (biais plus marqué) appauvrit la carburation en favorisant une entrée d'air plus importante. Là encore, des boisseaux aux coupes différentes sont commercialisés pour les bricoleurs avertis. Les plus grands chiffres correspondent aux coupes les plus hautes.

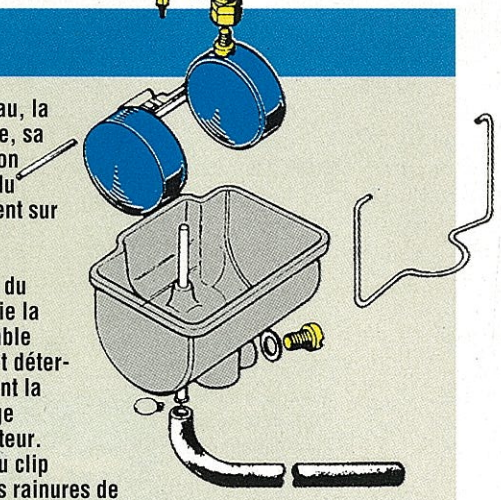
Et ce n'est pas tout

Par ces artifices, nous avons corrigé la carburation aux différentes ouvertures du carburateur. Il nous reste à améliorer le fonctionnement lors d'autres phases particulières. Ce sera le prochain sujet. ■

Gicleur et puits d'aiguille font partie des éléments interchangeables du carburateur. Les réglages de base du constructeur ne nécessitent en général pas de modifications, mais pour enrichir la carburation, ou l'appauvrir, le moyen le plus simple est de changer le gicleur. Quant au puits d'aiguille, mieux vaut ne pas y toucher si l'on est pas metteur au point.



carburateur



la coupe du boisseau, la hauteur de l'aiguille, sa forme et celle de son puits, le diamètre du gicleur enfin, influent sur la proportion air/essence du mélange. Le tirage du câble de gaz modifie la hauteur de l'ensemble boisseau/aiguille et détermine par conséquent la quantité de mélange admise dans le moteur. Selon la position du clip dans les différentes rainures de l'aiguille, on change sa hauteur dans le puits, donc le débit d'essence.

A faible ouverture, le boisseau laisse peu de place au passage d'air. L'espace libre entre l'aiguille et son puits est faible et laisse passer peu d'essence.

A grande ouverture le boisseau, tiré par le câble de gaz, ne présente plus aucun obstacle au passage de l'air. De même, la position haute de l'aiguille libère totalement le passage de l'essence.

En résumé

- **Le carburateur** est muni de différents éléments réglables, permettant de faire varier la proportion du mélange air/essence.
- **Les éléments suivants** gicleur, puits d'aiguille, aiguille et boisseau, peuvent être changés pour modifier la carburation.
- **En modifiant la quantité d'air et d'essence** qui circule dans le carburateur, on change la carburation dans une plage d'ouverture particulière.
- **Une carburation trop riche** implique un mélange dont la proportion d'essence est trop importante par rapport à celle de l'air.
- **Une carburation trop pauvre** implique un mélange dont la proportion d'air est trop importante par rapport à celle de l'essence.

LA GAMME LA PLUS COMPLÈTE DU MARCHÉ MOTO



MOTUL

Le carburateur e ses circuits annex

Du ralenti à la zone rouge, de froid à chaud, le carburateur doit fournir sans discontinuer un mélange aux proportions optimales. Ce ne sont pas les mêmes éléments qui se chargent de toutes ces fonctions.

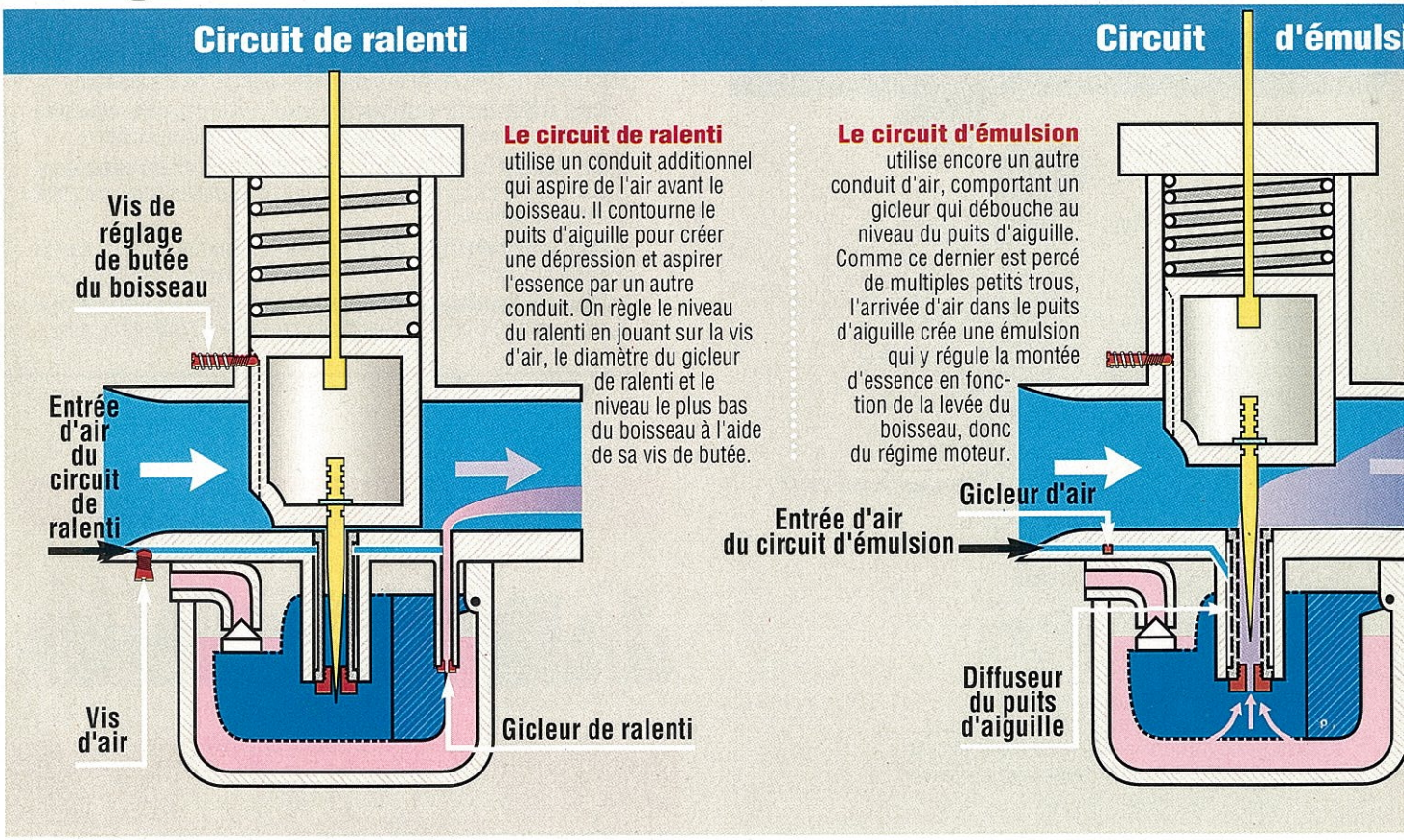
Par Pepe Burgaleta. Traduction/adaptation Jérôme Eline, illustration Lionel Boloré.

Les variations de régime peuvent atteindre parfois une plage de 10 000 tr/mn sur un moteur de moto. D'évidence, le flux d'air qui transite par le carburateur varie lui aussi. Plutôt que de tenter un compromis, qui privilégierait une plage au détriment des autres, on préfère doter le carburateur de quelques circuits supplémentaires qui se chargeront d'adapter le mélange fourni au moteur.

Le ralenti

Boisseau très légèrement levé, le débit d'air est insuffisant pour aspirer l'essence par le circuit normal et son gros gicleur. On crée donc un deuxième circuit qui se compose d'un gicleur particulier beaucoup plus petit, dit "gicleur de ralenti". Pour faciliter la pulvérisation de l'essence au niveau de ce gicleur de ralenti, une conduite percée dans le corps même du carburateur aspire de l'air avant le boisseau, passe au-dessus (ou

La régulation du débit air/essence dans les circuits anne



t
xes

autour selon les cas) du gicleur pour déboucher après le boisseau. Afin d'ajuster la richesse du mélange livré par ce circuit, une vis conique réglable barre plus ou moins l'entrée d'air de ce circuit. Selon le vocabulaire de chacun, cette vis prend le nom de "vis d'air", "vis de richesse" voire "vis de reprise". Une deuxième vis ajuste non pas la qualité du mélange, mais le régime de ralenti, en servant de butée pour la position basse du boisseau.

Le circuit de ralenti a aussi pour fonction de faciliter la transition entre le régime de ralenti et le début de l'accélération. Quand le moteur augmente son régime et que le mélange n'est pas encore optimal au niveau du couple aiguille/puits d'aiguille, c'est lui qui se charge d'apporter le petit supplément d'essence nécessaire. Ainsi, le réglage de la vis d'air permet de corriger un trou à l'accélération.

L'enrichisseur

Plus communément appelé "starter", il est destiné à favoriser le mélange air/essence quand le moteur est froid, moment où les gouttelettes d'essence se pulvérisent mal. Pour contourner ce problème, on augmente la proportion d'essence, d'où le terme d'enrichisseur. Deux techniques permettent d'obtenir ce résultat. La plus simple consiste à diminuer la quantité d'air admise, en barrant partiellement l'entrée du carburateur par un volet. Technique qu'on ne rencontre guère que sur les cyclos, aux carbus proches de notre carburateur élémentaire.

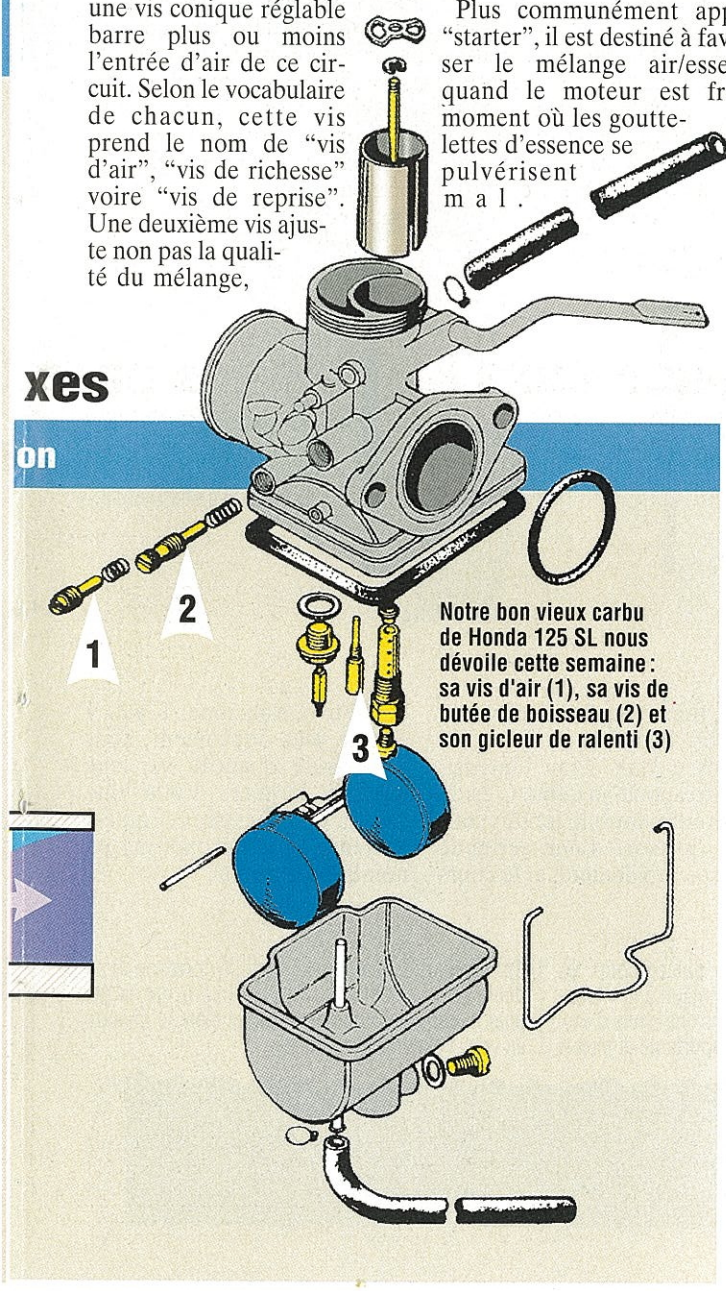
Nos motos et leurs carbus évolués utilisent un circuit supplémentaire, encore une fois avec une conduite d'air qui aspire avant le boisseau, passe par un gicleur spécifique et débouche après le boisseau. Dans ce cas, la commande d'enrichisseur libère un barrage qui ouvre le passage de l'essence à travers ce gicleur de starter, apportant au moteur un important supplément d'essence. D'où la nécessité de faire fonctionner au plus vite son moteur sans le starter, afin de limiter l'encrassement interne.

Le circuit d'émulsion

Dernier de la série, il sert à fournir un mélange le plus homogène possible au long de la montée de l'aiguille dans son puits. En effet, plus le régime augmente et plus l'essence passera facilement, provoquant un enrichissement exagéré. A l'inverse, au début de la levée de l'aiguille, l'essence risque de rester au fond de la cuve, nous mettant cette fois aux prises avec un problème d'appauvrissement. On résout ce double défaut par un apport d'air au niveau du puits d'aiguille. Air qui facilite l'émulsion à bas régime, tout en limitant la montée d'essence lors des fortes aspirations du moteur. Ce circuit se compose lui aussi d'une conduite qui aspire l'air avant le boisseau, mais à la différence des autres, il comporte un gicleur qui limite le passage de l'air. Ce gicleur est généralement scellé dans le corps du carburateur et n'est pas interchangeable. ■

xes

on



Notre bon vieux carbu de Honda 125 SL nous dévoile cette semaine : sa vis d'air (1), sa vis de butée de boisseau (2) et son gicleur de ralenti (3)

En résumé

- **Pour offrir la bonne proportion air/essence** quelles que soient les variations de régime et de température du moteur, on dote le carburateur de circuits annexes qui opèrent des corrections particulières.
- **Au ralenti,** le moteur aspire le mélange à travers un circuit de annexe de ralenti, qui fonctionne presque comme un deuxième carburateur de plus petite taille.
- **A mesure que monte l'aiguille,** un gicleur d'air corrige l'émulsion au niveau du puits d'aiguille.
- **Pour les départs à froid,** on augmente la quantité d'essence dans le mélange, soit par limitation de l'air admis, soit par apport d'essence supplémentaire.

MULTIPROTECT

Huile multi-fonctions indispensable après chaque lavage ! Protège contre la corrosion, repousse l'eau et l'humidité... et dégrippe.



MOTUL

L'allumage, du pour la fée élec

Pour que les gaz explosent, il faut un "détonateur", une étincelle qui mette le feu aux poudres au bon moment. La fée électricité se charge de cette besogne grâce à un système élaboré : l'allumage.

Par Pepe Burgaleta. Traduction/adaptation Jérôme Eline, illustration Lionel Boloré.

L'allumage a pour fonction de produire une étincelle à la bougie, au moment opportun. Pour en arriver là, il faut une source de courant, un générateur (une dynamo, une magnéto, un alternateur) ou un accumulateur (la batterie), puis transformer ce courant pour qu'il ait la capacité de produire une étincelle à la bougie, dans les conditions de pression qui règnent à l'intérieur de la chambre de combustion. Enfin, il faut pouvoir déclancher cette étincelle au moment exact où l'on veut enflammer le mélange air/essence.

Un peu d'électricité

Le courant électrique se caractérise par sa tension et son intensité. Pour comprendre ce qu'est la tension, imaginons une chute d'eau, suivie d'une partie plane. Les gouttes d'eau qui composent le flot sont les électrons qui circulent dans le fil électrique ; la chute prend le rôle du générateur (alternateur, etc.) ou de la batterie qui lance le mouvement.

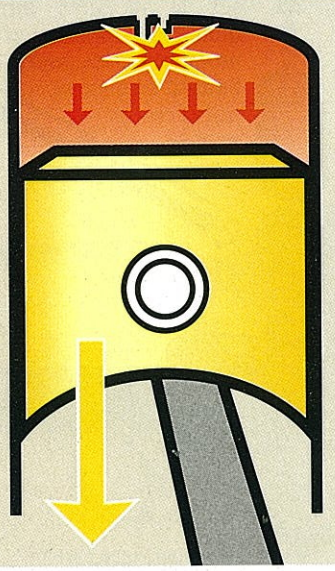
La hauteur de la chute détermine la vitesse de l'eau lorsqu'elle atteint la partie plane. Cette image correspond à la manière dont on crée la tension, tension qui s'exprime en nombre de volts.

Dans le cours d'eau, l'intensité correspond au débit. C'est la différence entre le jet, fin mais fort, qui sort d'une seringue pressée rapidement, et le cours du fleuve Amazone. L'eau y circule plus doucement, mais en grande quantité sur une énorme largeur. Voilà une image qui illustre ce qu'est l'intensité, qu'on exprime en nombre d'ampères.

La différence entre tension et intensité d'un courant électrique peut se représenter par l'image d'un cours d'eau, le courant de la rivière entre les rives symbolisant le flux d'électrons qui parcourt les fils. On peut alors comparer la tension à la vitesse et à la force acquise par le flot dans une chute d'eau. Plus la hauteur de la chute est importante et plus le flot acquiert de vitesse. L'intensité correspond au débit du cours d'eau. Plus le cours est large, plus le débit est important. La tension se mesure en volt et l'intensité en ampère.

Le bon calage de l'avance

Pas assez d'avance



Une avance trop faible fait perdre de la puissance. La poussée sur le piston intervient trop tard, alors que sur son élan, il avait déjà entamé sa descente.

Trop d'avance peut engendrer des conséquences plus graves. En s'opposant à la montée du piston, elle le ronge petit à petit, jusqu'à provoquer sa destruction.

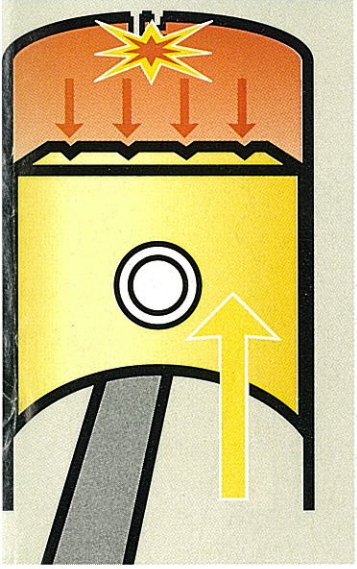
boulot
tricité

à l'allumage



Les électrodes de la bougie sont une rupture dans la continuité du circuit électrique. S'il arrive avec une tension suffisante, le courant saute de l'une à l'autre. Ce saut est marqué par une étincelle qui déclenche l'inflammation des gaz.

Trop d'avance



Imaginons maintenant un obstacle dans le lit de notre cours d'eau. Pour le franchir, l'eau doit bénéficier d'une certaine vitesse. Si le débit est important, mais que la vitesse de l'eau est faible, l'eau ne franchira pas l'obstacle.

Dans l'allumage, l'obstacle dans le cours d'eau correspond à l'espace libre entre les deux électrodes de la bougie, le saut de l'électricité de l'une à l'autre se manifestant par l'étincelle. Elle sera d'autant plus efficace qu'elle sera forte, donc produite sous une grande tension (de l'ordre de 15 000 à 30 000 volts pour en donner une idée). En revanche, la valeur du courant exprimée en ampère n'a pas besoin d'être élevée. C'est pourquoi, prendre les 30000 volts destinés à la bougie dans une main surprend, mais ne tue pas.

L'avance à l'allumage

La combustion n'est pas instantanée. Elle démarre quand les premières molécules sont au contact de l'étincelle et se propage à une vitesse de vingt à cinquante mètres par seconde. La combustion de tous les gaz est très brève, mais ce délai est important en regard de la vitesse du piston, qui ne traîne pas non plus.

Pour tenir compte du temps nécessaire à la combustion, on provoque l'étincelle juste avant l'arrivée du piston au P.M.H. Pendant qu'il parcourt les derniers millimètres de sa course, le mélange brûle, puis commence à se détendre pour pousser sur le piston, pile lorsqu'il est au P.M.H. Trop précoce, la poussée ralentit la montée du piston; trop tardive, elle perd de l'efficacité. Le temps mis par le piston pour parcourir les quelques millimètres d'avance à l'allumage diminue avec le régime du moteur puisque la vitesse du piston augmente. Il faut donc augmenter l'avance à l'allumage avec le régime, pour que la poussée se produise toujours à partir du P.M.H. Des correcteurs, mécaniques ou électroniques, intégrés au système d'allumage s'en chargent.

Comme rien n'est simple, la vitesse de propagation du front de flamme est variable. Elle dépend de la turbulence animant les gaz, laquelle augmente avec le régime, mais aussi de la proportion air/essence du mélange, qui dépend de l'ouverture des gaz par rapport au régime du moteur, etc. Le système déterminera une avance simplement fixe, ou la fera varier selon un nombre de paramètres de plus en plus grand, jusqu'à des unités très sophistiquées. ■

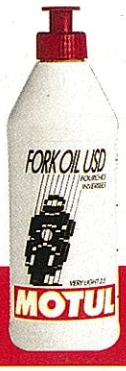
En résumé

- **La tension électrique** exprime la force du courant et se mesure en volt.
- **L'intensité électrique** exprime la puissance et le débit du courant, elle se mesure en ampère.
- **L'étincelle produite à la bougie** provoque la combustion du mélange air/essence. Elle nécessite une tension élevée, au moins une dizaine de milliers de volts, mais se suffit d'une intensité relativement faible.
- **L'avance à l'allumage** permet de déclencher l'étincelle au moment opportun pour que la combustion agisse lorsque le piston est au PMH. Le système d'allumage gère cette avance et la fait varier en fonction du régime, voire de l'ouverture de l'accélérateur ou de la richesse du mélange air/essence.

FORK OIL



Une gamme d'huiles de fourches qui met la technologie course à la portée du quotidien !
Existe pour tous types de fourches.
USD Very Light, USD Light, Medium et Heavy.

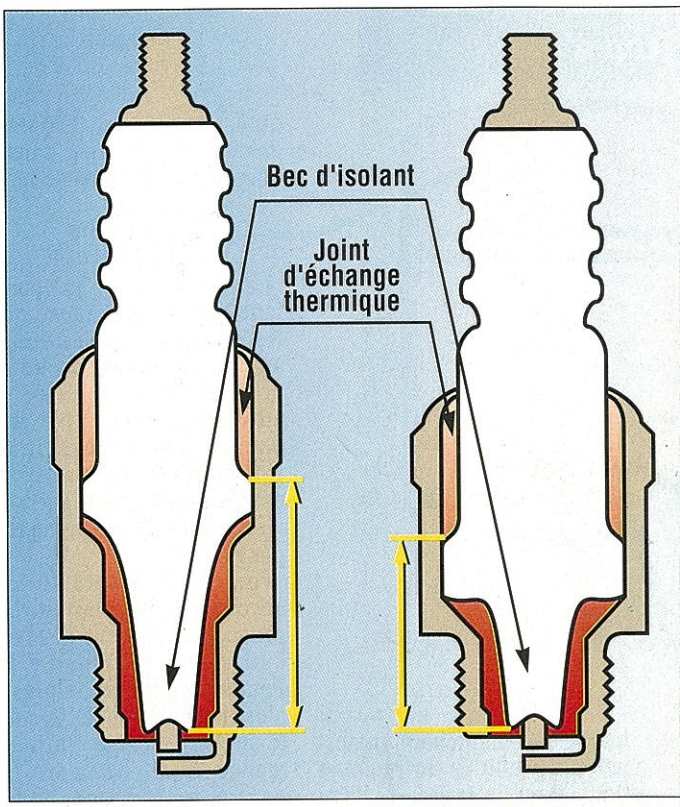


MOTUL

La bougie, cell qui fait tout pét

Dernière pièce dans la chaîne des éléments composant l'allumage, la bougie est aussi la plus connue. Raison nécessaire et suffisante pour lui faire débuter notre revue de détails.

Par Pepe Burgaleta. Traduction/adaptation Jérôme Eline, illustration Lionel Boloré.



Bougie "chaude" la longueur du bec d'isolant et la distance qui le sépare du joint thermique retardent l'évacuation des calories vers la culasse

Bougie "froide" la taille réduit du bec d'isolant et sa proximité du joint thermique dissipent rapidem les calories d'un moteur performa

On l'a dit la semaine dernière : la bougie comporte deux électrodes qui constituent un saut pour le courant électrique qu'on y envoie. En sautant, les électrons créent une étincelle qui enflamme la masse gazeuse. Simple de fonctionnement en apparence, la bougie n'en demeure pas moins un organe incontournable que la technologie a sophistiqué au fil du temps.

Structure

Son dessin général n'a guère changé depuis son invention, qui remonte à la deuxième moitié du 19e siècle. Son principe de base n'a, lui non plus, pas évolué.

La bougie est toujours principalement formée d'une partie allongée en porcelaine, l'isolant, au sein de laquelle prend place une partie métallique nommée électrode centrale, par laquelle passe le courant électrique géré et envoyé par le système d'allumage.

La structure métallique, qui permet de fixer la bougie au moteur, est la deuxième partie apparente de cet organe. Cette zone qui est vissée dans la culasse reçoit la seconde électrode, dite de masse. En effet, plutôt que d'installer un second fil électrique qui partirait de la bougie pour aller à la masse, on utilise la masse métallique du moteur, et de la moto en général, pour fermer le circuit d'allumage.

Enfin, finissons ce tour du propriétaire par la troisième partie visible de la bougie : le joint, situé en haut de la partie filetée, et la borne de connexion, cette fois tout au sommet de la bougie.

L'isolant, la partie en porcelaine donc, constitue une des zones les plus sensibles de la bougie. En effet, il doit assurer sa fonction dans des conditions très délicates. Lorsque la bougie est vissée dans la culasse, une de ses extrémités, invisible, baigne dans la chambre de combustion, devant alors faire face à des températures et des pressions élevées, auxquelles il faut ajouter les attaques chimiques dues aux produits de la combustion d'essence.

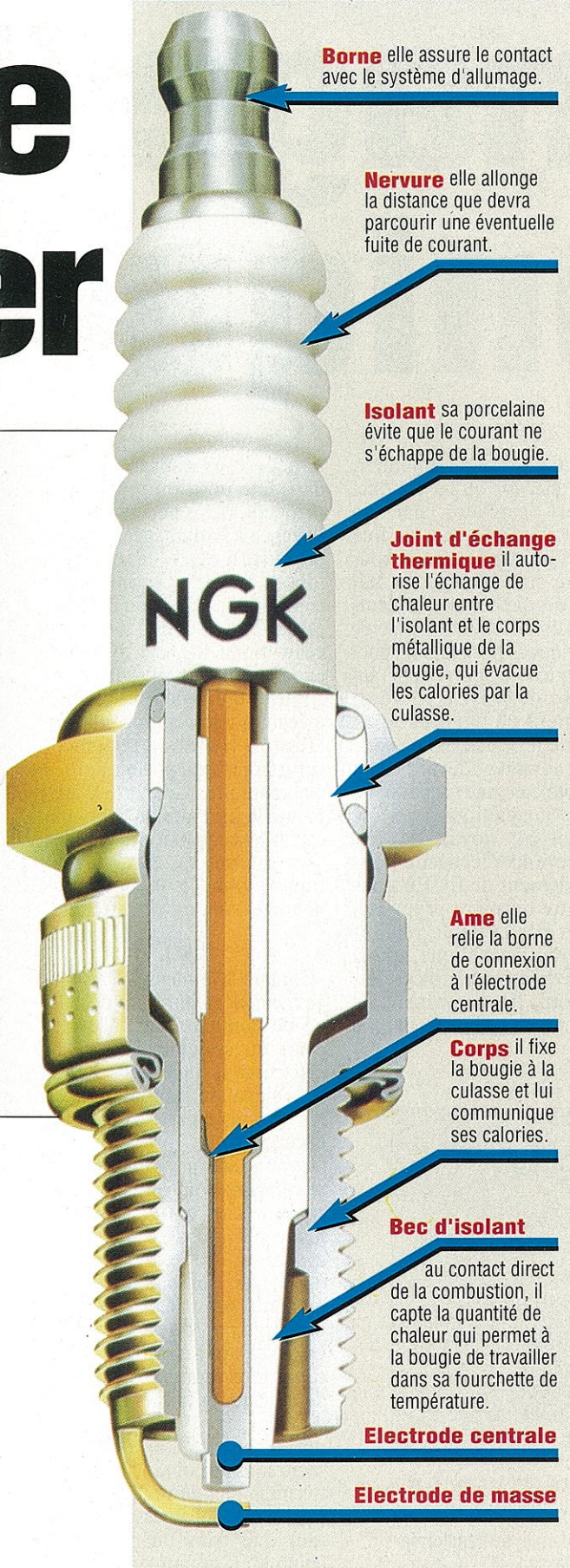
Les deux électrodes, elles, font appel à différents métaux nobles, l'acier s'avérant suffisant pour aller de la borne à l'électrode centrale et constituer la carcasse métallique du filetage. Enfin, un cément assure la séparation entre la porcelaine de l'isolant et la carcasse métallique, jusqu'à un endroit particulier qui met en contact ces deux parties : le joint d'échange thermique.

Chaude ou froide

De la distance entre l'électrode et ce joint dépend le "degré thermique" de la bougie, qui détermine le moteur, selon ses performances, auquel elle est

Au cœur de la bougie

Plus qu'un écrin de porcelaine



destinée. En fonctionnement normal, le bec d'isolant capte et évacue une quantité de calories, telle que sa température se maintienne entre 500 et 800° environ. Cette température a pour but de griller les résidus de combustion qui pourraient absorber ou dévier l'étincelle. Pour entretenir cet effet, que l'on nomme "auto-nettoyant", la température de la bougie doit se maintenir dans une fourchette précise.

Selon les moteurs, la quantité de calories à évacuer varie. Sur un moteur peu poussé, cette quantité de calories à évacuer est faible, la bougie ayant alors besoin d'un bec d'isolant très long, éloigné du joint d'échange thermique. La transmission de la chaleur sera lente, maintenant le bec d'isolant à une température plus élevée. Cette bougie sera classée comme "chaude".

A l'inverse, un moteur de forte puissance produira beaucoup plus de calories, que la bougie devra évacuer. Grâce à un bec d'isolant très court, proche du joint d'échange thermique, les calories seront rapidement au contact des masses métalliques qui les dissiperont.

Une bougie trop "chaude" pour le moteur dépassera la barre des 800°, créant des points d'incandescence qui allumeront les gaz avant l'étincelle, avec les conséquences possibles de ce mauvais fonctionnement, comme une destruction du piston. Dans d'autres cas, le moteur peut tourner contact coupé, en "auto-allumage", en raison de la persistance d'un point incandescent au bout de la bougie, et qui n'arriverait pas à refroidir.

Pour sa part, une bougie trop froide n'atteint pas la température d'auto-nettoyage, s'encrasse rapidement et ne produit plus d'étincelle. Moins grave quant à ses conséquences sur le moteur, mais qui le laissera tout de même muet. ■

En résumé

- **La bougie** est la pièce chargée de produire l'étincelle. Elle est constituée de deux électrodes métalliques, séparées par un isolant en alumine.
- **L'isolant** a pour but de refroidir l'électrode centrale. Sa longueur détermine le degré thermique de la bougie.
- **Une bougie "froide"** à la faculté de dissiper rapidement beaucoup de calories. On la destine aux moteurs poussés.
- **Une bougie "chaude"** dissipe peu de calories pour conserver sa température optimale de fonctionnement. On la destine aux moteurs calmes.

MULTIPROTECT

Huile multi-fonctions indispensable après chaque lavage ! Protège contre la corrosion, repousse l'eau et l'humidité... et dégrippe.



MOTUL

L'allumage électronique

Plus puissant, plus fiable, plus précis, indéréglable mais plus cher que les vis platinées, l'allumage électronique est en passe de devenir quasi universel.

Par Pepe Burgaleta. Traduction/adaptation Jérôme Eline, illustration Lionel Boloré.

Simples et économiques, les vis platinées ont contre elles de se dérégler et de s'user trop rapidement. En outre, l'inertie de ce système mécanique lui fait perdre assez rapidement les pédales quand le régime moteur augmente.

Dépourvu de tout contact mécanique, l'allumage électronique ignore ces problèmes.

Globalement, il se divise en deux parties. La première remplace les vis platinées, et donne l'ordre d'allumage. La seconde est associée à la bobine, dans laquelle elle se charge de faire naître un courant haute tension, qui se transformera en étincelle à la bougie.

Le magnétisme

Cette propriété physique revient régulièrement dans le fonctionnement des systèmes électriques. Pour simplifier, disons que dès qu'un conducteur est parcouru par un courant, il déclenche un flux magnétique. Inversement, pour produire un courant, on fait appel à des aimants, permanents ou non, dont le mouvement crée une variation de champ magnétique qui, récupérée par un bobinage, devient électricité.

Enroulons un fil autour d'un noyau de fer doux. Le passage d'un aimant devant cet ensemble crée une variation de champ magnétique qui se transmet au noyau de fer, pour devenir électricité dans l'enroulement de fil. En utilisant cette dernière propriété, on peut par exemple réaliser un capteur magnétique, apte à remplacer les vis platinées. Sur une moto, le mouvement de l'aimant est généré par le moteur. Cet aimant est calé dans une position précise qui respecte les nécessités de l'avance à l'allumage.

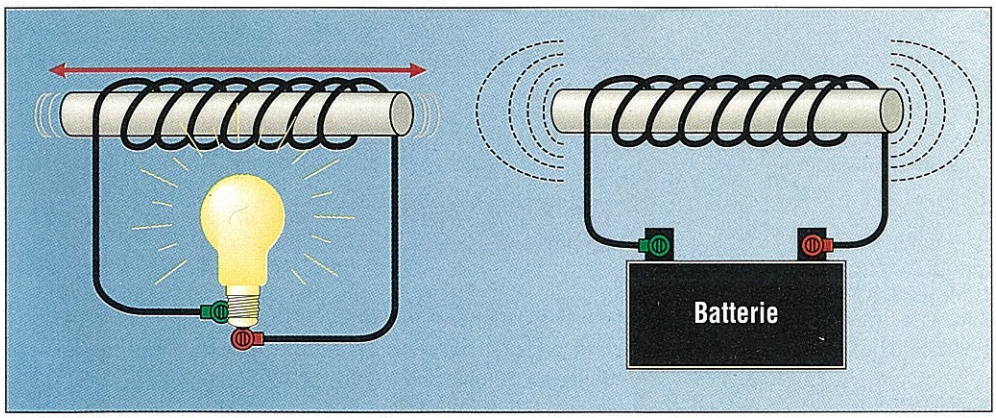
D'autres types de capteurs jouent sur une variation de champ à l'intérieur du capteur, ou sur l'interruption d'un faisceau lumineux. Ces systèmes engendrent un bref signal électrique, absent de tout contact mécanique susceptible d'usure.

Reste à traiter correctement cette impulsion par un boîtier électronique. Ce dernier alimente le primaire de la bobine qui, là encore par une circulation interne de flux magnétique, donne à la bougie la haute tension qu'elle attend.

C.D.I.

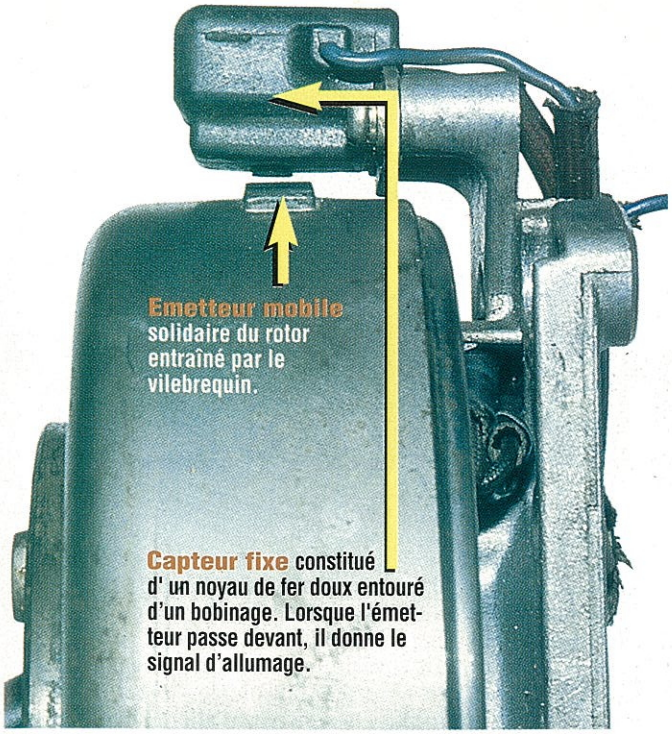
Comme *"Condenser Discharge Ignition"*, allumage à décharge de condensateur. C'est le cœur du système d'allumage électronique, la partie qui traite le signal du capteur et lance les "gentils électrons" dans la bobine.

Comme son nom l'indique, il se compose d'un condensateur, sorte de mini batterie électronique, qui se charge entre deux ordres du capteur, pour se décharger brusquement le moment venu. Cet ordre de décharge part du capteur pour être traité par un thyristor. Ce super interrupteur est capable de détecter la faible impulsion du capteur d'un côté, pour déclencher de l'autre le feu sacré sous un courant comparativement plus élevé. Des diodes (qui ne laissent passer le courant que dans un seul sens, comme un panneau "sens



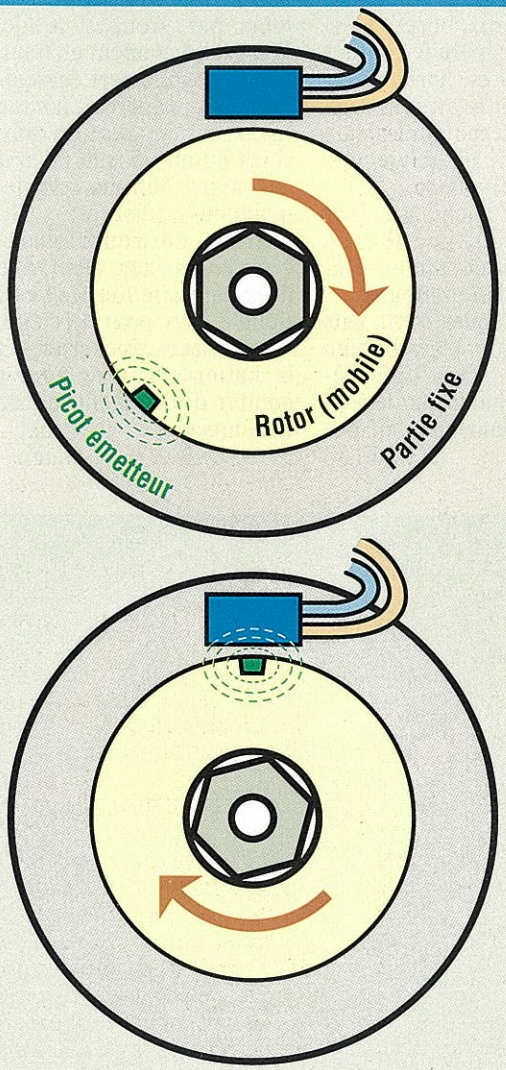
Courant électrique et flux magnétique sont intimement liés

Ainsi le déplacement d'un aimant au milieu d'un fil enroulé en bobinage y déclenche un courant électrique. A l'inverse, si l'on fait passer un courant électrique dans un bobinage enroulé autour d'un barreau de fer doux (non aimanté), ce dernier se transforme en aimant tant que le courant passe.



Le capteur élimine les réglages

Il ne s'use pas, même lorsqu'il fonctionne



Le capteur électromagnétique fait plus que remplacer les vis platinées. Plus précis et exempt de tout contact mécanique, il ne requiert aucun réglage puisqu'il ne s'use pas en travaillant.

unique") canalisent la circulation du courant pour qu'il passe du générateur au condensateur, puis le moment venu du condensateur à la bobine.

En associant à ce circuit de décharge du condensateur un mini ordinateur, on peut prendre en compte de nombreux paramètres pour déterminer une avance optimale, variable selon des circonstances prédéterminées. Ainsi, les unités les plus sophistiquées en circulation mesurent-elles des informations telles que : régime moteur, ouverture de l'accélérateur, pression atmosphérique, température moteur, détection de cliquetis (lorsque l'avance est trop forte), etc. Toutes informations nécessaires pour la gestion d'une injection électronique performante, alimentation qui a le vent en poupe ces derniers temps. ■

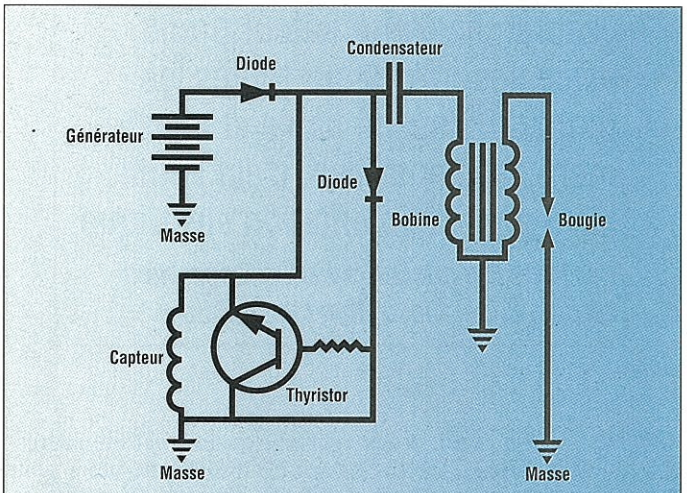


Schéma de principe d'un allumage électronique
La pièce clé est le thyristor qui, sous l'impulsion du capteur, commande la décharge du condensateur dans le primaire de la bobine.

En résumé

- **L'allumage électronique** supprime les contacts mécaniques directs des vis platinées, et n'est donc pas sujet à l'usure.
- **Le capteur** de l'allumage électronique donne l'ordre d'allumage au circuit de puissance qui alimente la bobine.
- **La décharge brutale du condensateur** dans le primaire de la bobine engendre un courant haute tension dans le secondaire.
- **L'avance à l'allumage** est gérée par un calculateur intercalé entre le capteur et le condensateur.

LA GAMME LA PLUS COMPLÈTE DU MARCHÉ MOTO



MOTUL

L'alternateur

Sous forme de volant magnétique, ou auto-excité et séparé du vilebrequin, l'alternateur prend place désormais sur toutes les motos. Puissant, fiable et quasiment sans entretien, c'est l'outil idéal pour l'alimentation électrique.

Par Pepe Burgaleta. Traduction/adaptation Jérôme Eline, illustration Lionel Boloré.

Comme son nom l'indique, l'alternateur fournit du courant alternatif qui convient parfaitement pour une majorité de fonctions, comme l'allumage et l'éclairage.

Seule la batterie, qui ne peut stocker que du courant continu, fait preuve d'exigences particulières. La "cellule redresseuse" transforme alors pour elle le courant alternatif en courant continu.

Le principe

Les fidèles, présents les semaines précédentes, se souviennent comment un aimant, en mouvement devant une bobine de fil, y induit un courant. Décrite la semaine dernière, la dynamo produisait d'après ce principe un courant également alternatif, mais redressé au niveau du collecteur.

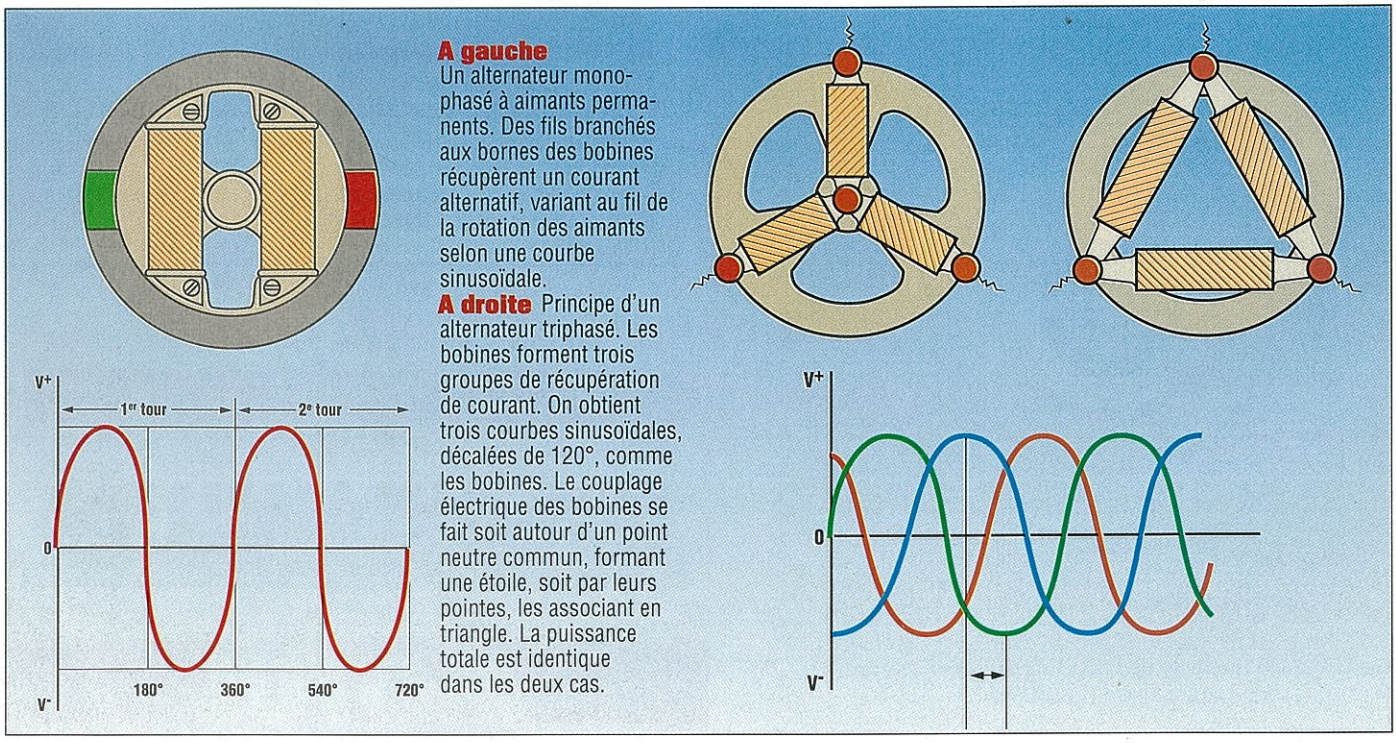
Outre le type de courant produit, l'alternateur se différencie de la dynamo dans son fonctionnement. Ce sont les aimants, ou les électroaimants dans certains cas, qui tournent, les bobines aux bornes desquelles on récupère le courant restant fixes. Les charbons disparaissent. Autre avantage qui a imposé l'alternateur : même sur le ralenti, il délivre une puissance intéressante.

Le nombre de bobines et leur disposition ainsi que le type d'aimants différencient plusieurs types d'alternateurs.

Les plus simples sont dits "monophasés". Une bobine fixe, nommée "stator", récupère le courant induit par le passage des aimants. Au fil des rapprochements/éloignements des aimants par rapport aux bobines, le courant généré varie selon une courbe de forme sinusoïdale.

Dans ce type d'alternateur, les bobines se trouvent à l'intérieur d'un volant, le "rotor" qui est entraîné par le moteur. Le volant porte des aimants permanents sur sa périphérie, toujours par groupes de deux. Monté directement en bout de vilebrequin, il sert également de volant d'inertie. Toutefois sa largeur pénalise les dimensions du moteur, le réservant aux moteurs étroits, comme les mono ou bicylindres.

Parfois, on trouve plusieurs bobines, chacune étant spécialisée dans une fonction essentielle : une pour l'éclairage, dans certains cas en passant par la batterie, l'autre pour alimenter directement le circuit d'allumage.



A gauche Un alternateur monophasé à aimants permanents. Des fils branchés aux bornes des bobines récupèrent un courant alternatif, variant au fil de la rotation des aimants selon une courbe sinusoïdale.

A droite Principe d'un alternateur triphasé. Les bobines forment trois groupes de récupération de courant. On obtient trois courbes sinusoïdales, décalées de 120°, comme les bobines. Le couplage électrique des bobines se fait soit autour d'un point neutre commun, formant une étoile, soit par leurs pointes, les associant en triangle. La puissance totale est identique dans les deux cas.

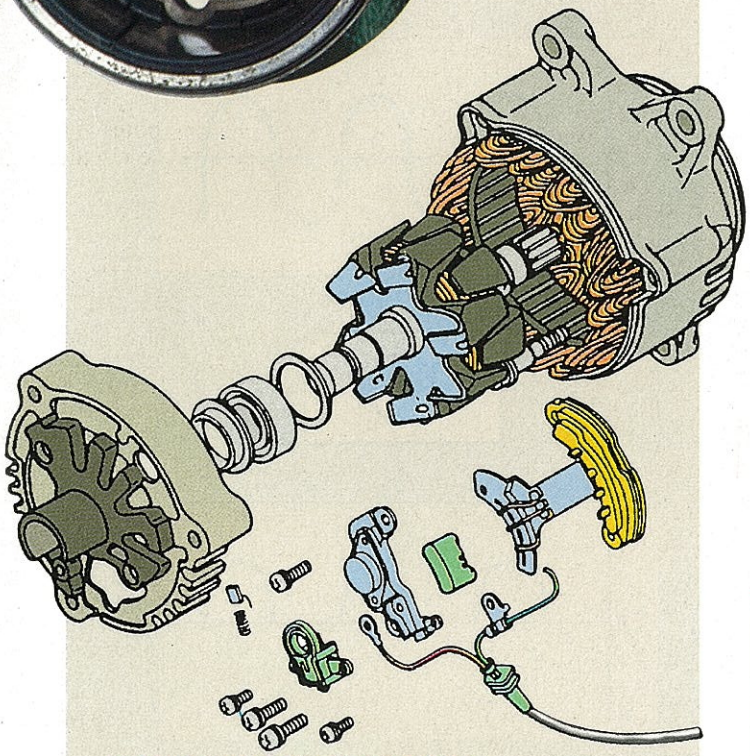
Les alternateurs triphasés

Puissance constante dans la production



Alternateur triphasé à aimants permanents, montés sur un rotor externe directement en bout de vilebrequin. Les quinze bobines de taille identique fournissent les trois phases du courant de charge de batterie. Les trois autres, au bas de la photo, alimentent directement le boîtier d'allumage. Ce type d'alternateur se rencontre fréquemment sur les gros monos.





Alternateur triphasé monobloc Cet alternateur de Kawasaki ZZR 1100 utilise des électroaimants disposés dans un rotor interne. Le courant d'excitation lui est fourni par des charbons, qui frottent continuellement sur deux pistes collectrices. D'un encombrement réduit, il peut se monter derrière le vilebrequin, pour gagner en compacité globale du moteur et surtout en largeur du bloc.

Les alternateurs triphasés

Ce type d'alternateurs génère trois courbes sinusoïdales, décalées de 120°, comme le sont les bobines qui les produisent. La puissance moyenne s'en trouve rehaussée et plus constante.

Concrètement, on obtient ces trois courbes en associant les bobines par multiples de trois, de façon à utiliser toute la place disponible dans le stator. A l'intérieur d'un groupe, les bobines sont reliées en série au niveau du stator et participent ensemble à la création d'une sinusoïde. Chaque groupe de deux à huit bobines est ensuite lié aux autres groupes, soit autour d'un point fixe commun, en "étoile", soit deux à deux par les pointes, en "triangle". Le type de disposition retenu n'a pas d'influence sur la puissance totale produite.

Pour réduire la largeur du moteur, en particulier sur les quatre cylindres en ligne, on dispose un alternateur monobloc derrière les cylindres. Cet alternateur contient un rotor interne, muni d'électroaimants pour fournir le flux magnétique.

L'alimentation électrique nécessaire aux électroaimants est fournie par la batterie et communiquée aux bobines du rotor par des charbons,. Ces derniers sont peu sensibles à l'usure car dans ce type de générateur, ils sont parcourus par un courant faible. Un "régulateur" contrôle ce courant d'excitation pour réduire l'intensité du flux magnétique au fil de la montée en régime. Faute de cette diminution, la tension monterait alors au-delà des 14 volts réputés fatidiques pour la batterie.

Les alternateurs à aimants permanents sont associés à un régulateur plus simple. Tout ce qui dépasse 14 volts est alors transformé en chaleur par la masse de la moto. Dommage en ces temps de crise. ■

En résumé

- **L'alternateur** utilise la rotation d'aimants devant des bobines pour fournir du courant alternatif, récupéré directement aux bornes des bobines.
- **Les alternateurs sont de divers types,** mono ou triphasés ; à aimants permanents ou à électroaimants excités électriquement ; à rotor interne ou externe.
- **Une cellule redresseuse** transforme le courant alternatif en continu pour pouvoir recharger la batterie.
- **Un régulateur** contrôle la tension fournie au circuit électrique de la moto.

SILICONE CLEAN

Ravive plastiques, peintures et vernis !
Dépose un film protecteur longue durée
sec et brillant.



MOTUL

La batterie

Comme la bougie, la batterie est l'organe électrique d'une moto le plus connu. Sans doute parce que cet instrument de stockage de l'électricité s'use et demande parfois son remplacement, comme la bougie.

Par Pepe Burgaleta. Traduction/adaptation Jérôme Eline, illustration Lionel Boloré.

La batterie est un petit complexe chimique qui ne fonctionne qu'en courant continu. Ce dernier est caractérisé par deux pôles bien identifiés : un positif et un négatif. Or l'alternateur ne produit que du courant alternatif, qui varie en permanence entre le plus et le moins. C'est pourquoi on le représente par une courbe en forme de sinusoïde. Il convient donc de transformer, on dit "redresser", ce courant alternatif dès lors qu'il alimente la batterie.

Comment redresser le courant alternatif

Cette opération est obtenue par un composant électronique particulier : la diode, qui possède la particularité de ne laisser passer le courant que dans un seul sens. En y envoyant un courant alternatif, on ne récupère en sortie de diode que le sens positif de ce courant. Sur la courbe sinusoïde qui représente le courant alternatif, cette fraction positive du courant correspond à la partie supérieure. Celle-ci est déjà suffisante pour recharger la batterie.

Pour récupérer les deux moitiés de l'alternance, on monte plusieurs diodes connectées en "pont", entre l'alternateur et les bornes "plus" et "moins" de la batterie.

Un peu d'électrochimie

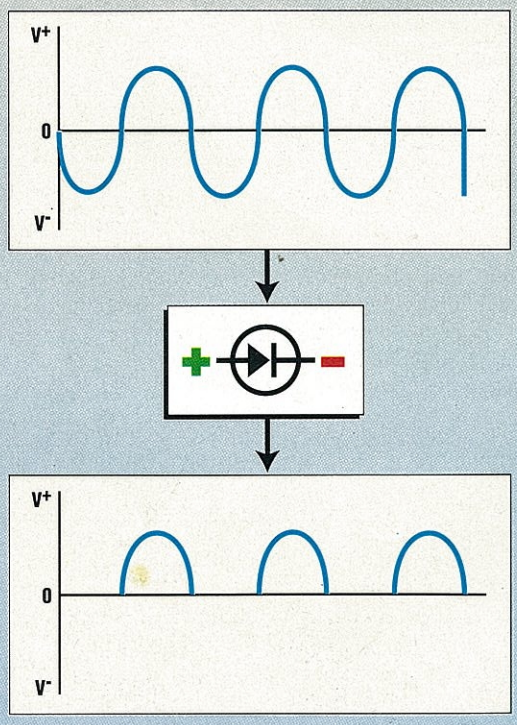
Une batterie classique se compose de plaques positives en peroxyde de plomb (du plomb et de l'oxygène au sens chimique) et de plaques négatives en plomb. Le tout baigne dans de l'acide sulfurique dilué à 28° Baumé (de l'eau et du soufre avec une répartition particulière des différents atomes, un acide qui brûle fortement l'épiderme, les tissus, etc.) qui assure le contact entre les plaques. Dans nos batteries, deux plaques fournissent environ 2,2 volts. En les branchant en "série", une plaque positive reliée à la négative d'à côté, on additionne les tensions. Par exemple, six groupes de plaques ainsi connecteés fourniront 13,2 volts. Un branchement en "parallèle" (le plus au plus d'à côté, idem pour les moins) augmente la capacité de l'ensemble, sans modifier la tension.

Le fonctionnement même de la batterie utilise la capacité de l'énergie électrique à se retrouver sous forme chimique. Cette réaction est réversible dans une

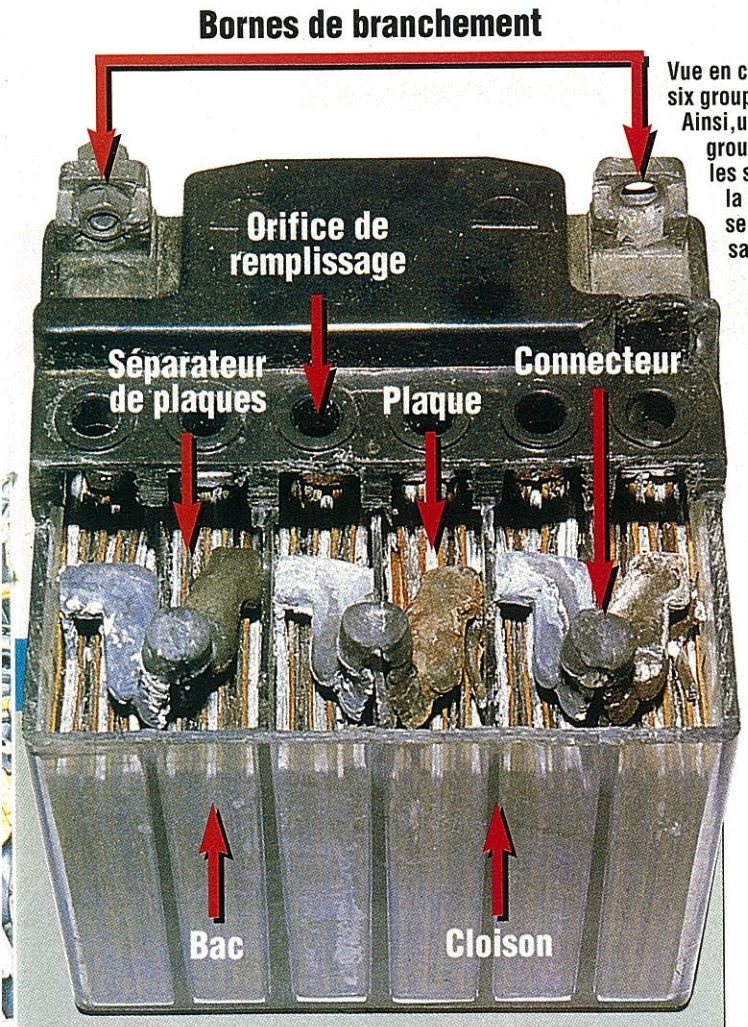
Le réservoir d'électricité

La diode assure le plein en continu

L' alternateur fournit un courant qui alterne constamment et de manière régulière entre une valeur positive et son contraire négatif. La ou les diodes se chargent de redresser ce courant alternatif en courant continu, impératif pour alimenter la batterie et maintenir sa charge constante.



Cellule redresseuse à une diode Un alternateur monophasé fournit un courant qui correspond à la sinusoïde du haut. En passant par une seule diode, on ne récupère que la moitié des alternances pour recharger la batterie. Cette "demi-portion" se révèle cependant suffisante pour assurer la charge de la batterie.



Vue en coupe d'une batterie de 12 volts. Des cloisons séparent six groupes de plaques, fournissant chacun environ 2,2 volts. Ainsi,une batterie chargée à bloc fournit entre 13 et 14 V. Les groupes sont indépendants les uns des autres, ce qui explique les six bouchons de contrôle/remplissage. Lors de la charge, la batterie chauffe et le liquide s'évapore. Le complément se fait exclusivement avec de l'eau distillée. Les composants de l'acide sont rentrés au départ une fois pour toutes.

batterie : une certaine transformation entre plaques et liquide se fait sous un apport de courant, ce dernier étant restitué par la réaction inverse.

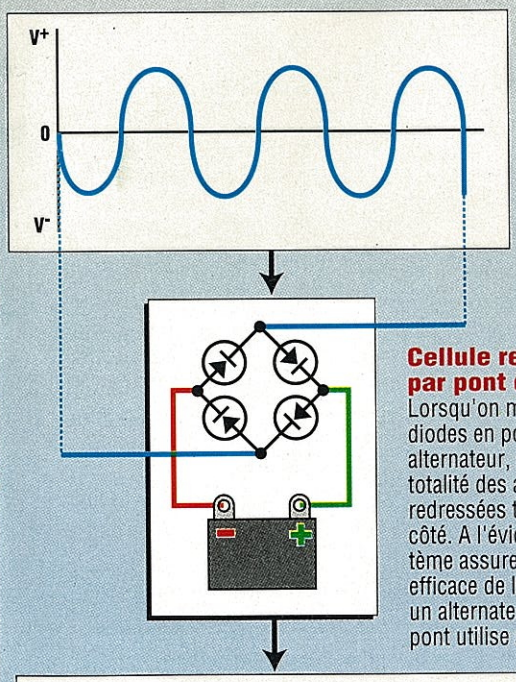
Dans le cas qui nous intéresse, on dira assez grossièrement que c'est le soufre contenu dans le liquide qui va se coller ou se décoller des plaques. Inutile de s'assommer avec les sombres histoires d'ions qui se promènent vers les plaques positives et négatives, en fonction de leurs affinités. Retenons simplement qu'une batterie bien chargée présente un liquide à la concentration maximale en soufre. A l'inverse, la consommation du courant envoie tout le soufre sur les plaques. Le liquide perd de sa concentration pour devenir de l'eau (évitez de la boire) une fois la batterie à plat.

Caractéristiques

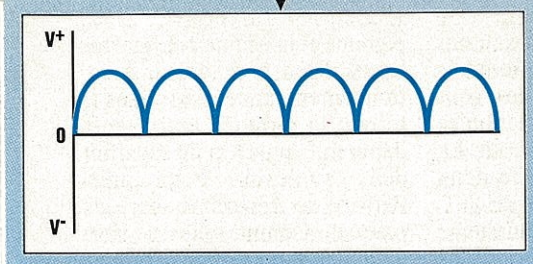
Les batteries peuvent être de tailles différentes, en raison du nombre et de la surface des plaques, correspondant à des capacités d'accumulation différentes.

Pour l'utilisateur, la capacité s'exprime en ampère/heure (Ah). Exemple concret : une ampoule 12 volts, de 60 watts, qui consomme 5 ampères (60/12), videra en une heure la batterie de 5 Ah qui l'alimente. Cette même batterie assurera 120 watts pendant une demi-heure, ou 30 watts durant deux heures, etc.

Pour ne pas dégrader la batterie, une charge complète doit durer une dizaine d'heures. En conséquence, le chargeur lui fournira un courant limité au dixième de sa capacité en Ah. Exemple, une batterie de 5 A/h doit être branchée pendant dix heures sous un courant de 0,5 ampère. Aussi, si vous achetez un chargeur, vérifiez bien que le courant qu'il délivre puisse correspondre à la faible valeur réclamée par une batterie de moto. ■



Cellule redresseuse par pont de diodes
Lorsqu'on monte quatre diodes en pont avec le même alternateur, on récupère la totalité des alternances, redressées toutes du même côté. A l'évidence, ce système assure une charge plus efficace de la batterie. Avec un alternateur triphasé, le pont utilise alors six diodes.



En résumé

- **La batterie** est un accumulateur chimique, au sein duquel se déroulent deux types de réaction selon qu'on la charge ou la décharge.
- **Des réactions chimiques** s'opèrent entre des plaques de plomb et de peroxyde de plomb, baignant dans de l'acide sulfurique.
- **La capacité** d'accumulation de la batterie s'exprime en ampère/heure (Ah) et correspond au temps pendant lequel elle peut débiter un certain courant.

CONTACT CLEANER

Le must en matière de dégraissant ! Dégraisse instantanément : toutes pièces et systèmes mécaniques ou hydrauliques, et circuits électriques.



MOTUL

Les chaînes de

A l'origine du mouvement rotatif, le vilebrequin entraîne différents organes, distribution, boîte de vitesses etc., jusqu'à la roue arrière. Les ingénieurs disposent de différents moyens pour transmettre ce mouvement, dont plusieurs types de chaîne.

Par Pepe Burgaleta. Traduction/adaptation Jérôme Eline, illustration Lionel Boloré.

Transmission est un terme très général qui s'applique à tous les organes chargés de communiquer un mouvement, ainsi nous pouvons considérer un câble comme un élément de transmission. Nous avons vu, à propos de la distribution du 4-temps, qu'on peut classer les modes de transmission en deux grands types : souple ou rigide. Souple comme courroie, câble ou chaîne, et rigide comme pignon, "cardan", arbres divers. Le choix d'un mode de transmission dépend de nombreux facteurs, que le concepteur met en balance. La décision considère la puissance à transmettre, l'éloignement entre les deux points, les possibilités de graissage, la maintenance, le bruit ou les pertes de puissance qu'on est prêt à accepter.

Chaîne qu'on aime

Sa présence à profusion dans une moto s'explique par sa résistance et la vitesse de fonctionnement importante qu'elle supporte. Son plus grand problème réside dans le graissage.

Normalement, une chaîne se compose de cylindres nommés "rouleaux" qui tournent autour d'autres cylindres nommés "douilles". Les douilles sont fixes sur des "plaques" munies d'"axes" pour relier le tout. La distance constante entre deux rouleaux se nomme "pas".

En premier lieu, la puissance transite, dans un sens ou dans l'autre, entre les dents des pignons et la chaîne par les rouleaux. Bien entendu, le fonctionnement en continu nécessite que la distance entre deux dents soit égale à celle séparant deux rouleaux. Pour finir, l'effort se répercute sur les plaques. Comme elles ne doivent pas trop s'allonger pour maintenir le pas correct, on les

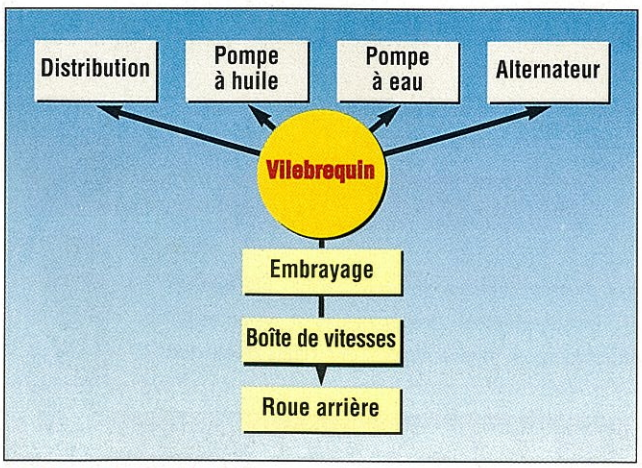
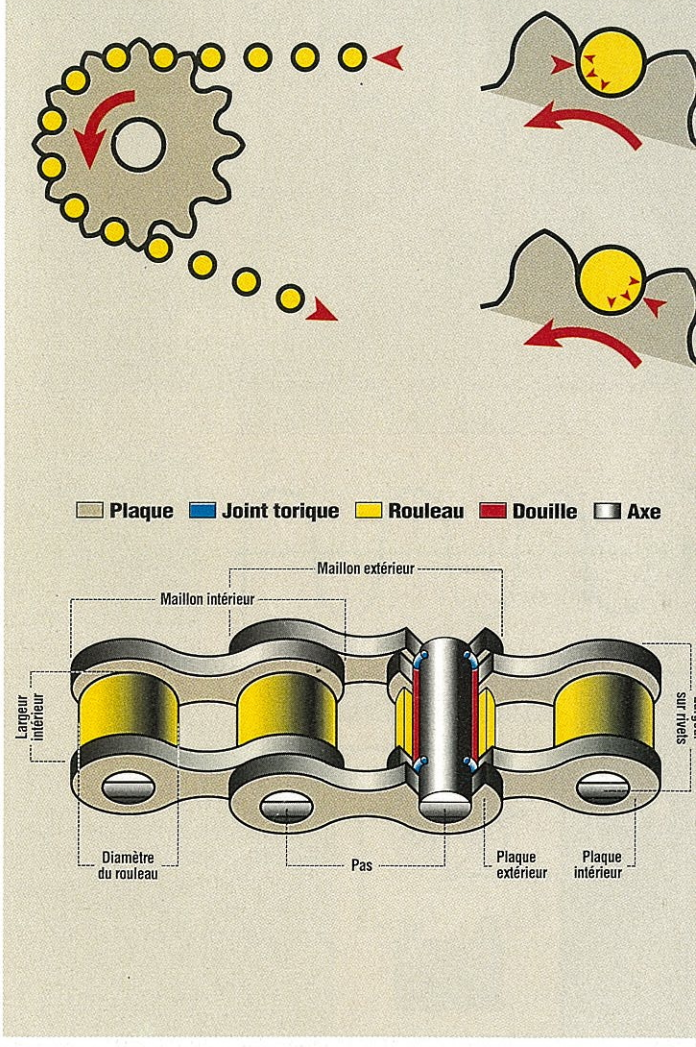


Tableau synoptique des transmissions du mouvement à partir du vilebrequin d'un 4-temps, pour entraîner tous les organes annexes.

Pourquoi la chaîne demande

Des plaques et des rouleaux qui trou



transmission

de la tension

ent la dent dure

La chaîne transmet le mouvement au niveau du contact entre les rouleaux et les dents des pignons. Au fil de l'usure, le rouleau attaque la dent plus haut et accélère la dégradation. D'où la nécessité de retendre la chaîne pour rattraper l'augmentation normale du jeu.

Les **rouleaux** de la chaîne tournent autour des **douilles** qui, elles, sont fixes dans les **plaques intérieures** Un léger jeu entre les plaques intérieures et les **plaques extérieures** ainsi qu'entre douilles et axes (fixes dans les plaques extérieures) donne sa souplesse à l'ensemble. Tous ces jeux expliquent les nécessités de lubrification et le bruit qu'émet une chaîne en fonctionnement. Les **joints toriques** interposés entre les plaques intérieures et extérieures évitent la fuite du lubrifiant introduit dans les rouleaux.

fabrique en général dans des aciers haute résistance.

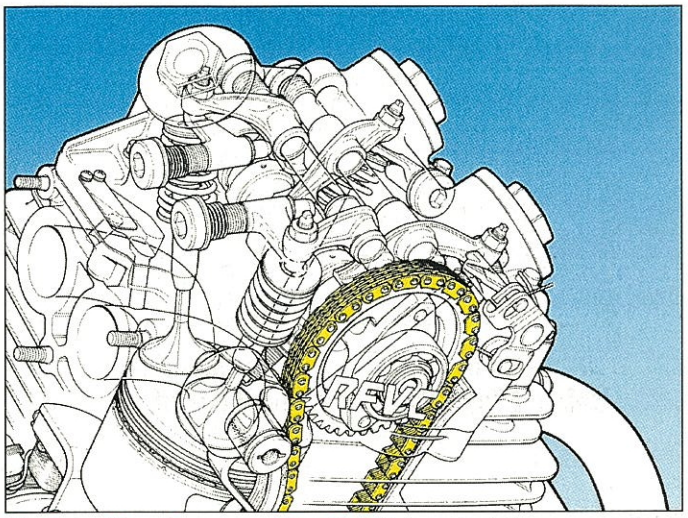
Ce descriptif sommaire fait ressortir de nombreux frottements internes. Souple et économique, la chaîne n'absorbe normalement que peu de puissance. Elle ne doit pas être tendue en force mais ne doit pas être trop lâche non plus. Enfin, son usure réclame un réglage de tension plus où moins fréquent. Les rouleaux diminuent de diamètre en s'usant, pendant que le creux entre deux dents des pignons s'agrandit. Ainsi, le rattrapage du jeu évite que le rouleau ne batte au moment du contact. Enfin, faute d'une lubrification adaptée, rouleaux et douilles vont gripper progressivement, consommant de la puissance et dégradant la qualité du contact dent/rouleau. Ce dernier ne va plus se nicher correctement dans le creux de la dent et provoquera donc l'usure de celle-ci. Pour se venger, la dent usera à son tour le rouleau, qui...

Lubrification interne

Dans un moteur, on peut alimenter abondamment la chaîne en huile, qu'on récupère et recycle une fois que la chaîne l'a éjectée par centrifugation. On va d'ailleurs fréquemment jusqu'à se passer des rouleaux sur ces chaînes internes. Ainsi on élimine le bruit dû au mouvement des rouleaux et douilles et on peut multiplier les plaques, pour transmettre un effort plus important, tout en restant dans des encombrements très raisonnables en largeur.

Le problème est différent pour la chaîne entre moteur et roue arrière, car elle travaille à l'air libre. Depuis maintenant une quinzaine d'années, on trouve fréquemment des chaînes dites "à joints toriques" (connues sous l'appellation commerciale "O ring"), dans lesquelles le lubrifiant est introduit à l'intérieur des rouleaux et emprisonné par des joints entre les plaques. Si le frottement induit par les joints provoque une perte de puissance non négligeable, le gain en entretien (rarement fait par le commun des motards) évite une perte par grippage, encore plus importante à terme.

Voila quelques km/h à gagner, au prix de quelques souillures de cambouis. C'est un choix. ■



Chaîne silencieuse ou "Hy-Vo" Ce type de chaîne se passe de rouleaux, l'articulation se faisant entre les axes et les plaques. Son bruit de fonctionnement s'en trouve réduit, d'où son appellation. Elle demande un graissage abondant et une tension permanente, c'est pourquoi elle est utilisée plus particulièrement pour entraîner les distributions.

En résumé

- **Les éléments de transmissions** peuvent être souples ou bien rigides.Les éléments souples sont constitués par les chaînes, courroies et câbles, les éléments rigides, par les arbres, pignons d'engrenage et cardans.
- **La chaîne** est utilisée lorsque la distance entre l'élément conducteur et l'élément récepteur est importante. Son principe de fonctionnement répond à l'action de rouleaux reliés par des plaques, sur les dents de deux ou plusieurs pignons.
- **Le pas de la chaîne** est déterminé par la distance (bien évidemment constante) entre deux de ses rouleaux.

MOTYL CHAIN et CHAIN LUBE

Pour le tout terrain : MOTYL CHAIN ne retient ni le sable, ni la terre.
Pour la route : CHAIN LUBE offre une très forte adhérence à grande vitesse.



MOTUL

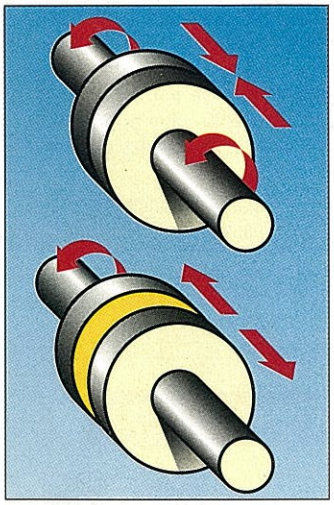
L'embrayage

L'embrayage fait partie intégrante de la transmission. Il est tapi au fond du bloc moteur et son seul appendice apparent est le levier qui le commande depuis le guidon. Essayez seulement de vous en passer...

Par Pepe Burgaleta. Traduction/adaptation Jérôme Eline, illustration Lionel Boloré.

A très bas régime, la faible puissance délivrée par le moteur ne suffit pas à vaincre l'inertie de la moto arrêtée pour la faire avancer. Pour cela, il faut plus de puissance que n'en délivre le ralenti et aussi un élément mécanique pour assurer le décollage en douceur de la moto une fois passé du point mort au premier rapport de la boîte de vitesses. Tout le monde a fait une fois l'expérience de passer la première sans débrayer pour comprendre les effets brutaux d'une solidarisation directe du moteur avec la boîte de vitesses.

L'embrayage est donc intercalé entre le moteur et la boîte de vitesses pour permettre de les accoupler progressivement, en autorisant une certaine indépendance entre le régime moteur et la vitesse de rotation de la boîte.



Principe de l'embrayage à disques Un cylindre animé d'un mouvement transmet sa rotation à un autre lorsqu'il est pressé contre lui. La puissance qu'il est possible de transmettre par un tel système varie en fonction du diamètre des cylindres, des matériaux les constituant et de la pression appliquée entre les deux.

Evolution

Aux origines, la moto n'avait pas de boîte de vitesses et le moteur entraînait une courroie directement reliée à la roue arrière. En relâchant la pression d'un tendeur, on laissait la courroie patiner pour connecter progressivement moteur et roue. On peut imaginer le genre d'efficacité d'un tel système.

On conçut alors des ensembles, mécanique, hydraulique ou électrique, pour arranger les choses.

L'embrayage à disques

C'est de loin le plus courant. Schématiquement, il est constitué de deux disques, l'un en prise sur le moteur, l'autre sur la boîte de vitesses. Un système constitué de ressorts maintient fortement les deux disques pressés l'un contre l'autre.

Ils se retrouvent alors comme soudés, ce qui permet de transmettre la puissance à la boîte. Lorsqu'on désolidarise les deux disques en les écartant, seul le disque "moteur" tourne et n'entraîne pas le disque récepteur. Enfin, en jouant sur la pression on peut faire glisser (on dit aussi patiner) le disque "moteur" sur le disque récepteur, ce qui leur permet de s'accoupler progressivement.

Les deux types de disques sont de matières différentes. L'un en acier, l'autre revêtu d'un matériau au coefficient de friction élevé, pour bien adhérer contre l'acier.

Différents types

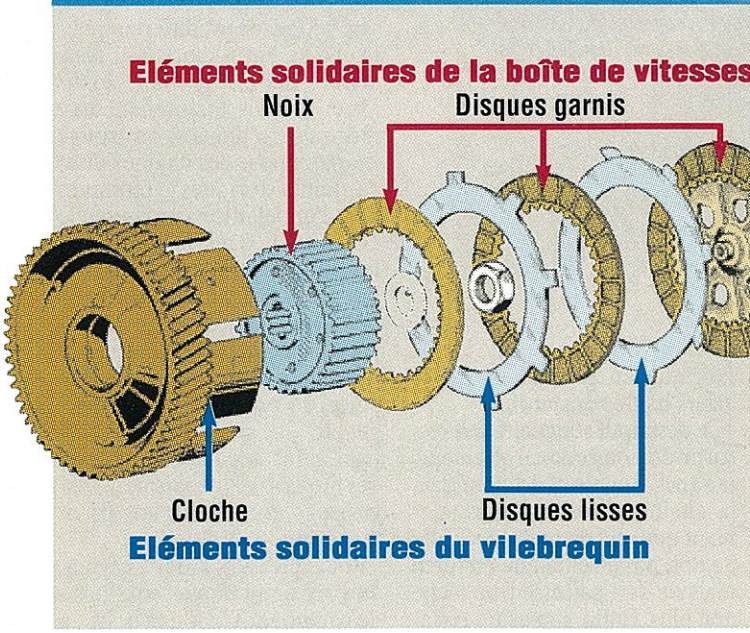
Les embrayages à disques se différencient essentiellement par le nombre de disques et leur mode de refroidissement.

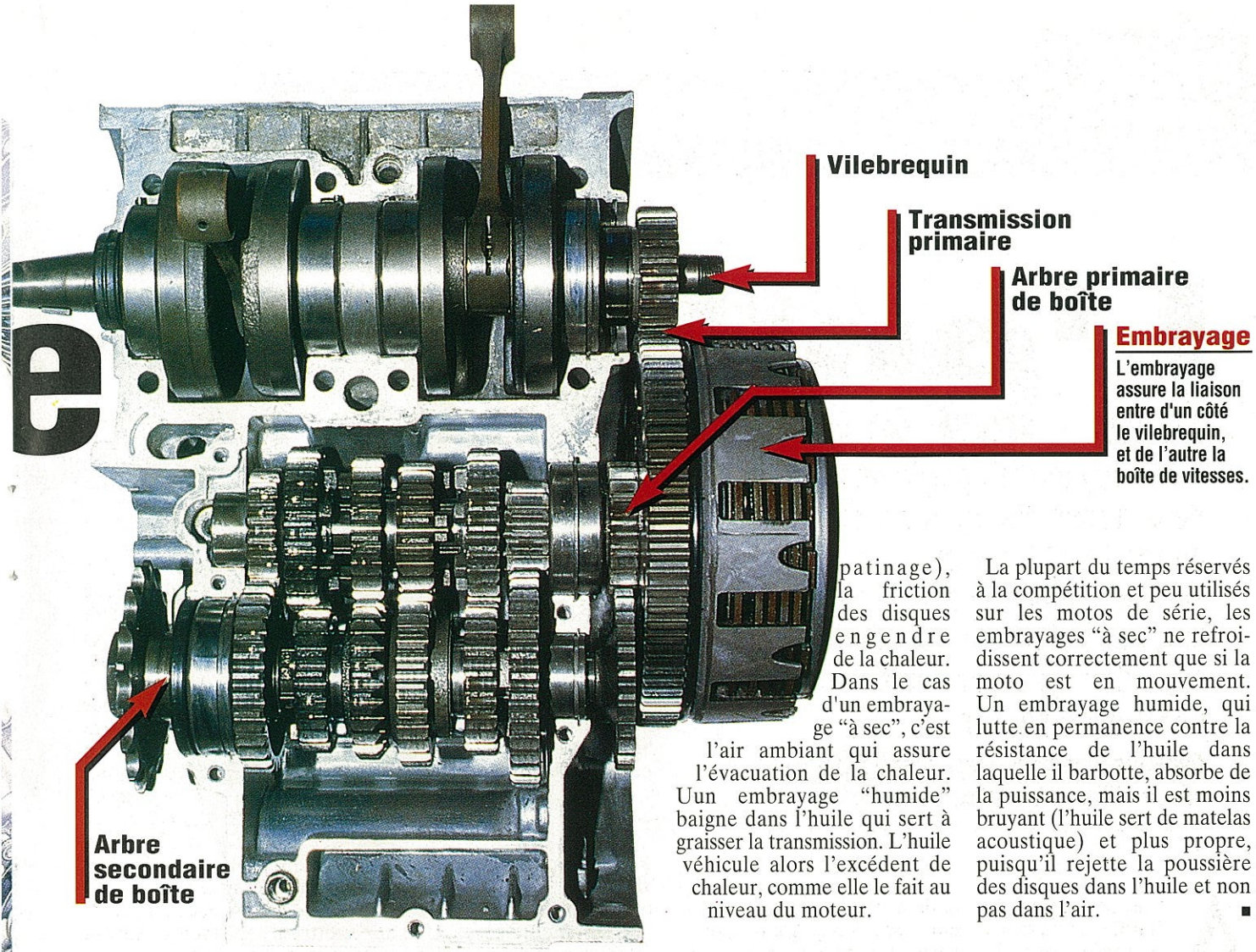
La puissance à transmettre a bien sûr son importance. Pour l'augmenter, on peut accroître le diamètre des disques, ou bien en multiplier le nombre. Les embrayages "monodisque" ont un grand diamètre, les "multidisque", un diamètre plus faible mais une largeur plus encombrante.

Les disques entraînants et entraînés sont montés sur un même axe géométrique, mais sur deux palliers indépendants. C'est le contact entre les disques qui assure la liaison entre moteur et boîte. Dans le cas d'un multidisque, les

Le fonctionnement d'un

Un ensemble mécanique étudié pou





embrayage multidisque

un glis sement progressif du plaisir



Par l'intermédiaire de la transmission primaire, le vilebrequin transmet son mouvement à la cloche. Ses cannelures entraînent les disques lisses par leur denture extérieure.

Lorsqu'on n'actionne pas le levier d'embrayage les ressorts du plateau de pression collent les disques garnis contre les disques lisses en acier. Ces derniers communiquent alors la rotation du vilebrequin à la noix puis à l'arbre primaire de la boîte de vitesses dont ils sont solidaires par un ensemble de cannelures.

Lorsqu'on actionne le levier d'embrayage on écarte le plateau de pression en comprimant ses ressorts.Les disques garnis se décollent progressivement des disques lisses en glissant sur eux, la transmission du mouvement diminuant avec l'augmentation de l'écartement des disques. Embrayer revient à effectuer l'opération en sens inverse.

disques "moteur" et récepteur sont intercalés et entraînés pour les uns par leur centre, pour les autres par leur périphérie. L'indépendance des deux types est ainsi garantie.

Deuxième grand critère pour classer les embrayages: leur mode de refroidissement. En effet, lors du glissement (ou patinage), la friction des disques engendre de la chaleur. Dans le cas d'un embrayage "à sec", c'est l'air ambiant qui assure l'évacuation de la chaleur. Uun embrayage "humide" baigne dans l'huile qui sert à graisser la transmission. L'huile véhicule alors l'excédent de chaleur, comme elle le fait au niveau du moteur.

La plupart du temps réservés à la compétition et peu utilisés sur les motos de série, les embrayages "à sec" ne refroidissent correctement que si la moto est en mouvement. Un embrayage humide, qui lutte en permanence contre la résistance de l'huile dans laquelle il barbotte, absorbe de la puissance, mais il est moins bruyant (l'huile sert de matelas acoustique) et plus propre, puisqu'il rejette la poussière des disques dans l'huile et non pas dans l'air. ■

En résumé

- **L'embrayage,** interposé entre le moteur et l'ensemble boîte de vitesse/roue arrière, permet de transmettre progressivement puissance et mouvement de l'un à l'autre.
- **Les embrayages à disques** sont les plus courants. Ils peuvent être monodisques ou multidisques, être refroidis par huile ou par air. Quelque soit leur nombre de disques, une partie de ces disques est en prise directe avec le moteur, et l'autre avec l'ensemble boîte de vitesses/roue arrière.
- **Embrayer** consiste à presser progressivement les disques les uns contre les autres pour assurer la transmission progressive de la puissance à la boîte.
- **Débrayer** est l'opération inverse, qui consiste à désolidariser le moteur de la boîte de vitesse.

TRANSOIL

Huile championne du monde en 125 et 250 motocross ! Très résistante à la pression, elle facilite l'engagement des vitesses et le contrôle du glissement de l'embrayage.

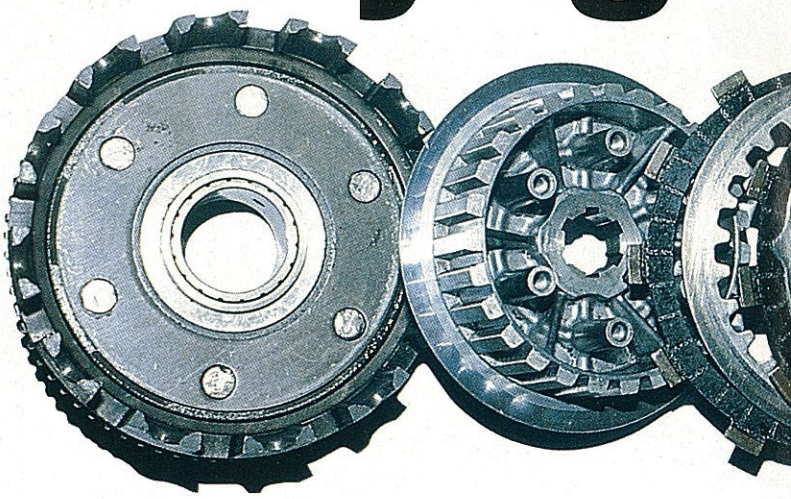


MOTUL

Les embrayage

La semaine précédente, nous avons défini la raison d'être de l'embrayage et son principe de fonctionnement. Etudions maintenant les deux types d'embrayage les plus couramment utilisés sur nos moteurs de motos.

Par Pepe Burgaleta. Traduction/adaptation Jérôme Eline, illustration Lionel Boloré.



A quelques exceptions près - lorsque par choix ou obligation légale, le constructeur équipe son produit d'une transmission automatique - l'immense majorité des motos reçoit un embrayage mono ou multidisque, actionné manuellement.

Embrayage monodisque

Ces embrayages ne comportent qu'un disque de friction, dont souvent les deux faces sont utilisées pour assurer le contact avec deux disques en acier. Comme la puissance à transmettre ne peut se répartir sur plusieurs disques, ils sont nécessairement de grand diamètre.

On les rencontre souvent sur les moteurs dont l'axe du vilebrequin est longitudinal, comme les BMW ou les Guzzi. Les liaisons entre le vilebrequin et la boîte se font directement par le centre des disques, sans engrenages de transmission primaire pour renvoyer le mouvement. Une simple ventilation dans les carters envoie suffisamment d'air pour refroidir ce type d'embrayage.

Résistants, ces embrayages offrent moins de progressivité que les multidisques et leur remplacement exige beaucoup de main d'œuvre, puisque le moteur doit la plupart du temps être sorti du cadre avant de le désolidariser de la boîte de vitesses.

Embrayage multidisque

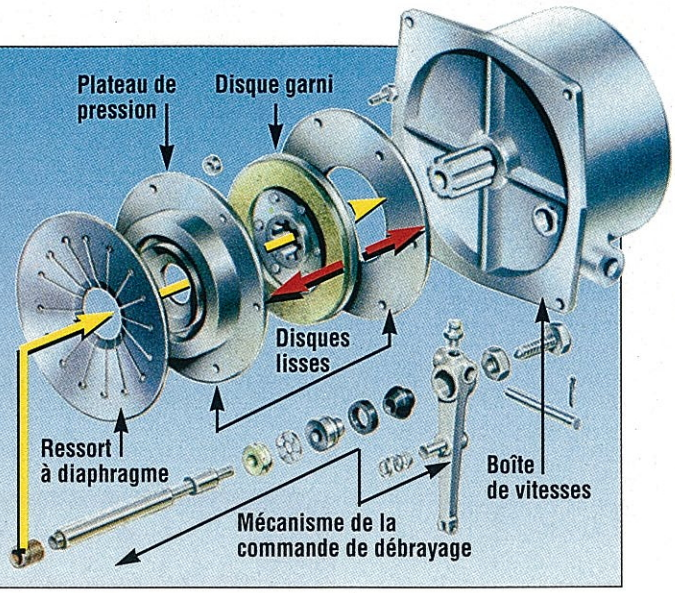
Sur la plupart des motos, l'axe du vilebrequin est face à la route. Dans ce cas, l'embrayage est disposé sur l'un des côtés du bloc moteur et entraîné par un train depignons. On limite son diamètre pour des raisons d'encombrement et pour transmettre la puissance, on est alors contraint d'utiliser plusieurs disques.

Sur les motos de route, l'embrayage est refroidi par huile, système qui absorbe le bruit et la poussière de garniture. En course, on a le temps de nettoyer, mais on ne peut pas tolérer la perte de puissance due au battement de la cloche dans l'huile. L'embrayage est alors extérieur au bloc moteur et refroidi par air.

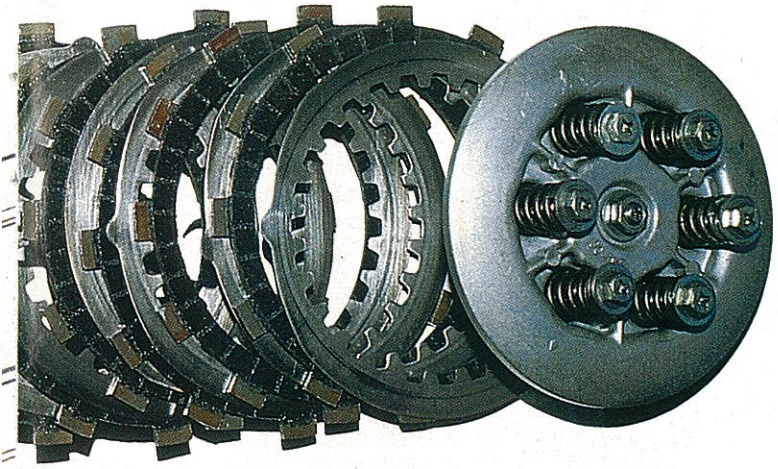
La noix par laquelle sort le mouvement est fixée sur l'arbre d'entrée de boîte. La cloche, reliée par un pignon ou une chaîne au vilebrequin, tourne librement autour de la noix. Ce sont les dix à quinze disques placés entre les deux, et serrés par un "plateau de pression", qui les relient. Comme on l'a vu la semaine passée, les disques "garnis" reçoivent le mouvement par leurs cannelures périphériques, tandis que les disques acier le communiquent à la noix par des cannelures intérieures.

Le plateau de pression est soumis à l'action d'un ou plusieurs ressorts pour plaquer les disques entre eux. Un dispositif relié au levier d'embrayage du guidon permet de repousser le plateau, ce qui autorise le glis-

L'embrayage monodisque
Les deux disques lisses sont solidaires non seulement du vilebrequin, mais aussi l'un de l'autre, par des vis à épaulement qui autorisent un léger débattement entre eux. Le disque garni (sur ses deux faces), solidaire de l'arbre primaire de boîte de vitesses par des cannelures internes, prend place entre les deux disques garnis.
Le ressort à diaphragme pousse le plateau de pression pour maintenir l'ensemble en contact étroit.
La commande de débrayage agit sur le plateau de pression en écartant les deux disques lisses et libère ainsi leur contact avec le disque garni.

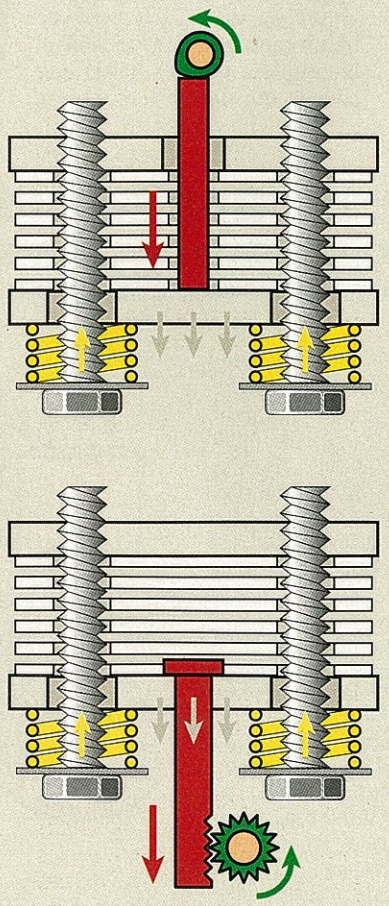


s à disques



L'embrayage multidisque

Comment commander le débrayage



Pour débrayer un embrayage multidisque, on écarte le plateau de pression dont les ressorts assurent un contact étroit entre les disques lisses et les disques garnis.

En haut
La commande de débrayage fait tourner une came, laquelle enfonce une tige qui pousse le plateau de pression.

En bas
Le débrayage s'obtient par une commande à crémaillère. Dans ce cas, la tige tire le plateau de pression pour libérer de l'espace entre les disques.

La commande située entre ces systèmes et le levier du guidon est un levier mécanique actionné par un câble ou un récepteur hydraulique.

sement des disques. La cloche n'entraîne alors plus la noix, on est en position débrayée.

Le mouvement du plateau est toujours linéaire. Selon les conceptions, il est soit tiré de l'extérieur par une griffe (ou une "fourchette" sur les monodisques à sec), soit repoussé de l'intérieur par une tige. Le mouvement est imprimé à cette tige ou griffe par un levier relié à une came ou une rampe hélicoïdale, qui démultiplie l'effort appliqué au levier par le pilote. La liaison entre cette fonction et le levier au guidon s'obtient par un câble ou une commande hydraulique.

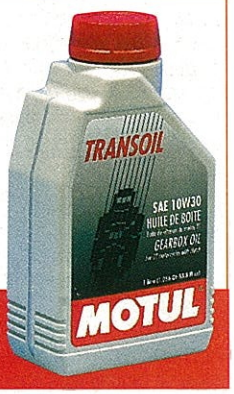
La qualité des matériaux de friction progressant, on se passe désormais des ressorts très durs qui étaient nécessaires pour transmettre la puissance : les commandes sont plus douces. Les embrayages multidisques en bain d'huile sont inégalés en progressivité et douceur. En effet, la multiplicité des disques permet un accouplement progressif, par couches successives, d'un disque à l'autre. La présence de lubrifiant donne encore plus de progressivité, sans que ce graissage nuise à la capacité de collage. Les qualités du matériau adhérent sont désormais fort bien maîtrisées et adaptées à cet environnement. Raison de plus pour que ce type d'embrayage reste l'apanage de l'embrayage de moto pour quelques années encore. ■

En résumé

- **Deux types d'embrayage** sont couramment utilisés sur les motos : les monodisques et les multidisques.
- **L'embrayage monodisque** équipe souvent les moteurs à vilebrequin longitudinal et n'utilise qu'un disque garni. Il est plus résistant mais moins progressif qu'un multidisque.
- **L'embrayage multidisque** est plus particulièrement utilisé sur les moteurs à vilebrequins transversaux.
- **Le débrayage** consiste à écarter les disques lisses des disques garnis, jusqu'alors maintenus fermement en contact par un ressort (alors à diaphragme) ou plusieurs ressorts hélicoïdaux, en agissant sur le plateau de pression.

TRANSOIL

Huile championne du monde en 125 et 250 motocross ! Très résistante à la pression, elle facilite l'engagement des vitesses et le contrôle du glissement de l'embrayage.



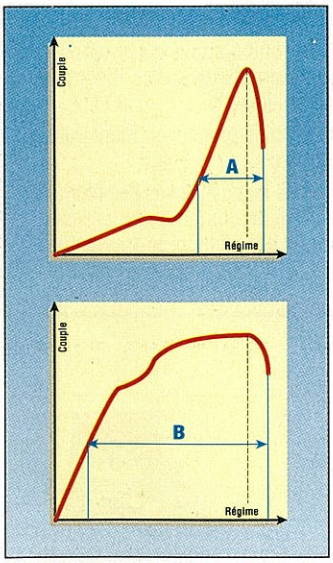
MOTUL

Puissance et co

Dans une fiche technique, le chapitre "moteur" mentionne en bonne place la puissance et le couple. Assorties du tracé de leurs courbes correspondantes, ces deux données permettent de se faire une bonne idée du caractère du moteur.

Pepe Burgaleta. Traduction/adaptation Jérôme Eline, illustration Lionel Boloré.

Tout un chacun mesure à peu près les effets de la puissance, qui laisse espérer de la vitesse de pointe. Classiquement exprimée en chevaux, on la rencontre également en kilowatts, unité employée par l'Union européenne. Pour nous, un kW ne représente pas grand chose, mais divisé par 0,736 il devient: 1,359 cheval, plus parlant.



Deux courbes caricaturales d'un même couple maxi, délivré au même régime. En haut, celle d'un moteur dont le remplissage n'est optimal que sur une faible plage de régime. A droite, celle d'un moteur plus souple, qui «tracte» mieux en délivrant du couple sur une plage de régime plus importante.

Notion de couple

Le couple représente l'effort instantané que peut fournir un moteur, c'est-à-dire sa capacité de traction.

Dans les fiches techniques, il apparaît en mètre multiplié par des kilogrammes (mkg), mesure qui reprend l'idée du levier qu'on utilise pour lever une forte charge. Pour l'imaginer, représentons-nous l'effort à déployer pour tenir horizontalement une barre à laquelle est accroché un poids. Longueur de la barre et masse à soutenir augmenteront l'effort. 10 kg seront tenus plus facilement que 20 au bout d'une barre d'un mètre. Mais 20 kg tenus au bout d'une barre d'un demi-mètre représentent le même effort que 10 à un mètre.

Là aussi, petit problème d'unités légales et usuelles : les décaNewton par mètre légaux (daNm) se transforment en mkg (plus habituels), en les divisant par 0,981.

La puissance

En plus de la capacité à fournir un certain effort qui résulte directement du couple, intervient la notion de temps. Déplacer une masse de 100 kg sur un mètre représente un certain travail. Le faire en une seconde ou en trois jours ne demande pas la même puissance. Dans nos moteurs, le facteur temps est représenté par le régime de rotation, qui lie couple et puissance. Un même couple délivré à un régime plus élevé, donc plus souvent, donne une puissance supérieure.

Partant de là, la puissance (en chevaux) se calcule en multipliant le couple (en mkg) par le régime auquel il est délivré (en tr/mn), le tout divisé par 716 (chiffre qui sert à rendre cohérentes les diverses unités en cause).

Interprétation des courbes

Les valeurs brutes ne sont que peu indicatives, particulièrement celle de la puissance. Le couple maximal doit être interprété en regard du régime de rotation auquel il est délivré : plus c'est bas, mieux c'est. Les reprises et accélérations seront plus soutenues par un moteur disposant de plus de coffre.

Pour un constructeur, il est facile d'obtenir une forte puissance à haut régime, par un diagramme très ouvert, qui remplira fortement lorsque le piston aspirera fortement. En revanche, dans les plus bas régimes, le remplissage sera très mauvais, peu de gaz frais entreront, le couple s'en ressentira immédiatement. A l'extrême limite, on peut avoir des valeurs brutes identiques pour deux moteurs, mais des comportements totalement opposés à la conduite.

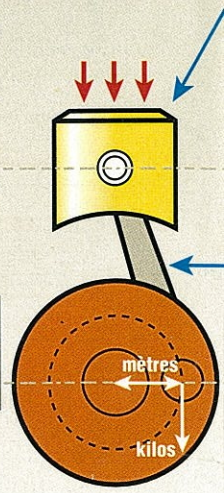
Pour savoir exactement ce qu'un moteur a dans le ventre, une seule solution : établir une courbe qui donne le couple à

Le couple est l'application

Il se mesure en kilos que peut soulever

Le couple naît au niveau du maneton du vilebrequin qui récupère l'effort de la détente des gaz sur le piston. A alésage et pression sur le piston égaux, il sera plus important sur un moteur longue course dont le bras de levier est plus important entre maneton et axe du vilebrequin. A course et pression sur le piston égales, le couple sera plus important avec un fort alésage qui répercutera sur le maneton une force plus importante. Conclusion : la cylindrée est la meilleure alliée du couple.

$$\text{Puissance en chevaux} = \frac{\text{Couple en mètres/kilo} \times \text{Régime en tours/minute}}{716}$$



La formule magique qui lie puissance, couple et régime de rotation. Elle explique qu'une même puissance ou un même couple peuvent découler de valeurs différentes, et que deux moteurs délivrant la même puissance à des régimes très différents ne procurent pas les mêmes impressions, car ils ne délivrent pas le même le couple.

ouple

chaque régime. La courbe de puissance prend la même forme, puisqu'elle découle par calcul du couple. Elle se trouve juste un peu décalée sur la fin, tant que la baisse du couple est compensée par l'accroissement du régime.

La forme générale de la courbe permet directement de qualifier le moteur. Un moteur dit "souple" présente une courbe arrondie, gage d'un couple qui n'arrive pas brutalement, une fois franchi le régime fatidique à partir duquel le remplissage est pleinement efficace.

Au contraire, on juge "pointu" un moteur dont la courbe de couple marque un pic très net. Sous peine d'une lamentable chute de régime, il devra être maintenu dans le plage de régime optimale. C'est possible grâce à la présence d'une boîte de vitesses, qui permet d'adapter le couple aux besoins du moment. Objet de la prochaine leçon. ■

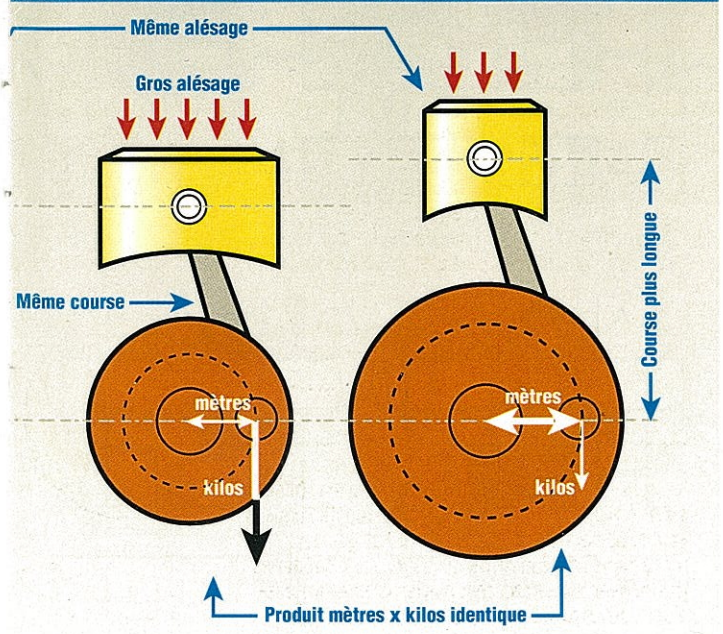


A puissance identique, le couple et le régime de rotation de ces deux moteurs sont très différents.

La Yamaha XT 500 et la Cagiva 125 Mito délivrent toutes deux 32 chevaux. Sur la XT, ils sont obtenus à 6 500 tr/mn et à 10 500 tr/mn sur la Mito. Le couple maxi de 4 m.kg de la XT se situe à 5 500 tr/mn, alors que sur la Mito, il n'est que de 2,08 m.kg à 10 400 tr/mn.

d'une force sur un levier

horizontalement un levier d'un mètre



En résumé

- **Le couple** représente l'effort instantané que fournit un moteur. Il s'exprime par une force multipliée par une longueur. Légalement en décaNewton multipliés par un mètre, dans la pratique habituelle par un mètre multiplié par des kilogrammes.
- **La puissance** est le produit du couple et du régime de rotation auquel il est délivré. Un même couple représente donc plus de puissance s'il est délivré à un régime plus élevé.
- **L'examen de la courbe** de couple d'un moteur permet d'en qualifier le comportement général : pointu comme le pic de la courbe ou souple comme l'arrondi de la courbe.

3100 4T

Le meilleur de la Technosynthèse !
Existe en 3 viscosités : SAE 10W 40, 20W 40 et 15W 50, avec additif spécial boîte de vitesses.



MOTUL

La boîte de vite

Pratiquement toutes nos boîtes de vitesses utilisent une technique spécifique à la moto : les boîtes "à crabots", "en prise constante". Choix que certaines voitures de course reprennent depuis quelques temps sous l'appellation de "boîte séquentielle".

Pepe Burgaleta. Traduction/adaptation Jérôme Eline, illustration Lionel Boloré.

Ces boîtes se composent de deux fonctions bien distinctes : une partie transmission et démultiplication du mouvement d'une part, et de l'autre, un ensemble qui se charge de sélectionner et de verrouiller le rapport choisi par le pilote.

Primaire et secondaire

Des pignons de tailles différentes assurent la plage des démultiplications disponibles. Le nombre de rapports dépend de l'allure de la courbe de couple du moteur. Plus celle-ci sera pointue, plus la boîte aura besoin d'offrir un nombre important de rapports de démultiplication, pour que le pilote puisse maintenir le moteur dans la plage de régime où le couple est bien présent.

Les pignons sont montés sur deux arbres qui se font face. Le premier dit "primaire", est en prise avec la "transmission primaire" du moteur, qui offre déjà une démultiplication de la vitesse et donc une multiplication équivalente du couple (voir chapitre 43). Le deuxième arbre, dit "secondaire", est en prise avec la chaîne ou le pignon de l'arbre de transmission (souvent appelé à tort "cardan").

Trois types de pignons sont montés sur les arbres : fixes, "baladeurs" ou "fous". Les fixes tournent avec l'arbre. Les baladeurs également, mais ils peuvent se déplacer latéralement. Les fous tournent librement sur l'arbre, mais ne se déplacent pas latéralement. Les arbres de boîtes comme les pignons comportent des cannelures qui permettent de les solidariser. Seuls les pignons fous n'en possèdent pas, bien évidemment. Pour solidariser des pignons montés côte à côte sur un même arbre, on utilise des "crabots", sortes de tétons disposés sur le côté du pignon et qui viennent s'enclencher dans des trous, sur le côté du pignon voisin. Lorsqu'un pignon fou est "craboté" avec un pignon fixe ou un baladeur, il perd donc sa folie et peut transmettre un mouvement, pigé ! Enfin, chaque couple de pignons qui se font face (l'un étant monté sur l'arbre primaire et l'autre sur le secondaire) comprend un fou et, au choix, un fixe ou un baladeur. En déplaçant les pignons baladeurs pour les craboter avec d'autres pignons, on enclenche un rapport de la boîte. Voyez plutôt directement le dessin expliquant l'enchaînement des diverses phases sur notre théorique boîte à trois vitesses, avant de revenir pour le descriptif du système qui commande tout ça.

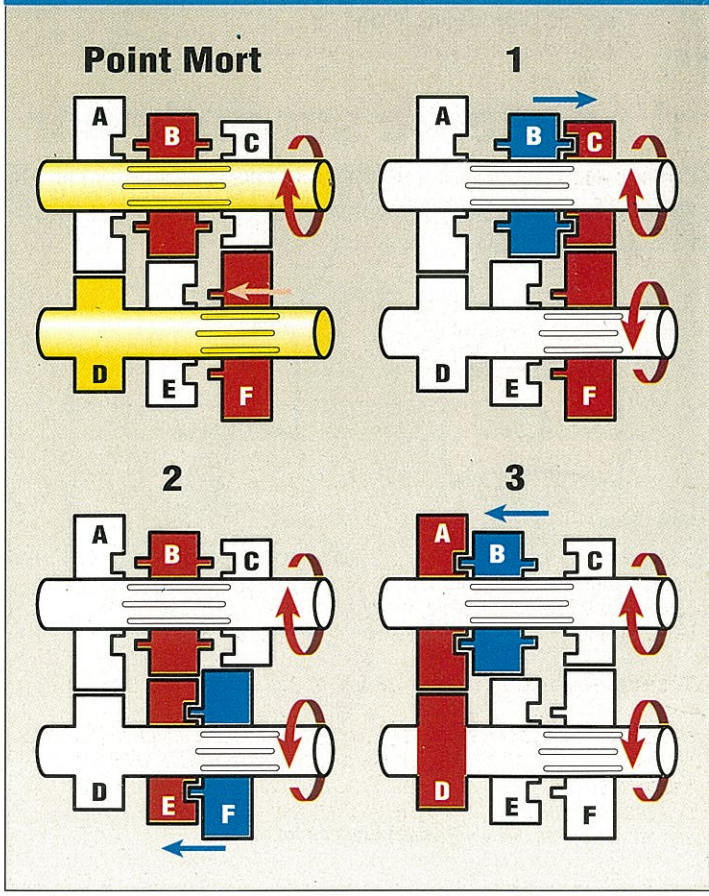
Le mécanisme de sélection

C'est lui qui transforme le mouvement imprimé au sélecteur pour enclencher un rapport, en un déplacement latéral d'un ou plusieurs pignons baladeurs. Les pignons baladeurs sont munis d'une gorge dans laquelle prennent place les deux dents (ce sont plutôt des doigts) d'une "fourchette". A son autre extrémité, la fourchette est percée d'un alésage dans lequel passe l'arbre porte-fourchette, mais elle comporte aussi un téton qui prend place dans la gorge d'un cylindre, le "tambour de sélection". Ces gorges (il y en a une pour chaque fourchette) sont usinées en zig-zag sur le pourtour du tambour. Lorsqu'on fait tourner le tambour, elles transforment donc cette rotation en un déplacement latéral des fourchettes.

Un dernier ensemble de pièces commande la rotation du tambour. En poussant ou en

Principe de fonctionneme

Lorsque les pignons baladeurs dansent av

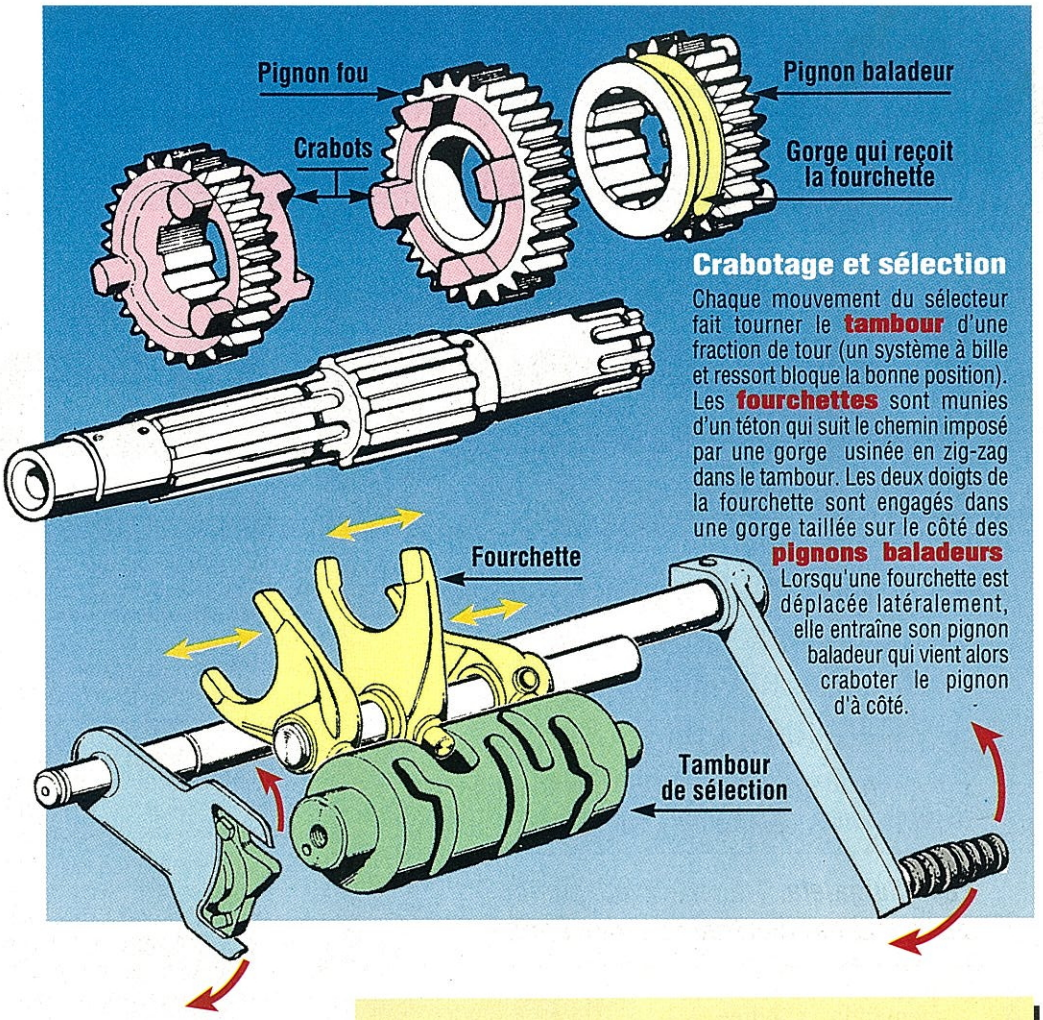


sses

soulevant le sélecteur, on fait tourner le tambour d'une fraction de tour, tandis qu'un système de blocage, à base de billes et de ressorts, le verrouille dans la position choisie.

Il n'effectuera un tour complet (enfin presque) qu'en passant du premier au dernier rapport de la boîte.

Une telle boîte est complexe et coûte très cher en conception comme en fabrication. Néanmoins, elle reste plus simple que bien d'autres et est très rapide et précise dans les changements de rapport. ■



Crabotage et sélection

Chaque mouvement du sélecteur fait tourner le **tambour** d'une fraction de tour (un système à bille et ressort bloque la bonne position). Les **fourchettes** sont munies d'un téton qui suit le chemin imposé par une gorge usinée en zig-zag dans le tambour. Les deux doigts de la fourchette sont engagés dans une gorge taillée sur le côté des **pignons baladeurs**. Lorsqu'une fourchette est déplacée latéralement, elle entraîne son pignon baladeur qui vient alors craboter le pignon d'à côté.

nt de la boîte de vitesses

ec les fous pour établir de bons rapports

Cette boîte possède trois vitesses et fait donc intervenir six pignons. Le mouvement du moteur entre en haut à droite et entraîne l'arbre primaire. Il sort de la boîte en bas à gauche, par l'arbre secondaire. Les pignons A, C et E sont fous, et tournent donc sur leur arbre. Ils comportent des encoches latérales dans lesquelles peuvent s'engager les crabots des pignons B et F, solidaires de leur l'arbre par des cannelures, mais qui peuvent se déplacer latéralement vers la droite comme vers la gauche. D est un pignon fixe, taillé directement dans l'arbre secondaire.

Au point mort tout tourne dans le vide. **B** est bien entraîné par son arbre mais se trouve face à un pignon fou qui n'entraîne pas l'arbre secondaire. Même réflexion pour **A** par rapport à **D** ou **C** et **E**.

Première le baladeur **B** engage ses crabots dans les encoches de **C**. **C** n'est alors plus fou, il tourne aussi avec l'arbre primaire. **F** qui lui fait face est alors entraîné et communique le mouvement à l'arbre secondaire par l'intermédiaire des cannelures qui les lient en rotation. Le mouvement ressort en bas à gauche.

Deuxième **B** repart à sa position initiale. **F** se déplace sur la gauche se crabotant dans **E**. Le mouvement passe successivement par les cannelures de l'arbre primaire, le pignon **B** puis **E** qui passe à **F**. Les cannelures entre **F** et l'arbre secondaire finissent le boulot.

Troisième **F** repart à droite, **B** se crabote sur **A**, on ressort par **D**.

Notez que les baladeurs ne se dégagent jamais complètement de leur vis-à-vis, une portion de leur denture externe reste en prise, d'où l'appellation "en prise constante". Seuls les crabots sont en cause lors de l'enclenchement d'une vitesse. Pour chaque rapport supplémentaire, ajoutez un couple de baladeur et de pignon fou.

En résumé

- **Deux arbres cannelés** reçoivent les pignons de la boîte de vitesses.
- **L'arbre primaire** est en prise avec le moteur via la transmission primaire.
- **L'arbre secondaire** est solidaire de la roue arrière via la transmission secondaire (chaîne ou "cardan").

Les pignons de boîte sont de trois types différents

- **Les pignons fixes,** parfois usinés directement avec leur arbre.
- **Les pignons fous** tournent librement sur leur arbre, mais le pignon qui leur fait face tourne toujours solidairement de l'autre arbre.
- **Les pignons baladeurs** en pouvant se déplacer latéralement assurent les connexions entre les deux types précédents.

- **Les crabots** permettent de solidariser, latéralement sur le même arbre, un pignon fou avec un baladeur ou un pignon fixe.
- **Le mécanisme de sélection** agit sur des fourchettes qui, en déplaçant un baladeur, crabotent un pignon fou sur un autre pignon et le rendent ainsi solidaire de son arbre. Deux pignons en vis-à-vis solidarisés à leur arbre constituent un rapport enclenché.

3100 4T

Le meilleur de la Technosynthèse !
Existe en 3 viscosités : SAE 10W 40, 20W 40 et 15W 50, avec additif spécial boîte de vitesses.



MOTUL

La multiplicatio

Le nombre et la disposition des cylindres dépendent de nombreux facteurs et ont de... nombreuses conséquences : puissance, encombrement, équilibrage des vibrations, prix...

Par Pepe Burgaleta. Traduction/adaptation Jérôme Eline, illustration Lionel Boloré.

Pour augmenter la puissance, le plus simple reste d'augmenter la cylindrée, plus de gaz brûlés se traduisant par plus de couple. Mais l'accroissement du volume d'un seul cylindre finit rapidement par trouver ses limites, d'où l'idée de répartir cet accroissement de la cylindrée sur plusieurs cylindres.

Problèmes du mono et fractionnement

Pour augmenter la cylindrée, donc le couple d'un mono, on ne peut jouer que sur deux facteurs : l'alésage et la course du piston. S'en suit une augmentation conséquente de la taille des pièces en mouvement, dont le vilebrequin. L'augmentation de sa taille engendre une plus grande inertie, inertie qui augmente les efforts qu'il encaisse. Il faut donc encore augmenter sa taille pour une meilleure résistance, mais alors on augmente à nouveau son inertie, etc. On est en plein cercle vicieux.

Autre problème, le refroidissement de l'ensemble cylindre et piston, dont l'importante production de calories n'est évacuée que par la surface de convection d'un seul cylindre.

De nombreux facteurs contribuent à limiter le régime de rotation maximal admissible, donc la puissance qui, à couple égal, dépend du régime.

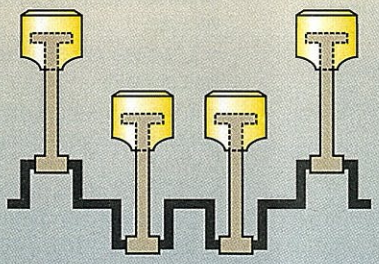
Plus une masse gazeuse est importante et plus sa combustion (la propagation du front de flamme) demande du temps. Les échanges entre cylindre, carbu et échappement doivent tenir compte du temps nécessaire à cette combustion, au déplacement de grosses colonnes gazeuses et de pièces forcément volumineuses comme de grosses soupapes. Dernier facteur limitant le régime : la vitesse linéaire moyenne du piston, qui atteint rapidement des valeurs inquiétantes, en raison de la course qu'il doit parcourir.

La solution qui s'impose est de répartir cet important volume de gaz à brûler sur plusieurs cylindres plus petits. On gagne alors sur tous les points, tout peut fonctionner plus vite, car tout est plus petit.

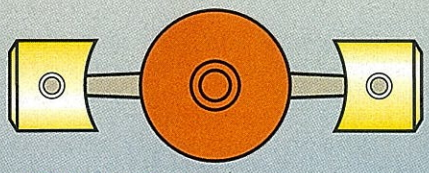
Revers de la médaille : les pièces sont beaucoup plus nom-

Les cylindres peuvent être disposés

Chacune présente ses avantages en termes de performances, d'



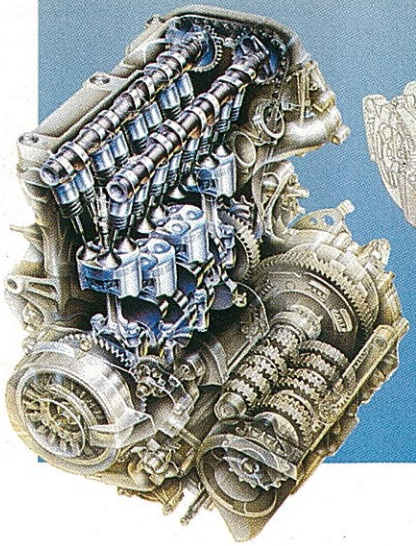
Cylindres en ligne Deux, trois, quatre et jusqu'à six cylindres ont été disposés de cette manière sur nos moteurs de moto. Bien sûr, plus les cylindres sont nombreux, plus la largeur du bloc en souffre. Cette largeur est conditionnée par l'espace minimum acceptable entre chacun des cylindres, en tenant compte des contraintes de refroidissement.

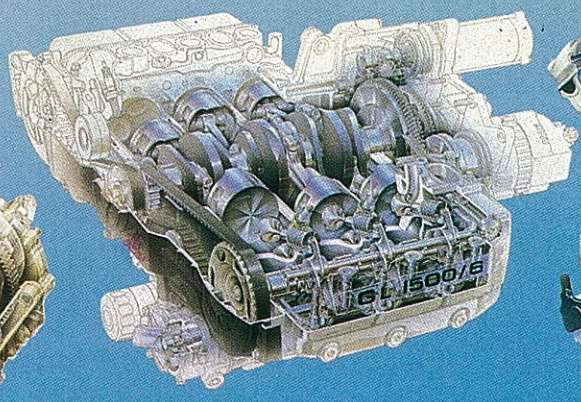


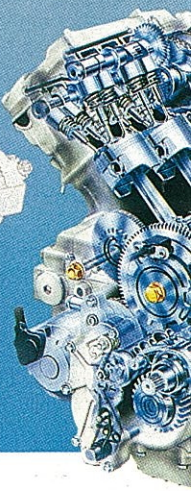
Cylindres à plat Ces moteurs, en fait des V... à 180°, ont l'inconvénient d'être très larges, et longs lorsqu'ils ont plus de quatre cylindres. Le plus simple est bien sur de célèbre "boxer" BMW dont les deux seuls cylindres peuvent se contenter d'un refroidissement par air. Avec quatre, voire six cylindres, comme la Honda GL 1500, le refroidissement liquide s'impose.



Cylindres
a l'avantage
réduite par
de cylindres.
nécessité de
bloc cylindres
le mécanisme
très fermé et
mal les calo







...on des cylindres

breuses. Poids total, encombrement, complexité mécanique et coûts de fabrication partent à la hausse. Là aussi, des limites finissent par s'imposer.

Cylindres en ligne

Aligner les cylindres est la solution la plus économique, diminuant le nombre des pièces. Elle ne requiert qu' un seul vilebrequin, arbre à cames (deux pour un double arbre) comme entraînement de la distribution et les cylindres sont réunis en un seul bloc. En revanche, ces moteurs sont fatalement larges au niveau du bloc, du vilebrequin et, partant, des carters.

Cylindres en V

La famille des V est prolifique, du "flat twin" au "flat six", du V twin au V8. Premier critère de classement, l'angle entre les cylindres. Des 180 degrés (angle "plat" des "flat") des moteurs "boxer", dans lesquels les cylindres se font face (BMW série R, Honda Gold Wing, etc.), aux 45° des bicylindre en V fermé (Harley-Davidson), en passant par les 90° des moteurs en "L" (Ducati, Guzzi, Honda VFR...). Point commun à ces dispositions : une distribution plus complexe, surtout avec l'adoption d'arbres à cames en tête qui se multiplient avec le nombre de blocs culasse. En contrepartie, la longueur du vilebrequin diminue sérieusement, on peut rapprocher les bielles sans que tous les cylindres ne se touchent puisqu'une moitié d'entre eux se fait face.

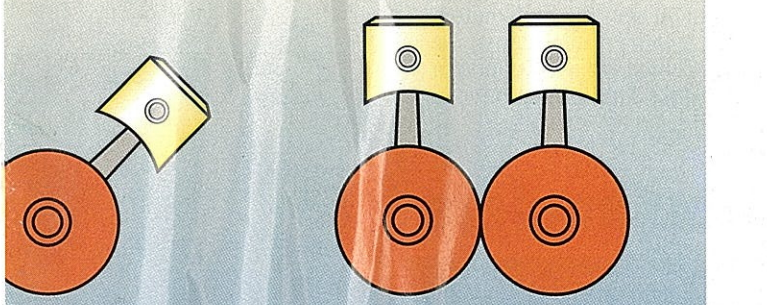
Les vibrations

Lorsque le piston est chassé vers le bas par l'explosion, tout le moteur a tendance à se déplacer dans la même direction. Phénomène qui s'inverse à la remontée, où le piston tire le moteur vers le haut. A plusieurs milliers de tours/minute, ces phénomènes deviennent des vibrations néfastes au fonctionnement du moteur comme au confort du pilote.

Ceci peut s'annuler, totalement ou en partie, par la disposition judicieuse de contrepoids sur le vilebrequin ou en utilisant la force d'un piston pour annuler celle d'un autre. Cela s'appelle l'équilibrage et fera l'objet des prochaines leçons. ■

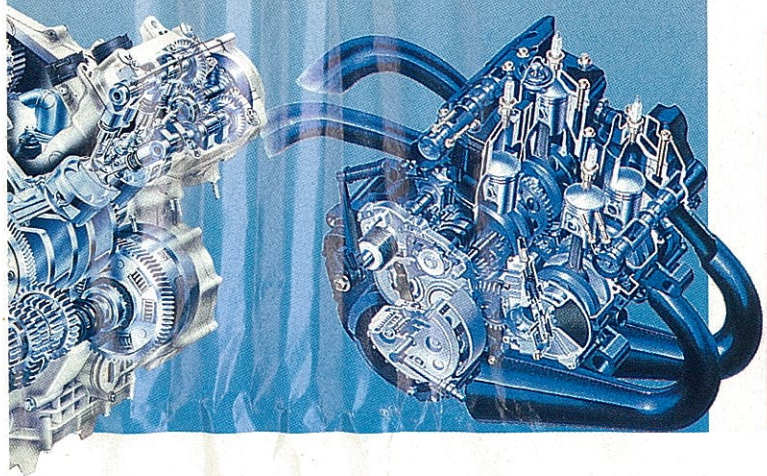
...de manières différentes

...encombrement et de coût de fabrication



...en V Cette disposition ...d'une surface frontale ...rapport au nombre ...Mais elle se paye par la ...multiplier par deux le ...culasse, ainsi que ...de distribution. Un V ...refroidi par air, évacue ...ries du cylindre arrière.

Cylindres en carré Cette disposition est encore plus coûteuse que celle du V, puisqu'elle impose deux vilebrequins et un engrenage pour leur accouplement. Mais elle offre en contrepartie une plus grande souplesse pour disposer un bloc cylindres/culasse par rapport à l'autre, légèrement décalés en hauteur comme sur le 500 RGV Suzuki par exemple.



En résumé

- **Un monocylindre** ne peut augmenter considérablement la puissance qu'il délivre en raison de son régime de rotation limité par l'inertie importante de ses pièces en mouvement et les efforts qu'elles subissent.
- **Un multicylindre** permet d'accroître le régime de rotation, la cylindrée, donc le couple et la puissance, par la répartition des efforts sur plusieurs cylindres.
- **La disposition des cylindres** peut répondre à divers cahiers des charges et se répartit en deux grandes familles : en ligne ou en V.
- **L'équilibrage** du train alternatif (vilebrequin et pistons) permet d'éliminer en grande partie les vibrations engendrées par les explosions et le va-et-vient des pistons et des bielles dans les cylindres.

MOTUL MOTO Protect

Une gamme de produits d'entretien pour conserver à votre moto son éternelle jeunesse.



MOTUL

La chasse aux vi

Les Beach Boys chantaient les « bonnes vivrations », mais en mécanique, elles riment plutôt avec destruction. Voyons comment les éliminer sur le monocylindre, le moteur qui vibre le plus.

Pepe Burgaleta. Traduction/adaptation Jérôme Eline, illustration Lionel Boloré.

Le vilebrequin est entraîné par la bielle et le piston, qui sont soumis à des accélérations et freinages intenses en passant aux points morts haut et bas. A chaque fois, le vilebrequin est plaqué sur ses paliers.

Aux angles de rotation intermédiaires entre PMH et PMB, le maneton, qui est excentré, crée une force centrifuge qui plaque également les tourillons dans les paliers. Tout ceci avec une telle force que tout le moteur bouge (vers le haut, vers le bas, à droite puis à gauche).

Ces déséquilibres ne créent pas de mouvements amples, mais leur répétition cyclique et rapide devient vibration.

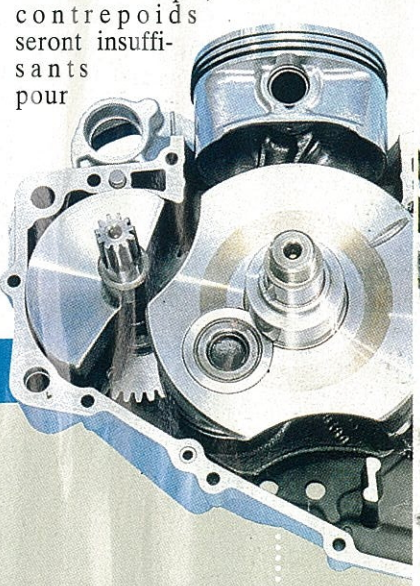
Pour éviter les vibrations, il faut donc rétablir les équilibres rompus d'une part par la rotation du vilebrequin et d'autre part par le mouvement alternatif du piston et le complexe déplacement pendulaire de la bielle.

L'équilibrage statique

C'est l'application, au niveau du vilebrequin, du même principe que celui mis en œuvre pour équilibrer une roue. C'est l'équilibrage le plus facile à obtenir. Il suffit en effet de disposer un contrepoids diamétralement opposé au maneton, pour générer une deuxième force centrifuge qui s'oppose à celle qui s'applique au niveau du maneton. Pour obtenir un équilibre correct, on détermine le contrepoids non seulement en fonction du maneton, mais aussi du poids du roulement ou du coussinet de tête de bielle, auquel on ajoute encore un tiers du poids de la bielle. Les deux autres tiers sont considérés comme liés au piston.

Les forces d'inertie

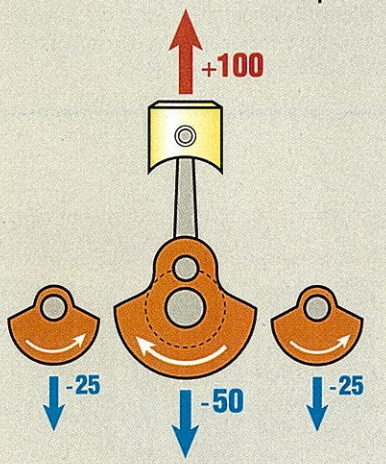
Le piston et ces deux tiers de bielle qui vont avec sont les plus empoisonnants. Si le vilebrequin est correctement équilibré en statique, ses contrepoids seront insuffisants pour



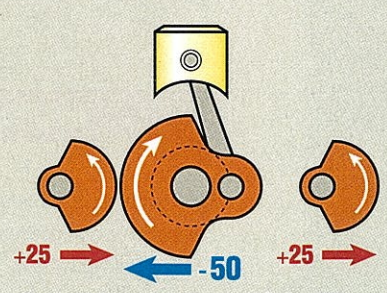
L'équilibrage par arbres à balanciers

On annule les vibrations en opposant deux déséquilibres

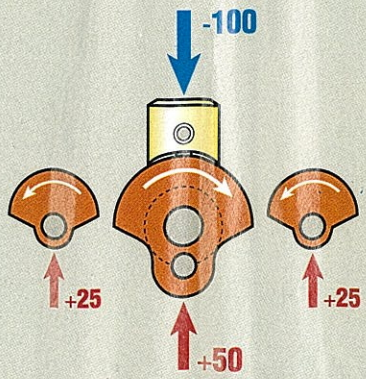
Principe de fonctionnement d'un monocylindre à deux balanciers d'équilibrage. On considère que le piston crée un déséquilibre de 100%. La masse du vilebrequin en équilibre la moitié, soit 50%. Chacune des deux petites masses des balanciers se charge de 25%.



Le piston tire pour 100% vers le haut. Les trois autres masses sont tournées vers le bas et tirent dans l'autre sens : 100% - (25%+25%+50%)=0.



Il s'agit de combattre le déséquilibre dû à la masse du vilebrequin. Elle tire pour ses 50% vers la gauche, chacune des deux masses des balanciers lui oppose ses 25%, ce qui donne : 50% - (25%+25%)=0.



Le piston tire pour 100% vers le bas. Les trois autres masses sont tournées vers le haut et tirent dans l'autre sens : 100% - (25%+25%+50%)=0.



Le vile de rota change librage

brations

contrecarrer l'inertie du piston en plein freinage en arrivant par exemple au PMH. La solution la plus évidente consiste donc à augmenter le contrepoids pour vaincre cet effort du piston. Seulement, l'équilibre statique s'en trouve alors altéré : on a éliminé une partie des vibrations causées par le piston en en recréant au niveau du vilebrequin. Globalement, le compromis adopté sur un tel moteur vise à équilibrer 50% de chaque type de vibrations. Il en subsiste toujours, mais leur intensité est moindre. C'est ainsi que fonctionnèrent des générations de monos, qui perdaient allègrement leurs boulons.

Ceci jusqu'au jour béni où un glorieux inconnu eut l'idée de doter son moteur d'un système annexe ayant pour seule fonction de rétablir l'équilibre que le piston s'acharne à rompre. J'ai nommé le balancier d'équilibrage.

Les balanciers d'équilibrage

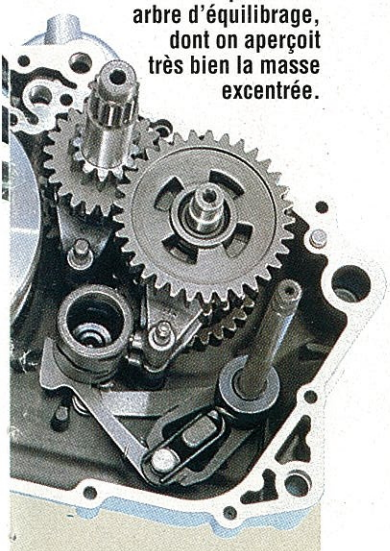
Au prix de quelques pignons et paliers supplémentaires dans le moteur, on ajoute un ou deux arbres munis d'une masse excentrée, qui, déséquilibrée par nature, va créer un nouveau déséquilibre. Toute la ruse consiste alors à en caler le mouvement par rapport au vilebrequin, de façon à obtenir des forces de sens opposé qui, au total, s'annulent. C'est le principe du tir à la corde : si chaque équipe tire dans un sens avec la même force, la corde ne bouge pas d'un millimètre.

Pour éliminer toutes les vibrations, il faudrait quatre balanciers. Solution trop onéreuse qui explique que l'on trouve en fait des systèmes à un ou deux arbres. Ceux-ci se partagent la tâche de l'équilibrage en relation avec le contrepoids du vilebrequin.

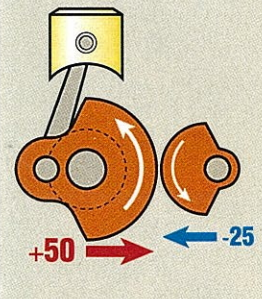
En considérant que le piston crée un certain déséquilibre (notez l'euphémisme !), le vilebrequin en équilibrera 50%. Les 50% restants seront vaincus par le ou les balanciers, dont les masses seront toujours tournées en opposition avec le déséquilibre à combattre.

Ainsi, aux PMH et PMB, les masses du vilebrequin et des balanciers tirent dans le même sens, s'associant pour compenser l'effort du piston. Aux angles intermédiaires, les forces des contrepoids du vilebrequin et des balanciers se trouvent en opposition pour s'annuler.

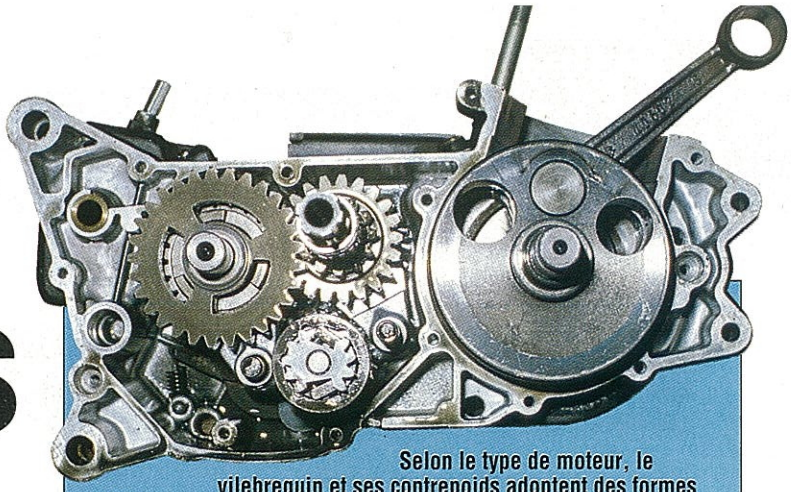
Simple et donc génial. ■



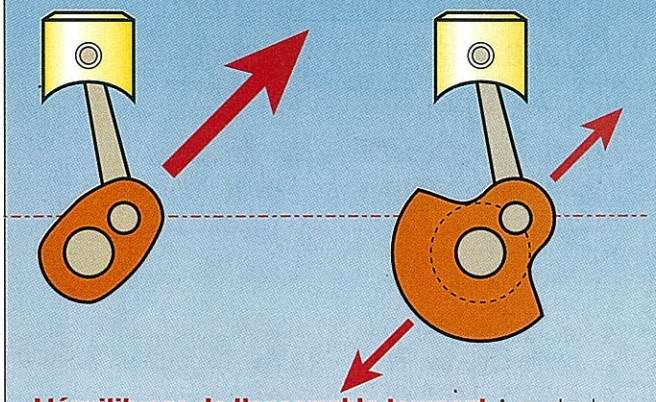
Le moteur de la BMW F 650 n'utilise qu'un seul arbre d'équilibrage, dont on aperçoit très bien la masse excentrée.



brequin termine son tour tion. Le sens des forces mais le principe d'équi- reste le même.



Selon le type de moteur, le vilebrequin et ses contrepoids adoptent des formes différentes. Comme les masses d'un deux-temps doivent remplir une grande partie du bas carter, elles sont en général circulaires. L'équilibrage est obtenu soit par des perçages qui allègent la zone autour du maneton, soit par des masses supplémentaires (plomb par exemple) disposées en face du maneton.



L'équilibrage de l'ensemnble tournant A gauche, la rotation du vilebrequin crée une force centrifuge au niveau de son maneton. Cette force le tire sur un côté, le plaquant contre son palier. A droite, une masse diamétralement opposée crée une force de sens opposé qui annule celle s'appliquant au niveau du maneton.

En résumé

- **Les vibrations** sont créées par le mouvement alternatif de la bielle et du piston, mais aussi par la rotation du vilebrequin.
- **Le vilebrequin** est équilibré par un contrepoids de même masse que le maneton et qui lui est diamétralement opposé.
- **Le contrepoids** peut être augmenté pour équilibrer l'inertie du piston, mais il rompt alors l'équilibre précédent.
- **Les balanciers d'équilibrage** génèrent une force centrifuge qui vient s'opposer soit à l'inertie du piston, soit au déséquilibre du vilebrequin

SILICONE CLEAN

Ravive plastiques, peintures et vernis !
Dépose un film protecteur longue durée
sec et brillant.



MOTUL

Equilibrage des

Un moteur devient multicylindre à partir de deux cylindres. Plus on lui en ajoute, plus les vibrations diminuent et plus il tourne rond. Voyons cela, en commençant par les multi "en ligne".

Pepe Burgaleta. Traduction/adaptation Jérôme Eline, illustration Lionel Boloré.

En multipliant les cylindres, on peut utiliser le mouvement d'un piston pour annuler celui d'un autre et réduire les vibrations. De plus, les explosions, plus fréquentes, réduisent les phases pendant lesquelles le moteur tourne sur l'inertie qu'il a emmagasinée. Il y a plus souvent, voire toujours, un piston pour pousser sur le vilebrequin. Concrètement, un multicylindre cale moins facilement et moins brutalement qu'un monocylindre.

Entrons dans les ordres

Avant d'entrer dans les particularités de chaque moteur, précisons un point complexe sur les vibrations. Mathématiquement, les phénomènes de vibration d'un équipage mobile en mouvement se décomposent et se mesurent en fonction de divers paramètres.

La décomposition chiffrée se fait selon une suite, dite de différents "ordres", en prenant à chaque instant comme base l'angle que forme le maneton avec l'axe du cylindre qui lui correspond.

Au premier ordre, on considère une fois l'angle, multiplié par un tas de trucs comme le couple transmis, le poids des pièces de l'équipage mobile, la vitesse de rotation, etc.

Au second ordre, on compte le double de l'angle, multiplié là aussi par un tas de trucs. Pour les ordres suivants, on double à chaque fois le coefficient multiplicateur de l'angle de départ. Contentons-nous de retenir que les vibrations de premier ordre sont les plus violentes, que celles de second ordre sont sensibles, et qu'elles sont négligeables pour les ordres suivants.

Les bicylindres

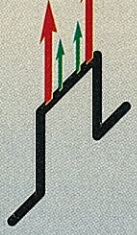
Deux écoles s'affrontent pour en disposer les pistons. A 360°, ils montent et descendent ensemble, générant autant de vibrations primaires (de premier ordre) qu'un mono. Disposition justifiée par une succession plus régulière des explosions, qui se succèdent tous les tours, dans un quatre temps.

A 180°, les pistons fonctionnent en opposition, leurs efforts

L'equilibrage dépend du calage des

Plus les cylindres sont nombreux, meilleurs sont l'é

Les bicylindres

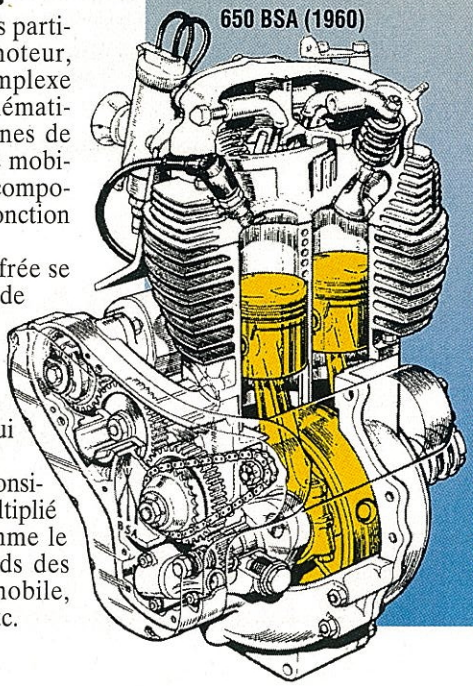


A gauche, calage à 360° (ou zéro degré). Les pistons montent et descendent ensemble. Dans la position du dessin, l'angle entre cylindre et maneton est de zéro. Deux fois zéro égalent toujours zéro, de sorte que les forces de premier et second ordres se trouvent toutes dans le même sens, engendrant de fortes vibrations. Par contre la régularité cyclique est bonne avec un temps moteur par tour de vilebrequin.

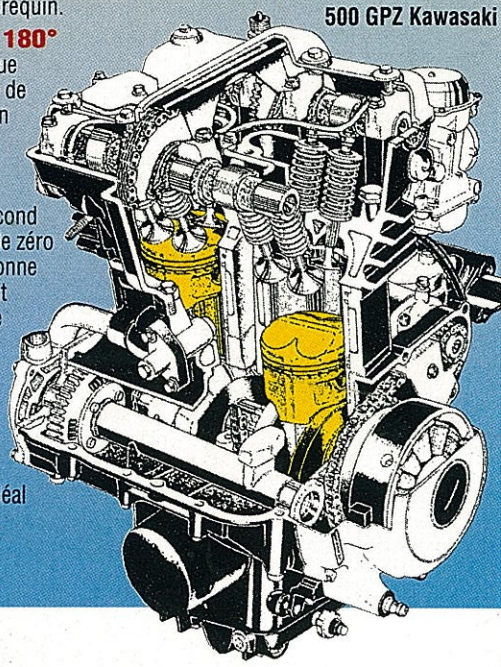


A droite, calage à 180° Un piston monte alors que l'autre descend. La force de premier ordre d'un piston est compensée par celle de l'autre, dont le maneton est décalé de 180° degrés. Au niveau du second ordre, le double de l'angle zéro du cylindre de gauche donne toujours zéro, la force est également dirigée vers le haut. Sur le cylindre de droite, 180° x 2 = 360°, soit zéro degré. La force F2 se retrouve vers le haut et rien ne l'annule. Côté régularité cyclique, ce n'est pas l'idéal avec des temps moteurs mal répartis sur le cycle.

650 BSA (1960)



500 GPZ Kawasaki



moteurs en ligne

se compensent pour lutter contre les vibrations primaires. Sur un deux-temps dont le cycle, rappelons-le, s'effectue sur un tour de vilebrequin donc 360°, cette disposition espace régulièrement les explosions, mais sur un quatre-temps, dont le cycle s'effectue sur deux tours de vilebrequin, donc 720°, la seconde explosion intervient 540° après la première.

On comprend, en regardant un tel équipage mobile de face, qu'il soit déséquilibré et vibre, car le poids d'un piston au PMH n'est pas compensé puisque son collègue est, lui, au PMB. Phénomène d'autant plus marqué que le vilebrequin est long et fléchit sensiblement sous l'effet de la force considérable de l'explosion. Tout ceci peut néanmoins s'annuler par des arbres d'équilibrage du même type que ceux des monos.

Trois, quatre... et six

Calé à 120°, un trois cylindres bénéficie d'une bonne régularité cyclique, avec des explosions régulièrement espacées. La répartition des efforts est donc bonne, mais lorsque le piston de gauche est en haut, celui de droite est en bas ce qui, accentué par la longueur du vilebrequin, engendre un effet de levier qui augmente l'intensité finale des efforts.

On approche de la solution avec le quatre cylindres. Une explosion tous les 180° (pour un quatre-temps), qui se traduit par une poussée quasi permanente sur le vilebrequin. Côté vibration, les pistons centraux montent et descendent ensemble, idem pour les extérieurs. Vu de face, il est évident que le moteur ne "tombe" ni d'un côté ni de l'autre. En revanche, il subsiste des vibrations de second ordre, que des constructeurs perfectionnistes annulent par un arbre d'équilibrage annexe.

Terminons par le cas du six cylindres, presqu'idéalement équilibré par nature. Régularité cyclique : au poil, avec une explosion tous les 120° du cycle d'un quatre-temps. Cette parfaite répartition des efforts sur le vilebrequin n'induit pratiquement aucun déséquilibre. Même les matheux ne trouvent pas de vibrations, puisque celles du premier et du second ordres s'annulent. Seuls problèmes de ces rares et prestigieux moteurs : l'encombrement et le prix.

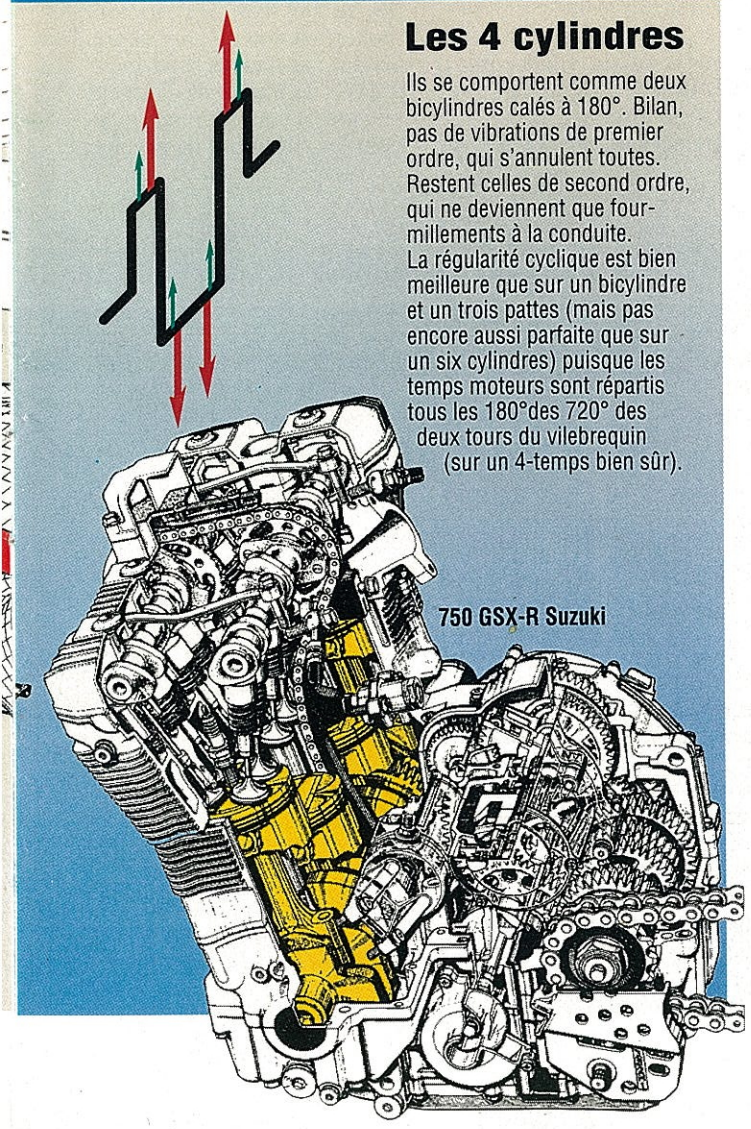
Ça ne va jamais ! ■

manetons du vilebrequin

uilibrage et la régularité cyclique

Les 4 cylindres

Ils se comportent comme deux bicylindres calés à 180°. Bilan, pas de vibrations de premier ordre, qui s'annulent toutes. Restent celles de second ordre, qui ne deviennent que fourmillements à la conduite.
La régularité cyclique est bien meilleure que sur un bicylindre et un trois pattes (mais pas encore aussi parfaite que sur un six cylindres) puisque les temps moteurs sont répartis tous les 180°des 720° des deux tours du vilebrequin (sur un 4-temps bien sûr).



750 GSX-R Suzuki

En résumé

- **Les vibrations** se calculent en "ordres" successifs. Celles que l'on cherche à éliminer sont définies de premier et de second ordres.
- **Sur un multicylindre,** les vibrations de premier et second ordres d'un cylindre peuvent s'annuler ou au contraire s'additionner avec celles d'un autre cylindre.
- **La régularité cyclique** d'un moteur dépend de la succession régulière des explosions et s'améliore avec leur rapprochement.
- **Plus les cylindres sont nombreux,** meilleure est la régularité cyclique et plus les diverses vibrations ont de chances de s'annuler entre elles.

MOTOWASH

La propreté du bout des doigts ! Biodégradable ce nettoyant élimine toutes salissures et dépose un film protecteur anti-corrosion.



MOTUL

Equilibrage des

Entre angle et nombre de cylindres, l'architecture moteur en V offre de multiples combinaisons. Revue d'effectifs de cette vaste famille, pour le dernier chapitre consacré au moteur.

Pepe Burgaleta. Traduction/adaptation Jérôme Eline, illustration Lionel Boloré.

L'appellation "en V" regroupe toutes les architectures moteur dans lesquelles les cylindres ne sont pas disposés en ligne. Avec une définition aussi large, on peut ainsi prendre en compte des moteurs dont les cylindres se font face, séparés en fait par un angle de 180°.

Les bicylindres

Les plus fréquents dans cette famille. Leur vilebrequin peut être soit longitudinal, comme sur les Guzzi ou BMW, soit transversal, comme sur les Ducati, Harley, Yamaha Virago, Honda Transalp, etc.

Hormis le BMW et ses 180° d'ouverture, les autres moteurs ont un angle inférieur ou égal à 90° : le but principal d'une telle architecture est en effet la recherche de compacité et d'une surface frontale réduite.

Si la position du vilebrequin n'a pas de conséquence en matière de vibrations, la manière dont les bielles s'y accrochent est, elle, déterminante. Dans le cas le plus simple du "calage à 360°", les deux bielles se trouvent sur un même maneton : soit côte à côte, au prix d'un léger décalage des cylindres, soit par le truchement d'une bielle en fourche qui enjambe sa collègue. Dans les deux cas, les vibrations de premier ordre ne sont pas naturellement équilibrées. Un contrepoids peut y pallier, mais les forces de second ordre restent.

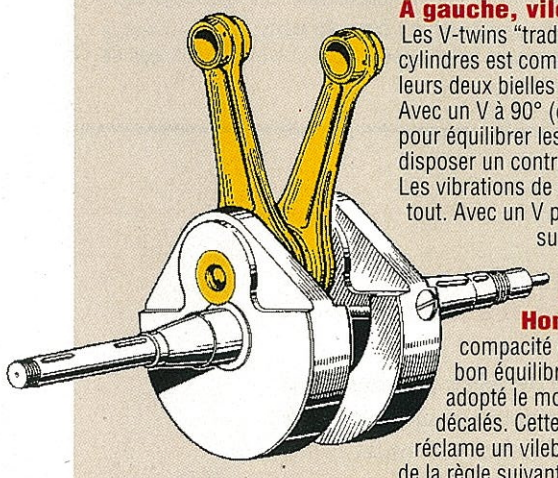
En calant les manetons à 180° (opposés sur le vilebrequin), on équilibre directement les forces de premier ordre. Le problème subsiste au second ordre, compliqué qui plus est par d'autres déséquilibres dus à la longueur du vilebrequin, comme sur un bicylindre en ligne. De plus, les deux manetons élèvent le coût de fabrication et cette solution est donc souvent écartée.

Quitte à fabriquer un vilebrequin à deux manetons pour un moteur en V, autant prendre en compte l'angle entre les deux cylindres et le refermer pour la compacité. Il en résulte des vilebrequins "déphasés", en vertu d'une règle qui veut que la somme du demi-angle entre les manetons et de l'angle entre les cylindres soit un multiple de 90°. Ceci pour éliminer les vibrations primaires, les plus importantes.

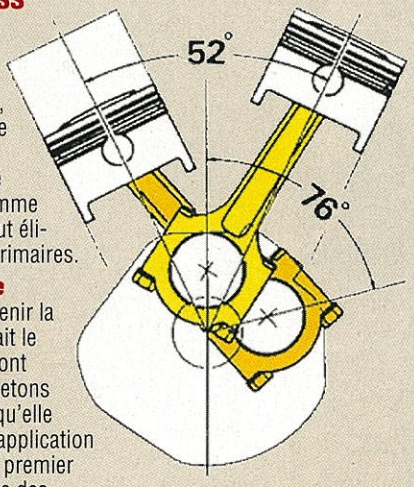
Reste le cas du moteur "boxer" et son célèbre représentant : le fameux "flat-twin" BMW. Hormis sa largeur gênante, il équilibre naturellement les vibrations de premier

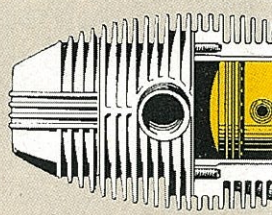
L'angle du V et le calage des manetons détermin

Le V à 90°, à 180° ou bien l'utilisation de manetons décalés permettent



A gauche, vilebrequin de Ducati 900 SS Les V-twins "traditionnels", dont l'angle entre les cylindres est compris entre 45° et 90°, ont leurs deux bielles calées sur un même maneton. Avec un V à 90° (comme sur les moteurs Ducati), pour équilibrer les vibrations primaires, il suffit de disposer un contrepoids diamétralement opposé. Les vibrations de second ordre subsistent malgré tout. Avec un V plus fermé (45°par exemple, comme sur les moteurs Harley), on ne peut éliminer toutes les vibrations primaires.





A droite, vilebrequin de Honda 600 Transalp Pour obtenir la compacité d'un V très fermé qui posséderait le bon équilibrage d'un V à 90°, les Japonais ont adopté le montage des bielles sur deux manetons décalés. Cette technique plus onéreuse, puisqu'elle réclame un vilebrequin plus complexe, est une application de la règle suivante : pour équilibrer les forces de premier ordre, il faut que l'angle du V ajouté au demi-angle des manetons corresponde à 90°, ou à un multiple de 90°. Exemple : le V du Transalp fait 52°, plus 38° (76° : 2) = 90°.

moteurs en V

et second ordres, grâce à son calage à 180°, cohérent avec l'ouverture des cylindres, elle aussi à 180°. Côté régularité cyclique, tout va bien également : une explosion par tour. En cherchant la petite bête, on trouve bien une petite flexion du vilebrequin dont les manetons ne sont pas dans un même plan. Supportable.

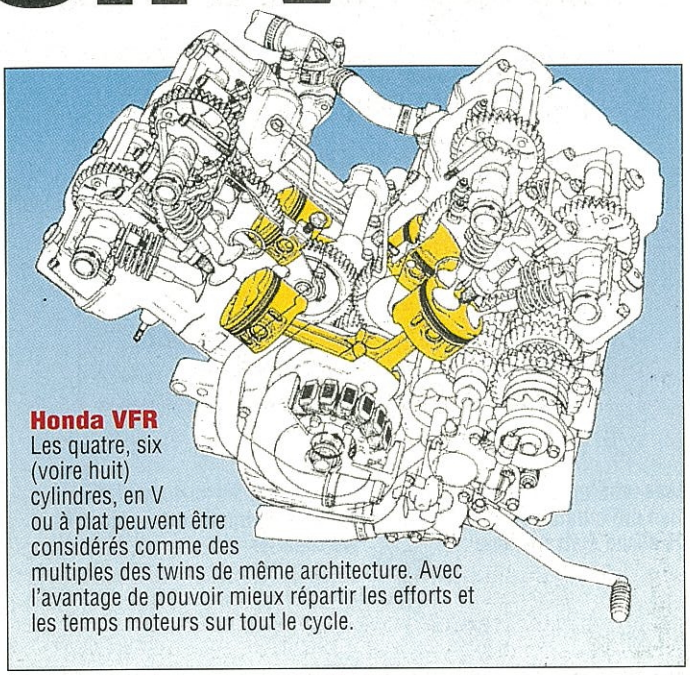
Plus de deux cylindres

Cas le plus fréquent : quatre cylindres, avec des angles variant de 90 à 180° entre deux bancs opposés. Là aussi, le calage relève de deux options : 180 ou 360°.

Dans un V à 90° d'ouverture calé à 360°, les pistons d'un même banc montent et descendent ensemble. D'où vibrations primaires qu'un contrepoids peut équilibrer. Pour le second ordre : rien à faire. En calant à 180°, mêmes problèmes, toujours des contrepoids, déphasés alors comme les manetons, de 180°.

Finalement, la meilleure solution contre les vibrations reste l'ouverture totale à 180°. Soit l'accouplement de deux boxers BMW, avec les mêmes avantages et inconvénients.

Certains sont allés encore plus loin : Laverda avec un V6, Honda avec un 6 à plat, voire encore plus rare, Guzzi dans les années cinquante ou Morbidelli dernièrement avec des V8. La régularité cyclique donne des moteurs d'une souplesse remarquable. Leur équilibrage s'approche de la perfection. Le concepteur peut choisir la disposition des manetons, pour qu'ils se compensent au mieux les uns les autres. Seul problème, un vilebrequin long qui fléchit, comme nous l'avions remarqué sur les trois ou quatre cylindres en ligne. Ceci sans évoquer les questions d'encombrement et de coût de fabrication. ■



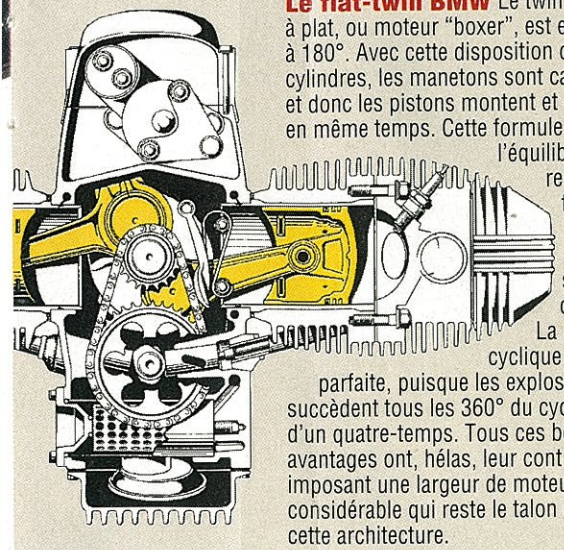
Honda VFR Les quatre, six (voire huit) cylindres, en V ou à plat peuvent être considérés comme des multiples des twins de même architecture. Avec l'avantage de pouvoir mieux répartir les efforts et les temps moteurs sur tout le cycle.

En résumé

- **L'angle entre les deux bancs de cylindres** d'un moteur en V varie de 45 à 180 degrés.
- **Les twins en V à 90°** ont le plus souvent leurs manetons calés à 360°, ou simplement leurs deux bielles calées sur le même maneton, des contrepoids équilibrant les vibrations primaires.
- **Ouvert et calé à 180°,** un bicylindre équilibre les vibrations de premier et second ordres.
- **Avec d'autres angles,** on peut soit caler les deux bielles sur le même maneton mais au prix de fortes vibrations, soit sur deux manetons décalés qui augmentent le coût de fabrication.
- **Les V4** sont l'addition de deux bicylindres en V, avec des bielles calées à 180 ou 360°.

ent un bon équilibrage

d'éliminer les vibrations primaires



Le flat-twin BMW Le twin à cylindres à plat, ou moteur "boxer", est en fait un V à 180°. Avec cette disposition des cylindres, les manetons sont calés à 180°, et donc les pistons montent et descendent en même temps. Cette formule permet l'équilibrage naturel des vibrations de premier comme de second ordre. La régularité cyclique est parfaite, puisque les explosions se succèdent tous les 360° du cycle à 720° d'un quatre-temps. Tous ces beaux avantages ont, hélas, leur contrepartie, imposant une largeur de moteur assez considérable qui reste le talon d'Achille de cette architecture.

MULTIPROTECT

Huile multi-fonctions indispensable après chaque lavage ! Protège contre la corrosion, repousse l'eau et l'humidité... et dégrippe.



MOTUL

Chasse et an

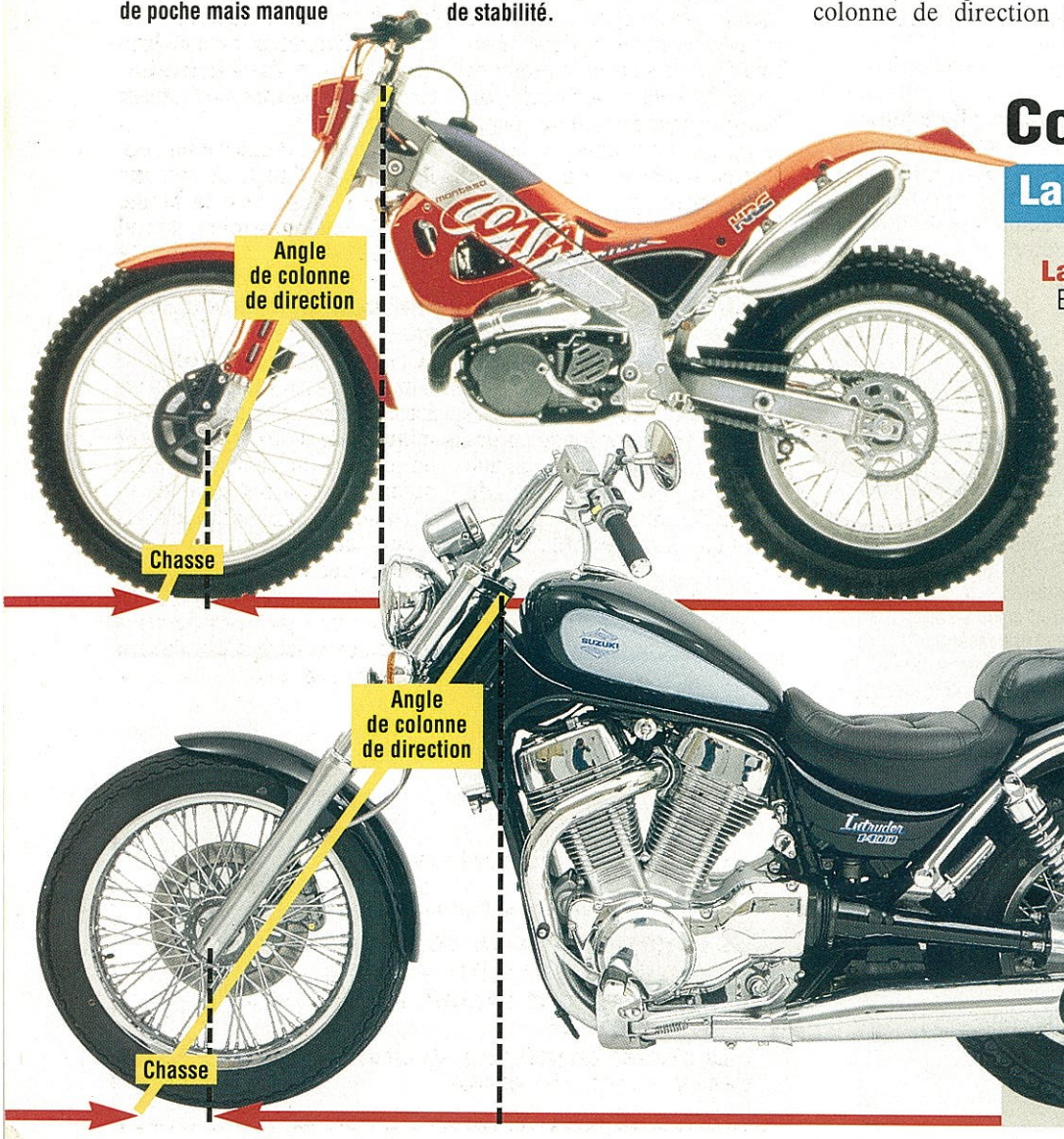
Chasse et angle de chasse ont une influence considérable sur la maniabilité et la stabilité de la moto. Voyons comment.

Pepe Burgaleta.
Traduction/adaptation Jérôme Eline, illustration Lionel Boloré.

Aujourd'hui, la plupart des motos sont commercialisées avec une fourche télescopique (Yamaha avec sa GTS et Harley avec sa Springer étant les seuls à se singulariser), qui tourne autour d'une colonne de direction. L'angle d'inclinaison de la colonne de direction et la chasse au sol — déterminée partie par cet angle, partie par le déport des tés (décalage entre l'axe de colonne de direction et les tubes de fourche) — donnent deux valeurs fondamentales de la géométrie de direction.

Avant d'examiner les explications théoriques autour de ces deux paramètres, parlons de leurs conséquences pratiques. Plus l'une et l'autre seront importantes, plus la moto sera stable et moins elle sera maniable. Une moto de trial, qui doit être maniable, se contentera par exemple de 25° d'angle de chasse ou de colonne (par rapport à la verticale) et de

Avec leur fort angle de colonne, autour des 30°, les customs filent bien droit mais tournent difficilement. Le trial vire dans un mouchoir de poche mais manque de stabilité.



Comme la gravité

La chasse ramène toujours

La gravité

Elle s'exerce selon une direction verticale, de haut en bas, vers le centre de la terre. Voilà pourquoi un pendule se trouve en équilibre lorsque sa boule est au point le plus bas de la courbe qu'il décrit. La ficelle qui le soutient se trouve alors alignée pile dans la direction où s'exerce la force de la gravité.



gle de chasse

70 millimètre de chasse. Tandis qu'une grosse routière, qui mise sur la stabilité, tournera plutôt autour de 27° d'angle de chasse et une centaine de millimètres de chasse.

Auto-alignement

Ces valeurs de chasse indicatives sont toutes positives. C'est-à-dire que le point de contact entre le pneu et le sol se situe en arrière du prolongement au sol de l'axe de la colonne de direction. La roue se comporte ainsi un peu comme la boule d'un pendule, accrochée au bout d'une ficelle. Si on déplace la boule d'un côté et qu'on la lâche, elle revient à la position la plus basse qu'elle puisse occuper. En examinant de près les forces qui s'exercent sur la roue située au bout de la fourche d'une moto en mouvement, on s'aperçoit qu'une plus grande chasse correspond en gros à une ficelle de pendule plus longue. De sorte que pour un même déplacement latéral de la boule, le retour à la position d'équilibre est plus franc. Voilà pourquoi plus de chasse égale plus de stabilité et moins de facilité à dévier la roue de sa trajectoire naturellement rectiligne : la moto tourne plus difficilement. La chasse positive et l'effet d'auto alignement qu'elle induit sur la roue permettent par exemple de rouler en lâchant le guidon. On peut ressentir le cas inverse au volant d'une voiture roulant en marche arrière. La chasse des roues directrices devient négative dans ce sens et le moindre coup de volant déclenche un brusque changement de trajectoire, qui peut envoyer le volant en butée si on ne le tient pas fermement.

Précession gyroscopique et angle de chasse

Nous conviendrons, comme le veut l'usage le plus fréquent, de définir l'angle de colonne par rapport à la verticale, qui sera donc l'angle zéro. Pour un déport des tés et une longueur des bras de fourche identiques, une augmentation de l'angle de chasse détermine automatiquement une chasse au sol plus importante.

Autre conséquence : le déplacement de l'axe de précession gyroscopique, ce phénomène qui fait tomber la roue sur le côté et permet d'incliner la moto en virage. Cette chute latérale de la roue se produit autour d'un axe perpendiculaire à celui des bras de fourche. Supposons une fourche qui serait totalement verticale. La rotation du guidon fera débattre l'axe de roue dans un plan horizontal déclenchant certes une rotation de la roue avant, qui va braquer, mais aussi une chute latérale due à la précession nulle. A l'inverse, si les bras de fourche étaient dans un plan horizontal, la roue ne braquerait pas, mais chuterait fortement au moindre mouvement de guidon.

Ajoutons un dernier effet géométrique de l'angle de colonne (ou de chasse, c'est la même chose) : en augmentant, il tend à démultiplier la direction. De sorte qu'il faut plus tourner le guidon pour obtenir un braquage identique.

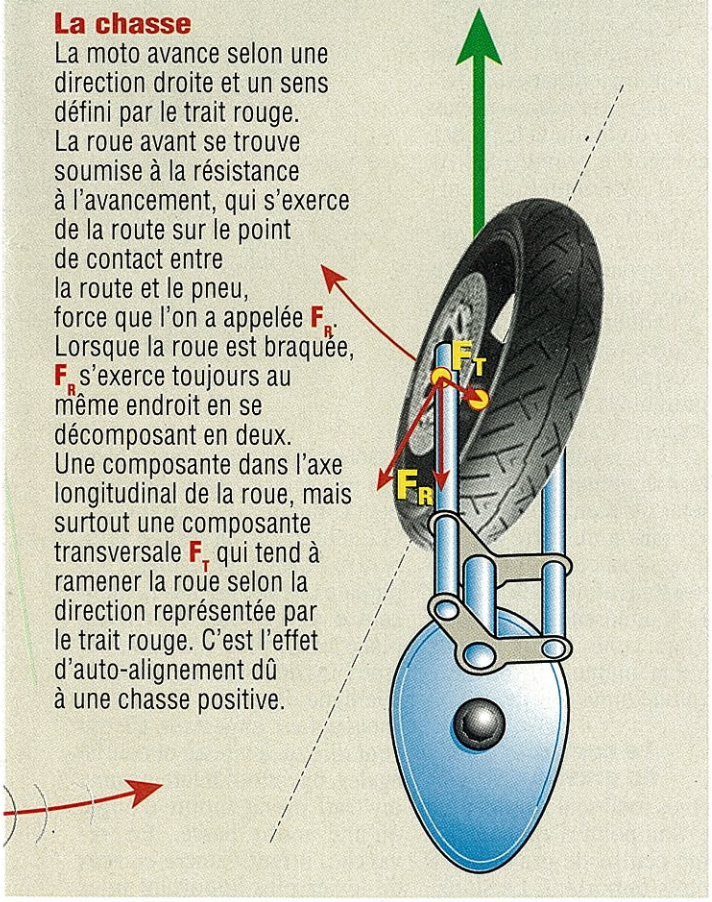
Ces deux caractéristiques fondamentales de la direction affectent le comportement dynamique de la moto, mais agissent en interaction, tant entre elles qu'avec les autres cotes de la partie-cycle comme l'empattement, dont on vous a par ailleurs décrit les effets.

Quand on vous disait que le dessin d'une partie-cycle relevait du casse-tête. Cela s'avère une nouvelle fois. ■

sur la boule du pendule

la roue avant dans l'axe de la moto

La chasse
La moto avance selon une direction droite et un sens défini par le trait rouge. La roue avant se trouve soumise à la résistance à l'avancement, qui s'exerce de la route sur le point de contact entre la route et le pneu, force que l'on a appelée F_R. Lorsque la roue est braquée, F_R s'exerce toujours au même endroit en se décomposant en deux. Une composante dans l'axe longitudinal de la roue, mais surtout une composante transversale F_T qui tend à ramener la roue selon la direction représentée par le trait rouge. C'est l'effet d'auto-alignement dû à une chasse positive.



En résumé

- **Une fourche télescopique classique** se compose de deux bras reliés, d'une part, à la roue avant et, d'autre part, à la colonne de direction, par l'entremise de deux tés.
- **L'angle de la colonne de direction** détermine le comportement dynamique de la moto.
- **Plus cet angle est ouvert,** plus la moto est stable et moins elle est maniable.
- **La chasse au sol,** lorsqu'elle est positive, génère un effet d'auto-alignement de la roue avant.

Un moment de gravité



Diamètre des roues, poids total et sa répartition autour du centre de gravité, sont autant de facteurs qui influencent le comportement dynamique de la moto.

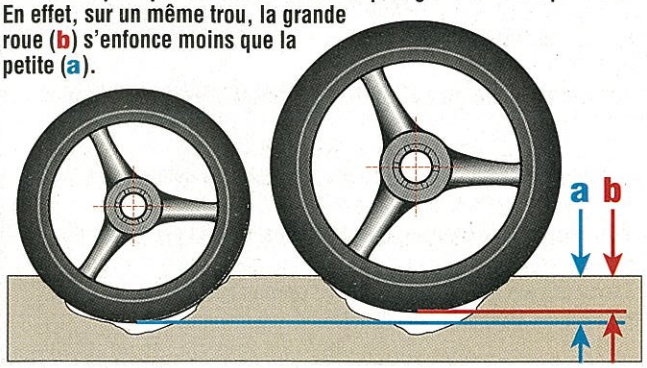
Pepe Burgaleta.
Traduction/adaptation Jérôme Eline, illustration Lionel Boloré.

Après l'étude de la géométrie de direction, voyons une fraction de ce qui fait de la partie-cycle un ensemble complexe, au sein duquel de nombreux paramètres agissent en interaction.

Les roues

Leur diamètre et leur masse influent sur l'effet gyroscopique et l'effort de précession qui les caractérisent. C'est l'un des premiers compromis à rechercher. Une grande roue se tient droite plus facilement mais s'incline moins bien pour les virages. La roue avant tient ici le haut de l'affiche, depuis les 15 pouces de diamètre rencontrés sur certains customs, aux 21 pouces systématiques en tout-terrain. Outre leur effet gyroscopique plus grand, elles justifient cette grande taille par leur moindre enfoncement dans les inégalités du terrain. Ainsi, les coups dans la direction sont plus faibles, la roue ayant une moindre tendance à se planter dans un trou.

Le diamètre des roues Une grande roue offre un effet gyroscopique plus important et est moins sensible aux irrégularités du terrain. C'est pourquoi on utilise en TT les plus grandes roues possible. En effet, sur un même trou, la grande roue (b) s'enfonce moins que la petite (a).



Le poids

Le poids intervient à chaque fois qu'on souhaite changer l'attitude ou la vitesse de la moto : accélération, freinage, virage, voire sauts en TT.

Intuitivement, chacun sait qu'une moto légère accélère mieux. Le freinage n'est qu'une accélération négative et bénéficie aussi d'un éventuel allégement. La puissance à développer dans l'un ou l'autre cas est égale à la vitesse multipliée par la masse en mouvement. D'où logiquement une variation de vitesse, positive ou négative, plus rapide si l'on diminue le poids.

La capacité à prendre les virages est également très influencée par le poids. Chaque variation de trajectoire déclenche l'apparition d'une force centrifuge qui, on l'a vu, s'oppose à l'adhérence des pneus. Cette force répond à une formule simple : $F = M V^2 R$. M représente la masse du solide en rotation, V sa vitesse angulaire et R le rayon de rotation. Donc en diminuant M, on peut augmenter V d'un chouïa — pas plus en raison du carré auquel on élève sa valeur — pour obtenir un F identique. En termes clairs : à adhérence des pneus identique, une moto légère passe une même courbe plus vite qu'une moto lourde.

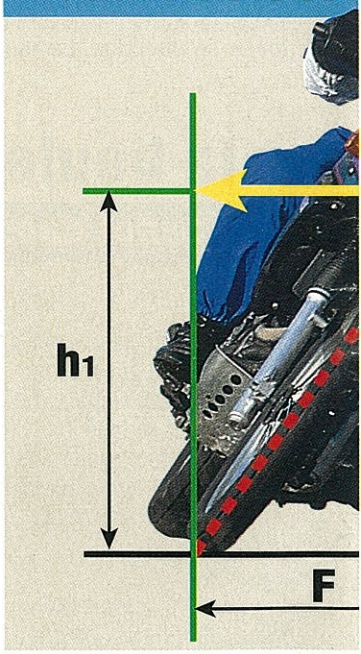
Le centre de gravité

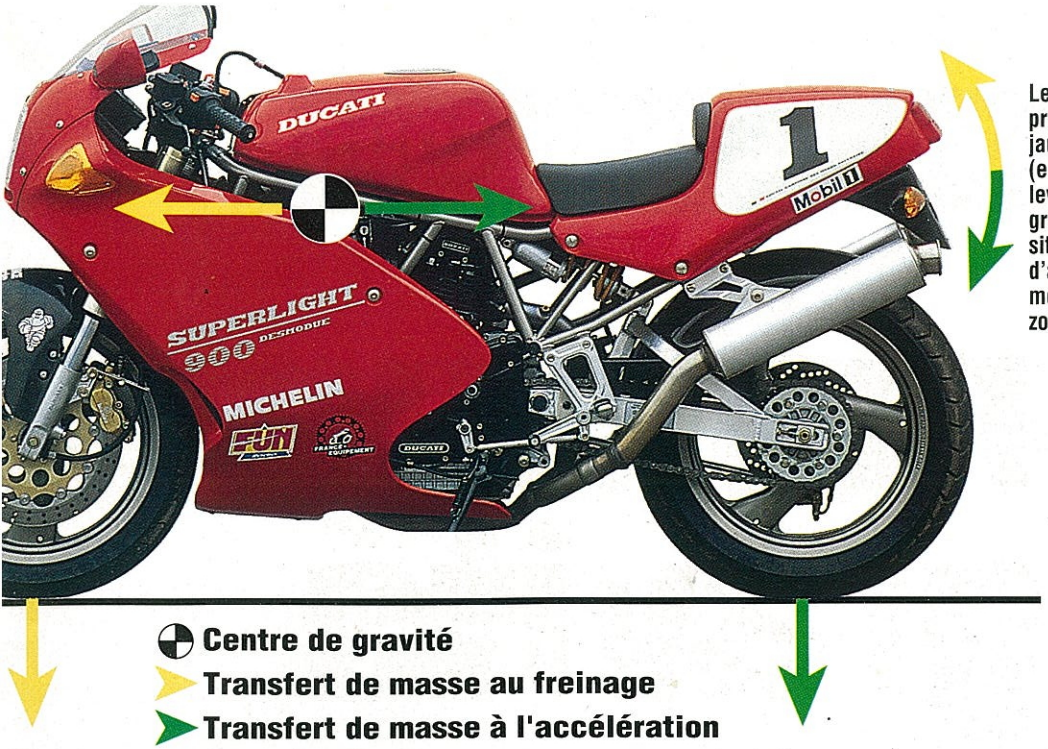
Le poids total seul n'est pas en cause. Son point d'application, nommé centre de gravité, est aussi très important. Le situer exactement sur une moto n'est pas une mince affaire, mais on peut comparer des extrêmes.

L'inclinaison en virage lutte contre la force centrifuge, appliquée comme les autres sur le centre de gravité. Plus il est placé haut, plus son moment (son bras de levier) par rapport à la ligne des points de contact roues/sol est important. Ce qui veut dire qu'à vitesse et courbe égales, une moto haute comme un trail prend moins d'angle qu'une moto basse. En revanche, il faut vaincre ce bras de levier plus important pour

L'emplacem

Plus une moto est





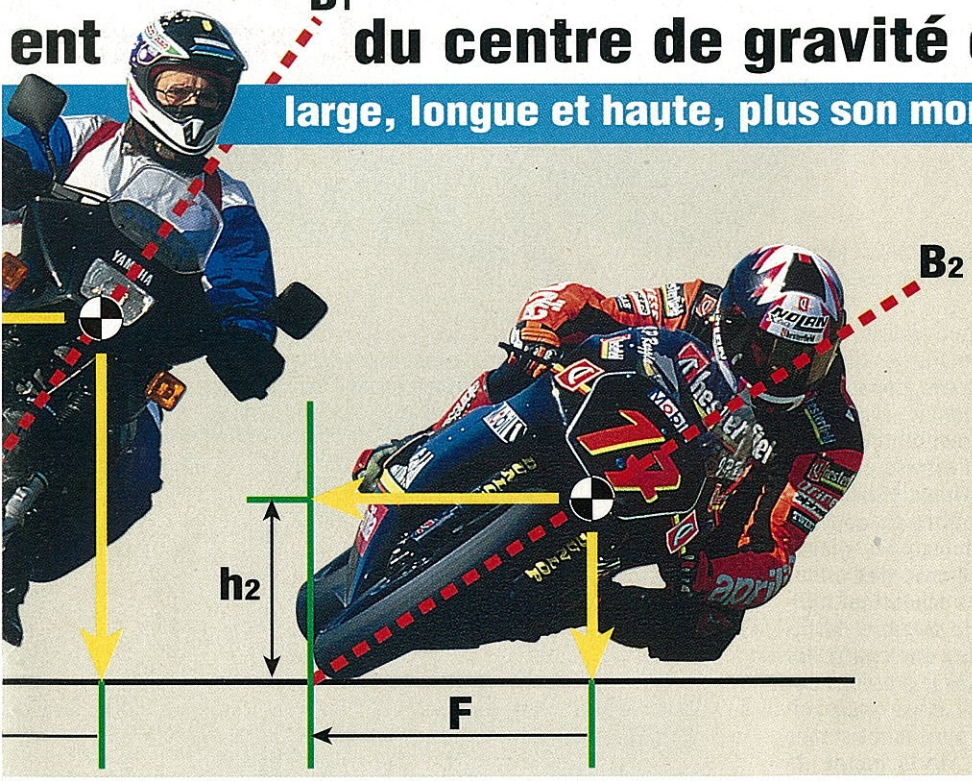
Le transfert de masses se produit au freinage (en jaune) ou à l'accélération (en vert), par un bras de levier autour du centre de gravité. Plus celui-ci est situé haut, plus la variation d'assiette (l'attitude de la moto par rapport à l'horizontale) est importante.

ment d'inertie et par conséquent sa résistance à changer de direction. D'où la volonté souvent affichée de centrer les masses le plus possible autour du centre de gravité, pour augmenter la maniabilité mais... en perdant en stabilité.

On ne répétera jamais assez que tout est affaire de compromis, autour d'éléments cohérents entre eux. ■

ent B1 du centre de gravité est déterminant

large, longue et haute, plus son moment d'inertie augmente



Plus le centre de gravité est haut et moins la moto prend de l'angle. Supposons ces deux motos de même poids et abordant cette même courbe (même si ce n'est pas le cas sur ce shéma) à la même vitesse. Elles sont soumises à la même force centrifuge qui s'applique en leur centre de gravité, c'est la force F. En composant cette force avec l'adhérence des pneus et le poids de la moto, on arrive à un équilibre qui passe simplement par un angle bien différent.
Le déhanchement du pilote déplace le centre de gravité vers l'intérieur du virage et permet, à vitesse de passage en courbe égale, une moindre inclinaison de la moto. Ou, ce qui est le but recherché, avec la même inclinaison de la moto, une augmentation de la vitesse de passage. On notera enfin que la force centrifuge s'exerce avec d'autant plus d'importance que le poids de l'ensemble moto/pilote est plus élevé et que pour combattre ses effets, il faut une meilleure adhérence.

balancer la moto dans le virage, ce que facilite le grand guidon du trail.

La position du centre de gravité influe également sur le transfert de masse, cet effet dynamique qui fait asseoir la moto à l'accélération ou plonger du nez au freinage. Effets intéressants par le surcroît d'adhérence donné à la roue qui travaille. Point trop n'en faut toutefois, sous peine de perdre la direction à l'accélération ou d'avoir la roue arrière qui décolle au freinage. Là aussi, plus le centre de gravité est haut placé, plus important est le moment des masses qui se transfèrent, avec les exagérations de plongée que cela entraîne.

Moments d'inertie

Un funambule perché sur son fil utilise un balancier. Physiquement il augmente son moment d'inertie, répartissant le poids total sur une plus grande distance. Mouvements brusques interdits sous peine de se faire embarquer par le poids, mais stabilité améliorée.

Une moto, haute, large ou longue augmente aussi son mo-

En résumé

- **Le poids et sa répartition** sont, avec la géométrie de direction, les facteurs les plus déterminants du comportement d'une moto.
- **Le centre de gravité** d'une moto est le point d'application de son poids.
- **Le moment d'inertie** se manifeste par une résistance de la moto à changer de direction. Il est d'autant plus important que ses masses sont éloignées du centre de gravité.
- **Un important moment d'inertie** implique que la moto s'oppose à tout changement d'attitude, ou qu'elle en exagère les conséquences : plongée au freinage ou levée de la roue avant à l'accélération.

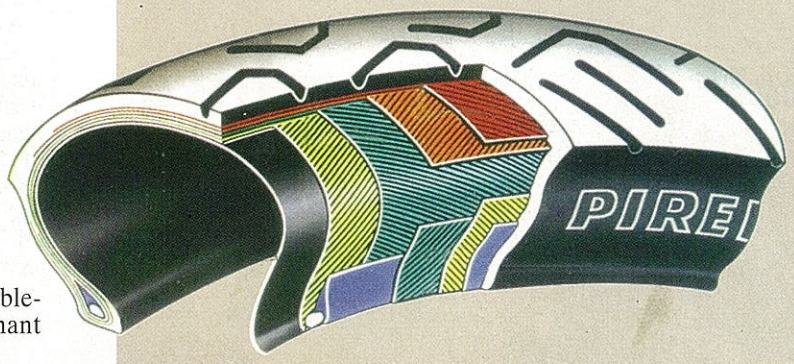
Les pneuma

Le pneu n'est pas qu'un simple bout de caoutchouc sur lequel on peut tirer sans limite. Ses caractéristiques influencent fortement le comportement de la moto.

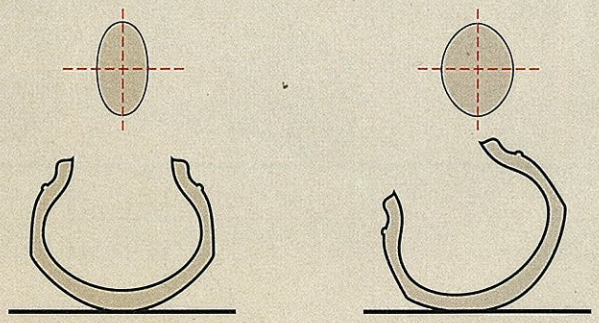
Pepe Burgaleta.
Traduction/adaptation Jérôme Eline,
illustration Lionel Boloré.

Les pneumatiques répo

Avec une structure diagonale ou rad



Carcasse à structure diagonale Elle est constituée de nappes croisées et disposées obliquement par rapport à l'axe de roulement. Si elle rigidifient le sommet du pneu, elles diminuent dans le même temps la souplesse des flancs. Outre leurs poids, ces nombreuses couches échauffent le pneu par les frottements qu'elles génèrent entre elles.



Profil triangulaire Le profil du pneu détermine la surface de gomme au sol dans chaque situation. Avec un profil triangulaire, le frottement en ligne droite est réduit, alors que la surface en contact avec le sol est plus importante en virage. C'est pourquoi il équipe les motos de faible puissance.

Virage, accélération, freinage, température extérieure, humidité... autant de contraintes qui se combinent pour vaincre la résistance offerte par une petite surface de caoutchouc.

La structure

Pour supporter des efforts de sens différents, la structure d'un pneu se doit d'être mixte. D'un côté une "bande de roulement", par laquelle le pneu touche le sol. Le dérivé du caoutchouc qui la compose doit associer un coefficient d'adhérence élevé à une bonne résistance au frottement. Ce qui reste contradictoire. De l'autre côté, un support pour cette bande de roulement : la "carcasse", rigide pour conserver sa forme sous les divers efforts qui lui sont appliqués, mais aussi souple pour absorber une partie des chocs.

La carcasse

Elle se divise en trois zones, toutes constituées de fils, métalliques ou en fibres synthétiques, noyés dans du caoutchouc. Le "talon", très rigide, s'accroche à la jante, en évitant les fuites d'air. Les flancs, plus souples, unissent talon et bande de roulement qui, elle, s'accroche à la "carcasse". Cette dernière bénéficie de toutes les attentions et a considérablement progressé en devenant "radiale".

Dans un pneu classique dit "diagonal", les fils des diverses "nappes" de la carcasse sont disposés en diagonale. Ils évitent à la fois l'augmentation du diamètre avec la vitesse et la déformation en virage. Hélas, augmenter le nombre de couches successives de nappes diagonales croisées crée des pneus très lourds et s'échauffant rapidement, par le nombre de fils qui frottent les uns contre les autres. Ceci oblige à utiliser des gommes dures, donc moins adhérentes. De plus, la résistance à l'expansion de la bande de roulement reste limitée, pendant que les flancs perdent de leur nécessaire souplesse.

Le radial

Dans cette structure, les fils de la nappe principale sont disposés perpendiculairement au sens de roulage. Les flancs s'écrasent dans un sens bien contrôlé puisque dépendant de l'orientation des fils. Pour qu'ils ne soient pas trop souples, les flancs des pneus radiaux sont assez bas et assis sur des jantes bien larges pour être le plus droit possible.

Reste à rigidifier le sommet du pneu. Selon la destination avant ou arrière, ou les préférences du manufacturier, les nappes "sommet" sont constituées de fils diagonaux ou d'une ceinture dirigée selon le sens de roulage.

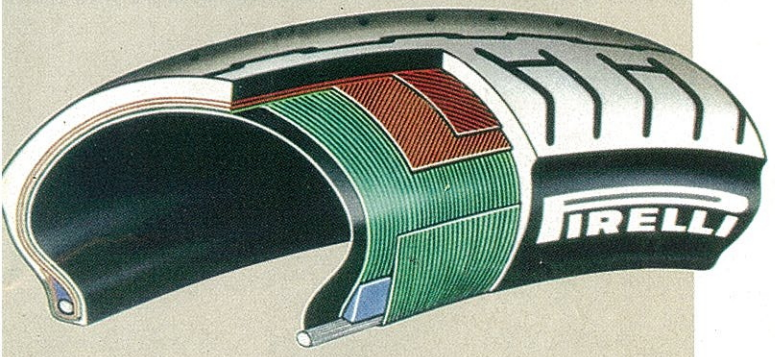
Le profil

La forme de la bande de roulement est dessinée de telle façon que la surface en contact avec le sol augmente avec l'angle de la moto. En ligne droite, on n'a pas besoin d'une grande surface de frottement, qui consommerait de la puissance (même si un minimum est nécessaire pour pouvoir passer la puissance). Sur l'angle, en revanche, la bande de roulement

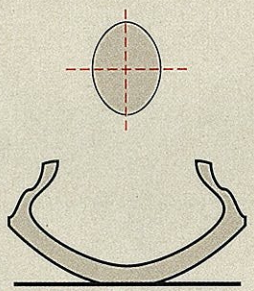
tiques

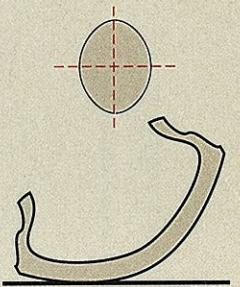
ndent à plusieurs types

ale et un profil rond ou triangulaire



Carcasse à structure radiale La nappe carcasse donne son nom au pneu par sa disposition radiale (prolongeant les rayons de la roue) et assure une grande souplesse des flancs. Perpendiculaire, la nappe sommet évite la centrifugation à haute vitesse. Dans un radial avant, on ajoute des nappes diagonales qui minimisent la tendance à la dérive latérale d'un radial pur.





Profil rond Le profil rond, donc plus "plat", favorise la transmission de la puissance à l'accélération en toutes circonstances. Il offre aussi, en raison de ses frottements plus importants, plus de résistance à l'avancement. C'est pourquoi il est parfait pour les machines puissantes.

doit être importante pour bénéficier d'un maximum de contact.

Roues avant et arrière n'ont pas les mêmes fonctions, mais leurs profils doivent être cohérents pour éviter des points de brutalité lors de la mise sur l'angle. Afin de tenir compte des différences de couples appliquées aux deux roues entre accélérations et freinage, on s'en sort avec une roue arrière plus large.

Les dimensions

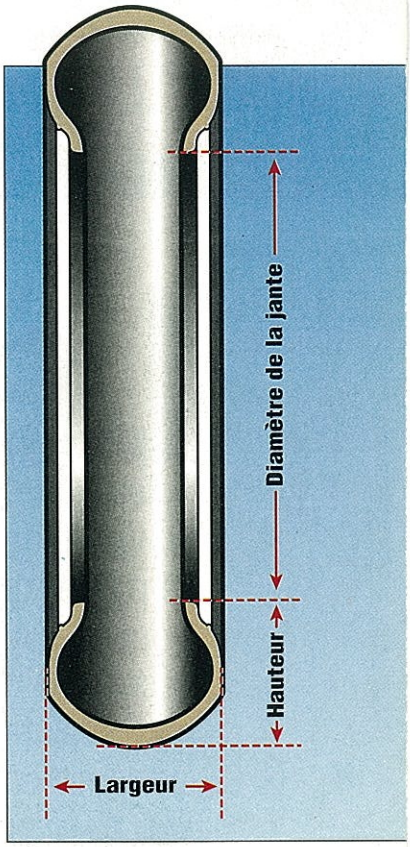
Un pneu se caractérise par trois cotes : diamètre, largeur et hauteur de ses flancs, cette dernière prenant le nom de "taille".

Le diamètre est celui de la jante et s'exprime en pouces anglais (environ 25,4 mm). Il varie de 16 à 21 dans la production courante.

La largeur correspond à la cote hors tout du pneu et est indiquée en millimètres. Quant à la taille, il s'agit d'un pourcentage entre la hauteur et la largeur du pneu. Exemple avec un 120/60-17. 17 est le diamètre intérieur du pneu en pouces. 120 sa largeur en millimètres. 60 signifie que la hauteur vaut 60 % de la largeur soit 120 x 0,6 = 72 mm.

Avec l'extension massive des radiaux, cette taille est de plus en plus basse, jusqu'à 50 actuellement, alors que les "diagonaux" adoptaient des valeurs de 80 à 100.

Ces différences de tailles sont les seules choses directement visibles exprimant les progrès considérables des pneus, qui restent des objets technologiques trop méconnus. ■



Les dimensions du pneu

Exemple : une dénomination de **120/60-17** correspond à **120 mm** de largeur **/60 %** de 120 mm pour la hauteur, et **-17 pouces** anglais de diamètre (le diamètre du fond de la jante).

En résumé

- **Le pneu** se compose de deux éléments, la bande de roulement et la carcasse.
- **La bande de roulement** est la partie du pneu qui est en contact avec le sol. Elle doit avoir un grand coefficient d'adhérence tout en présentant une bonne résistance au frottement.
- **La carcasse,** sur laquelle s'accroche la bande de roulement, est composée de fils métalliques ou synthétiques noyés dans du caoutchouc.
- **Une carcasse diagonale** est consituée de fils disposés en diagonale par rapport à l'axe de la bande de roulement.
- **Une carcasse radiale** est constituée de fils disposés perpendiculairement par rapport l'axe de la bande de roulement.

ANTI-CREVAISON

Boîtier alu surcomprimé à haute contenance ! Regonfle instantanément tous les pneus, avec ou sans chambre, quelle que soit leur taille.



MOTUL

Les suspensi

Si les routes étaient lisses comme du verre, on pourrait peut-être se passer de suspensions. Mais trous et bosses s'ingéniant à faire décoller la moto, il faut un système pour maintenir en permanence les roues en contact avec le sol.

Pepe Burgaleta.
Traduction/adaptation Jérôme Eline,
illustration Lionel Boloré.

Sans suspension, une moto qui passe sur un trou ou une bosse se trouve soumise à une force importante qui la déstabilise. En intercalant un dispositif élastique entre les roues et le reste de la machine, on limite le mouvement de masses importantes et on optimise le contact des pneus avec le sol. Le cadre encaisse moins de contraintes et le gain de confort est appréciable.

Généralités

A l'avant comme à l'arrière, chaque système de suspension comporte une articulation qui lie la roue au cadre et un élément élastique qui autorise un certain mouvement entre les deux.

La suspension avant doit permettre le mouvement de la roue et aussi préserver la fonction de direction, quelle que soit la position de la roue par rapport au cadre. La fourche télescopique est encore le meilleur système existant pour combiner ces contraintes complexes.

A l'arrière, les choses sont plus simples puisque la fonction de direction n'existe pas.

Les contraintes

Des articulations et un système élastique ne suffisent pas pour composer une bonne suspension. L'ensemble doit remplir une série de fonctions qui peuvent poser problème. L'élément élastique n'absorbe qu'une partie des efforts qui passent des roues au châssis, et vice et versa. Au freinage par exemple, la suspension avant se comprime pendant que l'arrière se déleste. Phénomène inverse à l'accélération. En courbe, les deux éléments se compriment sous l'effet de la force centrifuge.

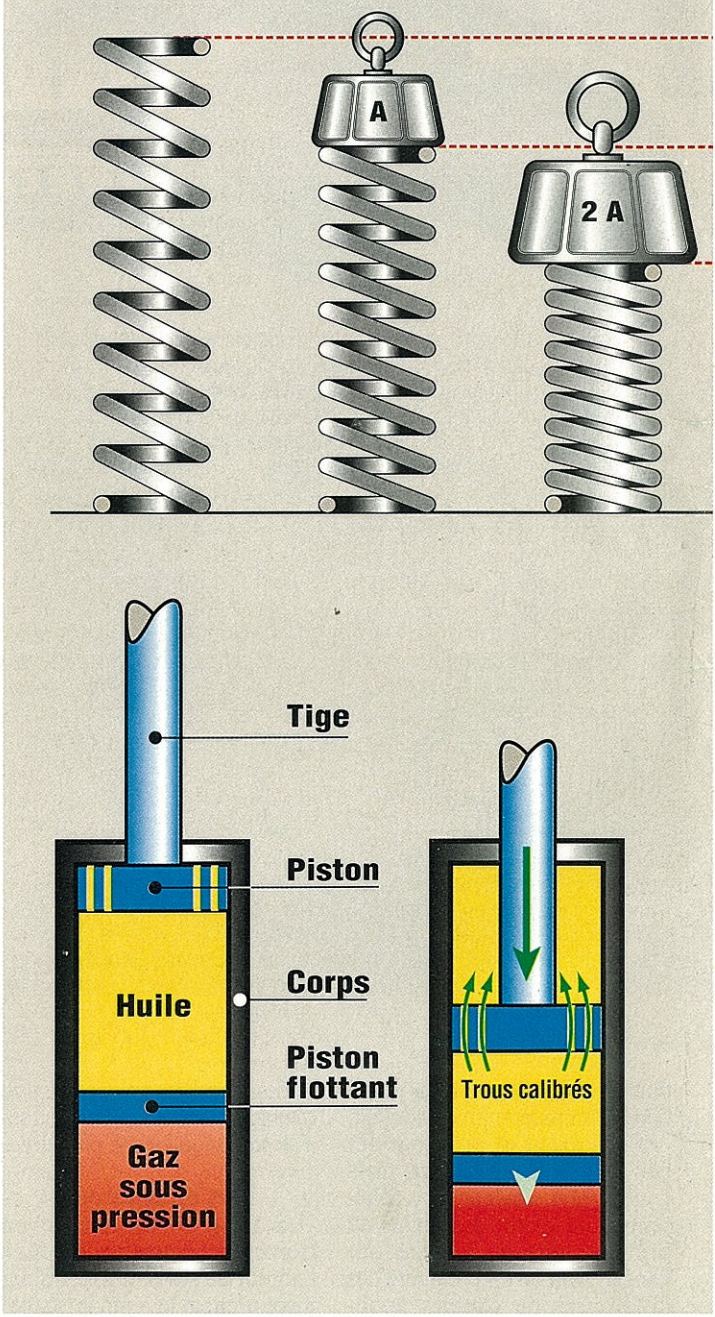
Lors de la conception des éléments de suspension, on doit prendre en compte ces réalités en les confrontant à l'usage qui sera fait de la moto. Pour un usage rapide sur des surfaces relativement lisses, on cherchera des suspensions à faible débattement et plutôt dures, pour ne pas affecter la géométrie globale de la machine en certaines circonstances. Cas inverse avec une moto de tout-terrain. On souhaite des débattements très importants et une suspension souple, de façon qu'aucun des chocs rencontrés ne fasse bouger le cadre, avec les risques de perte de contrôle que cela implique pour le pilote.

Constitution

Les parties élastiques doivent remplir deux fonctions : absorber l'énergie de la déformation due à un choc, puis freiner le plus possible les oscillations consécutives au choc.

Rôle du ressort et de l'

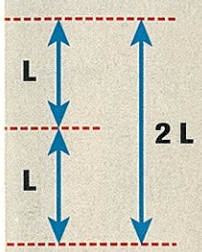
- **En se comprimant, le ressort absorbe**
- **L'amortisseur est un frein qui ralentit**

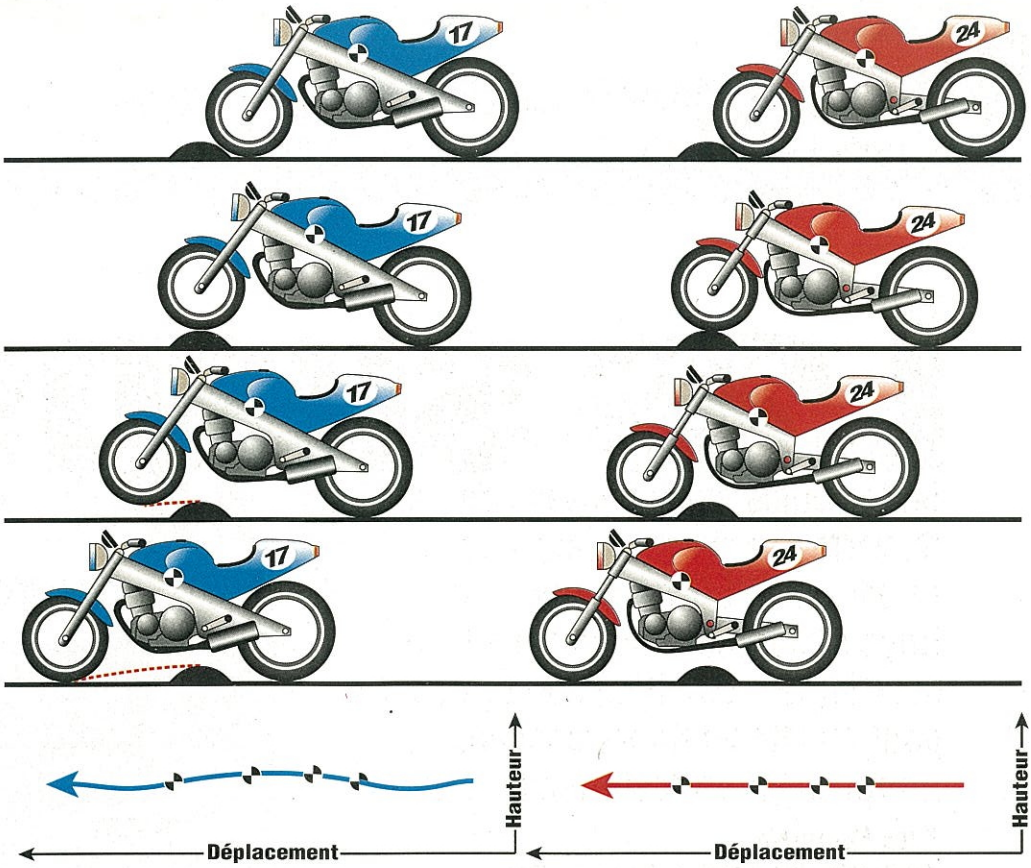


ons

amortisseur

l'énergie du choc sa détente





Comment se comporte une moto sans suspension sur une bosse, et avec une supension

Sans suspension, cette bosse fait sauter la moto de toute sa masse, avec une telle inertie qu'elle décolle jusqu'à tirer les roues avec elle. En examinant les déplacements du centre de gravité, on note deux sauts brusques.

La suspension sépare la roue du châssis. Le choc de la route n'affecte que la seule roue, à l'inertie considérablement plus faible que l'ensemble de la moto. En supposant la suspension idéale, la trajectoire du centre de gravité n'est pas affectée.

L'élasticité est le fait d'un simple ressort, généralement hélicoïdal, tandis que le système associé, qui est le véritable "amortisseur", est hydraulique.

Le ressort se caractérise par sa "constante", coefficient qui lie la force appliquée au ressort et l'enfoncement qui en résulte. On l'exprime par une valeur du type "4 kg par mm". Elle dépend du type d'acier dans lequel est fabriqué le ressort, du diamètre du fil et du nombre de spires. En faisant varier l'écartement entre deux spires tout au long du ressort, on peut lui donner de la progressivité pour qu'il s'enfonce plus facilement sous les petits chocs.

Quand la force qui comprimait le ressort disparaît, celui-ci se détend brutalement et, par le fait de l'inertie des pièces qui bougent avec lui, reprend une longueur plus importante que celle d'origine avant de se comprimer à nouveau légèrement, de se détendre, etc. Oscillations d'autant plus amples et nombreuses que les masses en mouvement sont importantes.

Ces effets néfastes sont évités par l'amortisseur. Visible pour l'arrière ou dissimulé dans la fourche, il se compose d'un piston, muni de trous, qui sépare en deux un réservoir d'huile. Le mouvement du piston, agissant comme un frein, force l'huile à traverser les trous. L'énergie ainsi absorbée par cet effort supplémentaire ne se transforme pas en oscillations du ressort.

Cohérents entre eux et adaptés à la moto, ressort et amortisseur œuvrent pour le même but final: maintenir la roue en contact permanent avec le sol. ■

Le ressort
Il se caractérise par sa constante qui donne son enfoncement en fonction de la force qui lui est appliquée. Exemple : sous un poids A, le ressort s'enfonce d'une longueur L, sous 2A, l'enfoncement sera de 2L, etc. En faisant varier le pas des spires du ressort, on peut obtenir une progressivité de cette constante qui du coup devient... variable.

L'élément amortisseur
Pour freiner les oscillations du ressort, on utilise un amortisseur hydraulique basé sur ce principe. Un réservoir d'huile est séparé en deux par un piston muni de trous. Pour passer d'un côté à l'autre du piston, l'huile doit franchir les trous et l'effort nécessaire freine (amortit) le mouvement.

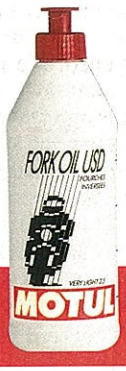
En résumé

- **La suspension** est un dispositif élastique interposé entre les roues et le cadre et qui permet de maintenir un contact permanent entre roues et route. La suspension est constituée de deux éléments : le ressort et l'amortisseur.
- **Le ressort** encaisse les chocs de la route. Sa constante mesure la force nécessaire pour obtenir un enfoncement donné.
- **L'amortisseur** freine la détente du ressort et évite les mouvements d'oscillations consécutifs à un enfoncement.

FORK OIL



Une gamme d'huiles de fourches qui met la technologie course à la portée du quotidien !
Existe pour tous types de fourches.
USD Very Light, USD Light, Medium et Heavy.



MOTUL

La fourche

La roue avant d'une moto a pour fonction principale d'assurer la direction. Elle doit donc être constamment en contact avec le sol. Le système de suspension qui assure cette mission est le plus souvent de type télescopique.

Pepe Burgaleta.
Traduction/adaptation Jérôme Eline,
illustration Lionel Boloré.

Grosso modo, les motos d'aujourd'hui conservent l'architecture générale de leurs grands-mères du début de siècle, un héritage qui remonte à la bicyclette. Ainsi des idées, comme celle consistant à unir la roue avant à une colonne de direction fixée au châssis, ont perduré.

La fourche

Elle se compose de deux bras auxquels s'accroche l'axe de roue. Pour faire varier la distance entre l'axe de roue et la colonne de direction tout en assurant le contacte de la roue avec le sol, un amortisseur contrôle les oscillations du ressort de ce système élastique.

Outre la classique "télescopique", il subsiste de nos jours quelques autres types de fourches basés sur des barres rigides et articulées entre elles, l'une des barres étant remplacée par un système élastique. Retenons comme survivantes les fourches "Earles", très répandues sur les side-cars, les fourches à "roue tirée" des scooters, ou les fourches à parallélogramme dont l'esthétique rétro sied si bien à des motos à forte valeur traditionnelle, comme les Harley-Davidson.

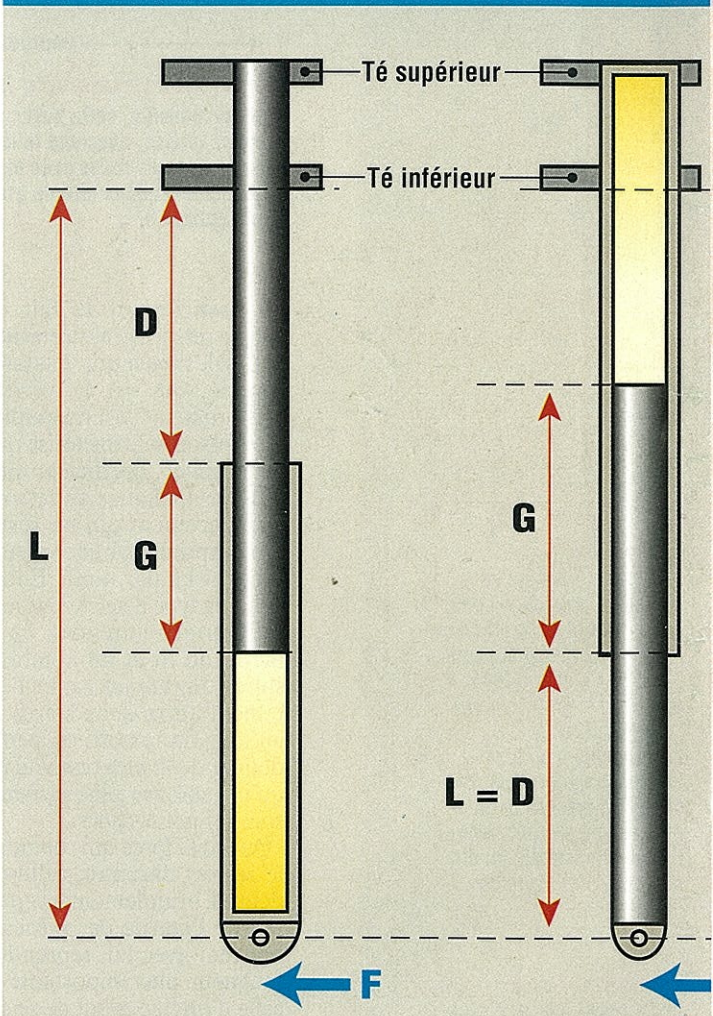
Pour l'heure, nous ne nous étendrons pas sur les choix qui ont en commun de se passer de colonne de direction, comme ceux des motos Elf, Bimota Tesi ou Yamaha GTS.

Quelle qu'elle soit, la fourche perdure car ses avantages sont supérieurs à ses inconvénients (voir MJ 1142). Première vertu: la direction est préservée, quel que soit l'enfoncement de la fourche. Les cotes de châsse et d'angle de châsse sont facilement modifiables lors de la mise au point du système et varient de façon intéressante à l'usage. Au freinage par exemple, la plongée sur l'avant réduit ces cotes et facilite l'inscription en virage de la moto. Phénomène inverse à l'accélération où la détente de la fourche améliore la stabilité.

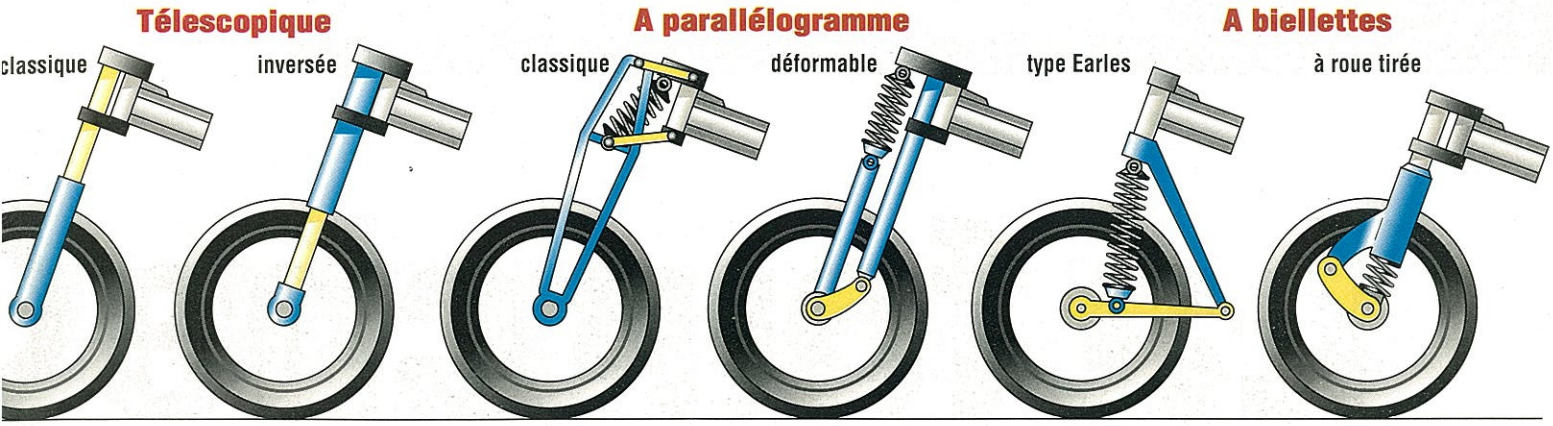
Chapitre défauts maintenant : une fourche est relativement lourde, particulièrement du côté des pièces en mouvement, ce qui complique le travail d'amortissement. Par sa longueur en porte à faux au-delà de la colonne de direction, elle manque de rigidité, ce qui, associé aux nombreux frottements internes qui la caractérisent, induit des instants où le système a tendance à se coincer.

La fourche télescopique

- **Elles fonctionnent toutes les deux sel**
- **La fourche télescopique inversée offr**



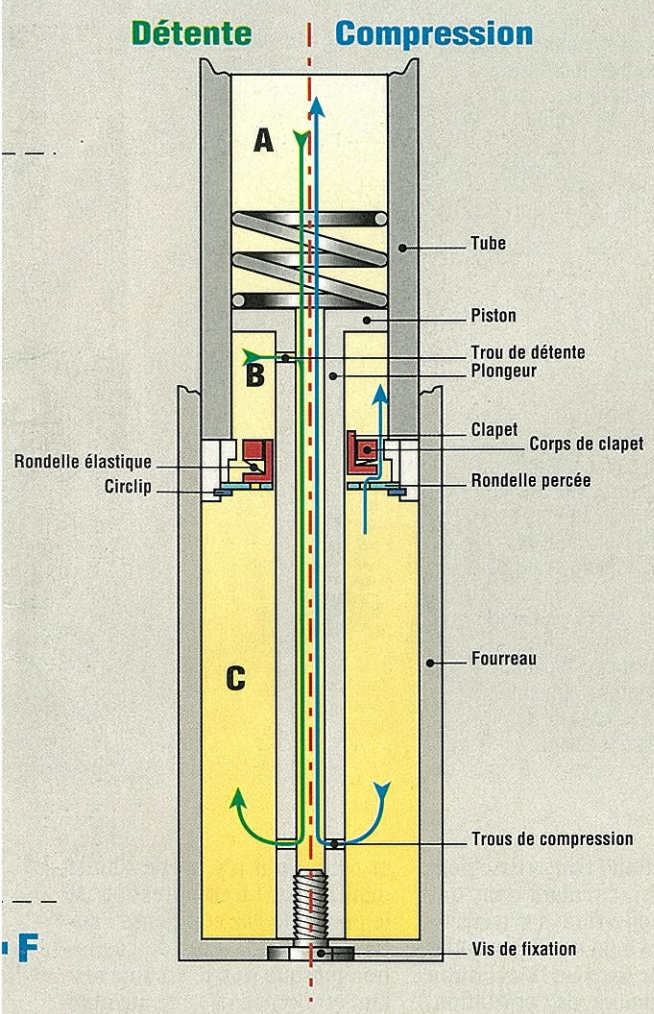
A gauche Par sa longueur, une fourche télescopique classique est sensible à la flexion, qui s'oppose au glissement fourreau/tube.
A droite Pour l'améliorer, on dispose des bagues anti-friction à l'intérieur de la fourche, on en augmente le diamètre ou bien on diminue le rapport entre la longueur au-delà des tés et la longueur du contact fourreau/tube. C'est le cas dans les fourches inversées où on peut augmenter la longueur de guidage (G) pour une longueur totale (L) et un débattement (D) identiques.



Les différents types de fourche Ces systèmes de suspension avant utilisent tous le principe de la fourche. La télescopique a éliminé tous les autres systèmes, même si certains d'eux survivent encore de manière anecdotique.

classique, et inversée

n le même principe une meilleure résistance à la flexion



Fonctionnement d'une fourche télescopique La moitié gauche de cette coupe figure la phase de détente, la droite, la compression.
Détente Le piston repousse l'huile contenue en B, ce qui plaque et ferme le clapet. L'huile ne peut s'échapper que par le trou de détente et amortit ainsi le retour brutal du ressort.
Compression L'huile contenue en C est chassée d'une part dans la chambre A part les trous de compression, d'autre part dans la chambre B en forçant l'ouverture du clapet.

La fourche télescopique

Le coincement est le principal défaut de la fourche télescopique. Il intervient entre les deux tubes qui constituent chacun de ses deux "bras". Dans une fourche télescopique classique, le plus gros tube, en aluminium, qui prend le nom de "fourreau", se trouve en bas et reçoit l'axe de roue. Les fourreaux coulissent sur les tubes, en acier. C'est au niveau de ces derniers que les bras sont emprisonnés dans les "tés" qui assurent la liaison entre la fourche et la colonne de direction.

La place disponible dans le creux des bras permet de loger le ressort et le dispositif d'amortissement, coincés entre le bouchon supérieur et le bas du fourreau. Au fil des sophistications techniques s'y ajoutent l'amortissement en compression, en bout de course pour les freinages sanglants, voire en détente rapide pour les versions les plus luxueuses. Le tout étant naturellement réglable dans tous les sens.

Le premier niveau de réglage est celui de la compression du ressort, qui détermine la dureté globale de la fourche. L'amortissement s'ajuste éventuellement par modification de la taille des passages d'huile, ou de la quantité qui traverse le cœur des clapets ou des trous amortisseurs. Faute de ces réglages, on en est réduit aux cales d'épaisseur entre bouchon et ressort pour la compression et au changement d'huile pour l'amortissement, ce dernier augmentant avec la viscosité.

Finissons avec les fourches "inversées" (U.S.D. ou U.P.S.D. comme "up side down" en anglais). Fourreau et tube inversent leurs positions, c'est le plus gros diamètre qui est emprisonné dans les tés. Cela détermine d'une part une liaison plus rigide entre fourche et colonne de direction. D'autre part, la longueur en porte à faux au-delà du fourreau est réduite, ce qui accroît encore la rigidité. Revers de la médaille, cette fourche qui ne se tord plus retransmet au ressort et à l'hydraulique tous les défauts de la route. Ce qui nécessite que les éléments du système d'amortissement soient de grande qualité, et donc chers. ■

En résumé

- **Une fourche** est un système de suspension qui relie axe de roue avant et colonne de direction au moyen de deux bras.
- **La fourche télescopique** est la plus répandue. Ses deux bras sont composés d'un fourreau et d'un tube qui coulisse dans le premier.
- **Les tés de fourche,** reliés à la colonne de direction, enserrent les deux tubes.
- **Une fourche télescopique inversée** positionne le fourreau dans les tés, pour une plus grande rigidité.

La suspension

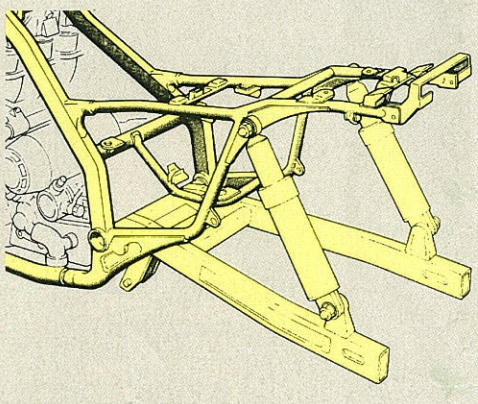
La suspension arrière est composée d'un ressort et d'un amortisseur hydraulique, fréquemment associé à du gaz qui contrôle le travail de l'huile. Son fonctionnement se complique avec l'apparition des biellettes, qui durcissent au fil de l'enfoncement.

Pepe Burgaleta. Traduction/adaptation Jérôme Eline, illustration Lionel Boloré.

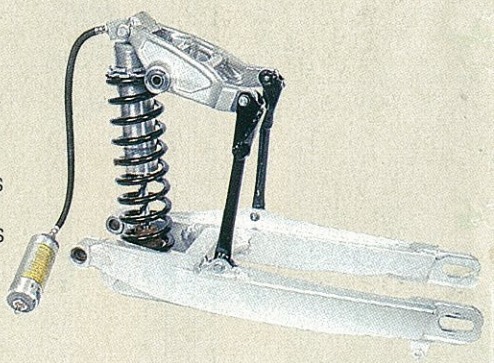
Bras oscillant et contr

- **Système classique, un ou deux combi**
- **Un combiné associé à des biellettes p**

Système classique
Deux combinés ressort/amortisseur relient directement le cadre au bras oscillant.
Eux seuls assurent la flexibilité.
Ce système est moins performant que les suspensions dites à flexibilité variable.



Système à flexibilité variable
Un seul combiné ressort/amortisseur est relié au bras par des biellettes, des basculeurs et autres renvois.
Les divers systèmes de ce type offrent l'avantage de durcir progressivement jusqu'au maxi de l'enfoncement.



De la même manière que la fourche télescopique est le système de suspension avant qui a fini par faire école, le bras oscillant associé à un ou deux combinés ressort/amortisseur est le principe de suspension arrière que l'on utilise sur la quasi totalité des motos. Le bras oscillant relie l'axe de roue et le cadre, auquel il est fixé par un axe qui lui permet de pivoter. Pour l'élasticité, ajoutez un ou plusieurs "combinés", accrochés d'un côté au cadre et de l'autre directement sur le bras oscillant ou, dans le cas d'une suspension progressive, sur des biellettes elles-même fixées au cadre.

Combinés

Cette architecture dégage assez de place pour loger des éléments élastiques de qualité. Ressort et amortisseur hydraulique sont regroupés en un élément qui prend la dénomination exacte de "combiné ressort amortisseur", qu'on appelle à tort amortisseur.

Ici, le ressort est visible, alors qu'il était dissimulé dans la fourche. L'effet amortisseur est toujours dû au freinage provoqué par la circulation d'huile au travers de trous ou de "clapets", qui contrôlent mieux la vitesse de circulation, donc l'amortissement. Ils se composent d'une ou plusieurs lames élastiques qui, sous la pression de l'huile chassée par le piston, s'écartent de leur siège pour dégager un espace de passage pour l'huile. En jouant sur l'épaisseur ou le nombre de lames, on ajuste l'amortissement aux caractéristiques de la moto. Travail de spécialiste confirmé...

Gaz

L'amortisseur "à gaz" est le plus évolué actuellement. Il remplace d'anciens systèmes dépassés, en particulier avec les suspensions progressives.

Tout le problème consiste à compenser le volume de la tige qui entre dans le cylindre de l'amortisseur. Dans un amortisseur classique, cet excédent est chassé vers une réserve ménagée à l'intérieur de l'amortisseur, parfois sous forme d'un deuxième tube, concentrique au corps extérieur. L'excédent d'huile y est stocké, pour être restitué lors de la détente. Dans le cas d'un "bitube" par exemple, ce deuxième tube réduit la capacité totale en huile qui, du coup, chauffe, se fluidifie et diminue l'amortissement. Surtout, en circulant dans tous les sens, elle finit par transiter d'un point à un autre par bulles, plutôt que dans un flot continu. Ce phénomène de "cavitation" annule l'amortissement lorsque trous ou clapets se trouvent entre deux bulles.

Dans un amortisseur à gaz, l'huile est maintenue sous pression par une poche de gaz, généralement de l'azote. Un piston flottant ou une membrane de caoutchouc assure la séparation et évite qu'il n'y ait de l'huile dans le gaz. La compression de la poche de gaz compense l'entrée de la tige. Plus de cavitation puisque tout le volume restant est occupé par une quantité d'huile plus importante, qui assure alors mieux son travail d'amortissement.

Suspensions progressives

Sous des appellations comme "Full-floater" ou "Uni-track", elles ont l'avantage d'être

arrière

ôle de l'amortissement

nés relient le bras oscillant au cadre ermettent une meilleure progressivité

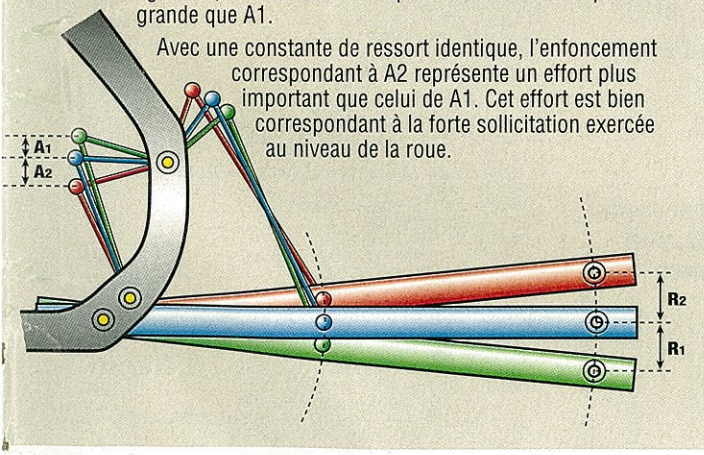
Comment une suspension à biellettes durcit progressivement au fil de l'enfoncement

Sur ce schéma sont représentés :
en vert la position de la suspension lorsqu'elle est complètement détendue
en bleu lorsqu'elle est à mi course de l'enfoncement
en rouge au maximum de l'enfoncement.

Les cercles jaunes représentent les axes de pivotement sur le cadre et les boules, les articulations entre les biellettes.

Le durcissement de la suspension provient de la différente valeur d'enfoncement de l'amortisseur (A1 et A2), pour un débattement identique de la roue (R1 et R2). Alors que R1 égale R2, on voit nettement que la distance A2 est plus grande que A1.

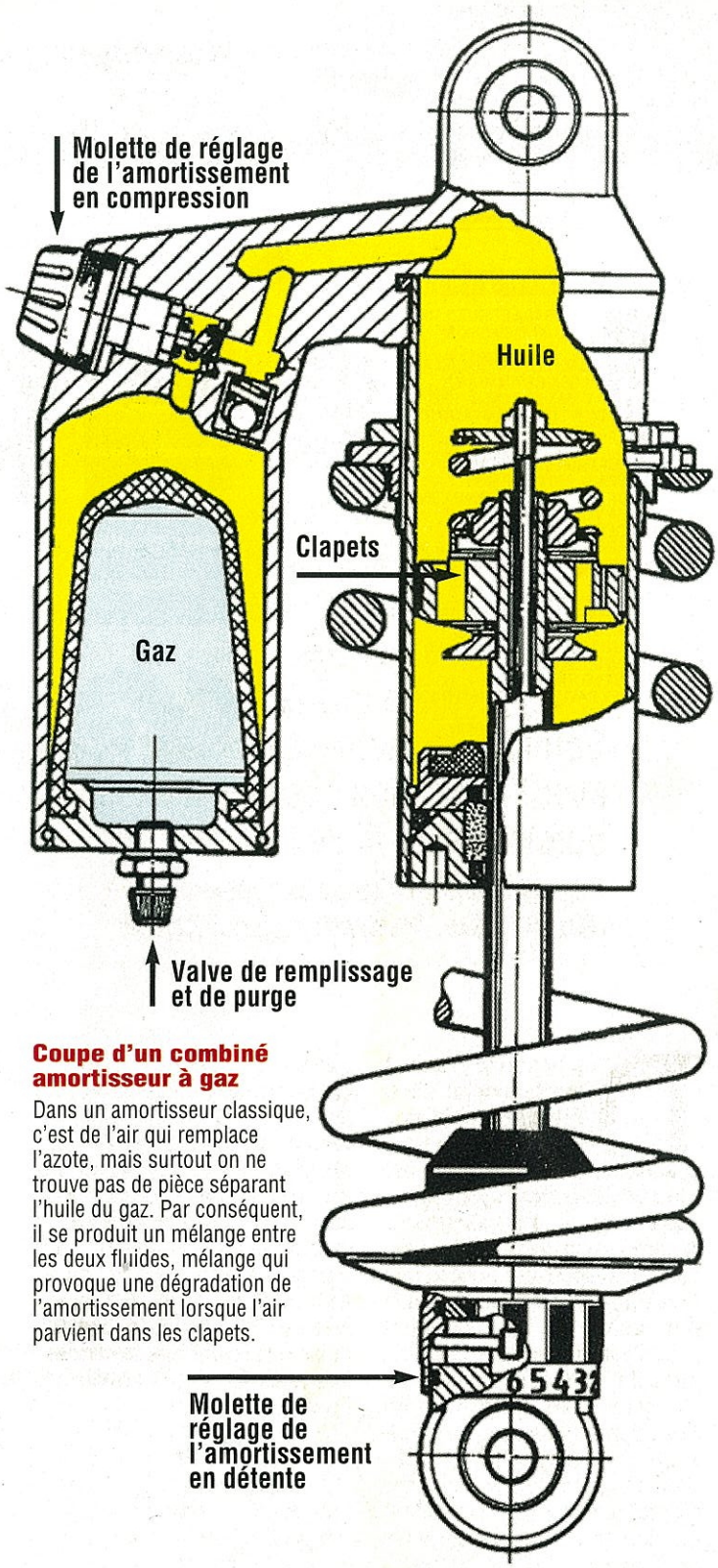
Avec une constante de ressort identique, l'enfoncement correspondant à A2 représente un effort plus important que celui de A1. Cet effort est bien correspondant à la forte sollicitation exercée au niveau de la roue.



souples sur les petits chocs et de durcir progressivement jusqu'à l'enfoncement maximal.

Chaque système est conçu autour d'un unique combiné ressort amortisseur, commandé par diverses biellettes et un basculeur. Par effet géométrique, le combiné s'enfonce plus en fin de débattement qu'en début, ceci pour un débattement de roue identique. D'une part, le ressort donne l'impression de se durcir, d'autre part, la plus grande vitesse de l'amortisseur proprement dit contrôle au mieux les vitesses de détente et de compression.

Ces suspensions sont délicates à mettre au point. En traçant la variation de flexibilité point par point, on obtient la "courbe de réponse" du système. Changer de quelques millimètres la longueur d'un basculeur ou son point d'ancrage sur le bras oscillant suffit pour modifier la courbe, donc le comportement de la moto. Petite cause, grands effets. ■



Coupe d'un combiné amortisseur à gaz

Dans un amortisseur classique, c'est de l'air qui remplace l'azote, mais surtout on ne trouve pas de pièce séparant l'huile du gaz. Par conséquent, il se produit un mélange entre les deux fluides, mélange qui provoque une dégradation de l'amortissement lorsque l'air parvient dans les clapets.

En résumé

- **La suspension** se compose en majorité d'un bras oscillant reliant cadre et roue arrière.
- **Le combiné ressort/amortisseur** assure la flexibilité entre ce bras oscillant et le cadre.
- **L'huile contenue dans l'amortisseur** freine les mouvements parasites en traversant des trous ou des clapets. Son travail peut être optimisé par du gaz sous pression.
- **Une suspension à biellettes** est souple sur les petits chocs et dure sur les gros car le combiné s'enfonce plus en fin qu'en début de course, pour un débattement de roue identique.

MOTO JOURNAL

anciens numéros

Neuve ou d'occasion, votre moto a déjà été essayée par Moto Journal. Contact, essai , face à face ou comparatif ont été réalisés par notre équipe d'essayeurs. Pour mieux choisir, pour mieux acheter, consultez les essais de Moto Journal, référence absolue de la presse moto en France. Tous nos anciens numéros sont disponibles au prix de 18 F port compris. Il vous suffit pour cela de les commander en remplissant le bon à découper et de l'envoyer avec votre règlement à l'adresse indiquée.

Vous pouvez aussi commander par minitel.
Tapez 3615 MJ puis COMM et envoi.

COMPARATIFS 1993

- FACE A FACE DUCATI 888 STRADA ET GUZZI 1000 1068
- TRIUMPH 900 TROPHY/SUZUKI 1100 GSX-F/ YAMAHA FJ 1200 1069
- HONDA CBR 600/KAWASAKI ZZR 600/SUZUKI RF 600 1074
- KAWASAKI ZXR/SUZUKI GSX-R/YAMAHA YZF 1075
- FACE A FACE YAMAHA V MAX 93/HONDA /1000 BIG ONE... 1076
- HONDA 1000 CBR/BMW K 1100 RS/KAWASAKI 1100 ZZR.. 1077
- HONDA CBR 900 R/SUZUKI GSX 1100 R/ YAMAHA FZR 1000 1078
- HONDA 650 NTV/KAWASAKI 550 ZEPHYR/ SUZUKI VX 800/YAMAHA 600 DIVERSION 1080
- FACE A FACE HONDA AFRICA TWIN/YAMAHA 850 TDM..... 1081
- FACE A FACE HONDA VFR 750 F/ TRIUMPH 900 TRIDENT SPRINT 1082
- FACE A FACE YAMAHA YZF 750 R/HONDA CBR 900RR..... 1084
- KAWASAKI 650 KLX/HONDA 650 DOMINATOR/ YAMAHA 660 XTZ 1085
- BMW R 1100 RS/YAMAHA GTS 1000 1086
- FACE A FACE KAWASAKI KLE 500/SUZUKI DR 800S..... 1087
- FACE A FACE DUCATI 900 SUPERLIGHT/ TRIUMPH 900 DAYTONA 1089
- FACE A FACE HONDA GOLD WING/ HARLEY DAVIDSON ELECTRA GLIDE 1091
- FACE A FACE HARLEY DAVIDSON SPORSTER 1200/ SUZUKI 1400 INTRUDER 1092
- KAWA[illegible]50 VN/SUZUKI 800 INTRUDER/ YAM[illegible]0 VIRAGO/HONDA 600 SHADOW 1095
- HON[illegible]R 400 R/KAWASAKI 400 ZXR/ SUZU[illegible]250 RGV/YAMAHA 400 FZR 1096
- HONDA CB 500/KAWASAKI 550 ZEPHYR/ YAMAHA XJ 600 N 1109

ESSAIS 1993

- HONDA 650 NTV 1069
- HONDA XRV 750 1070
- CONTACT YAMAHA 750 YZF 1071
- CONTACT BMW R 1100 RS 1071
- KAWASAKI 600 ZZR 1072
- BMW R 1100 RS 1072
- SUZUKI 400 BANDIT 1072
- CONTACT KAWASAKI 650 KLX 1073
- TRIUMPH 900 TRIDENT 1073
- ESSAI LECTEURS HONDA 600 CBR F 1073
- CONTACT TRIUMPH TRIDENT 900 SPRINT 1075
- CONTACT YAMAHA 400 XJR 1076
- CONTACT SUZUKI 650 SAVAGE 1077
- CONTACT TRIUMPH TROPHY 1200 1078
- CONTACT DUCATI 900 MONSTER 1079
- CONTACT TRIUMPH 900 DAYTONA 1081
- ESSAI LECTEURS YAMAHA DIVERSION 1083
- CONTACT TRIUMPH 900 TIGER 1084
- CONTACT MZ 125 ET 251 1086
- ESSAI YAMAHA FZ 750 1088
- ESSAI LONGUE DUREE YAMAHA 600 DIVERSION 1088
- ESSAI HONDA VF 750 C 1090
- CONTACT GILERA RC 600 1090
- CONTACT KAWASAKI KLX 250 R 1091
- GILERA 600 NORDWEST 1093
- DUCATI MONSTER 1094
- CONTACT MUZ SILVER STAR CLASSIC 1098
- CONTACT HONDA CB 500 1099
- SUZUKI 600 RF 1102
- SUZUKI DR 650/YAMAHA 600 XT 1103
- CONTACT CAGIVA 350 W12 1105
- HONDA 750 VFR 1105
- CONTACT YAMAHA TDM 850 1105
- HONDA CB 500 1106
- CONTACT BMW F 650 1106
- CONTACT BIMOTA DB2 1108
- CONTACT TRIUMPH SPEED TRIPLE 1110
- YAMAHA 600 FZR 1111
- CONTACT HONDA RC 45 RVF 1112
- CONTACT YAMAHA FZR 1000 1112
- CONTACT SUZUKI GSX 750 R 94 1112
- CONTACT KAWASAKI ZX-9R NINJA 1113
- CONTACT CAGIVA 521 ROADSTER 1114
- CONTACT KAWASAKI 500 GPZ 1114
- ESSAI 50 000 KM HONDA 600 CBR 1114
- CONTACT SUZUKI 1100 G 1115

COMPARATIFS 1992

- JAWA 350 "640"/MINSK 125/MZ 125 ETZ 1026
- HONDA VFR 400 R/SUZUKI GSXR 400 R/KAWASAKI ZXR/ YAMAHA FZR 400 RR 1027
- FACE A FACE KAWASAKI 1100 ET 750 ZEPHYR 1027
- HONDA 600 TRANSALP/SUZUKI 800 DR/ YAMAHA 600 DIVERSION 1028
- HONDA CBR 900 RR/YAMAHA FZR 1000/ SUZUKI GSX 1100 R 1029
- HONDA 750 SEVEN FIFTY/ KAWASAKI 750 ZEPHYR/ TRIUMPH 750 TRIDENT 1030
- KAWASAKI ZXR 750/SUZUKI GSX 750 R/ HONDA CBR 900 RR 1031
- BMW R100T/KAWASAKI 1100 ZEPHYR/ SUZUKI GSX 1100 G/TRIUMPH 900 TRIDENT 1032
- MITO FACE A FRECCIA 1032
- FJ SPEEDLINE EML/FJ COMMANCHE SIDE-BIKE 1035
- HONDA 750 AFRICA TWIN/YAMAHA 750 SUPER TENERE... 1036
- FACE A FACE KAWASAKI 500 GPZ/500 KLE 1037
- HONDA ST 1100 ABS TCS/BMW K 100 LT ABS 1039
- SUZUKI RG 125 GAMMA/YAMAHA TZR 125 R 1041
- HONDA VFR 750/SUZUKI GSX 70F/ HONDA CBR 1000/ KAWASAKI ZZR 1100/TRIUMPH 1200 TROPHY/ YAMAHA FJ 1200 ABS 1042
- HONDA CB750 SEVEN FIFTY/HONDA 600 TRANSALP/ SUZUKI VX 800/YAMAHA 600 DIVERSION 1043
- APRILIA 655 PEGASO/HONDA 650 DOMINATOR/ YAMAHA 660 XTZ/SUZUKI DR 650 RSE 1044
- BMW 750 K 75/TRIUMPH 750 TRIDENT 1046
- HONDA/ 125 CG/PEUGEOT SV 80/SUZUKI 125 DR/ YAMAHA 125 SR 1047
- BMW R 100 R/YAMAHA 850 TDM 1054
- HONDA CB 750/CB SEVEN FIFTY/KAWASAKI Z900/ ZEPHYR 750 1054
- YAMAHA FZR 400 R/HONDA CBR 600/SUZUKI GSX 750 R/ HONDA CBR 900 RR 1056
- FACE A FACE KAWASAKI 550 ZEPHYR/ YAMAHA XJ 600 DIVERSION 1058
- KAWASAKI 1500 SUMO/KAWASAKI 1100 ZEPHYR 1063
- YAMAHA 1000 GTS/BMW K1 1065

ESSAIS 1992

- BMW R 100 R 1020
- TRIUMPH 900 TRIDENT 1023
- SUZUKI 1100 GSXR 1025
- YAMAHA FZR 400 R 1027
- SUZUKI GS 500 E Carénée 1029
- SUZUKI DR 650 R DJEBEL 1034
- TRIUMPH 1000 DAYTONA 1035
- DUCATI 750 SS 1039
- TDM 850 SUPER TWIN 1057
- SUZUKI GSX 750 R 1065
- KAWASAKI ZXR 750 1066
- SUZUKI GSX 1100 R 1067

COMPARATIFS 1991

- SUZUKI GSXR 1100/YAMAHA FZR 1000 971
- CAGIVA 125 MITO/APRILIA 125 EUROPA 973
- BMW K100RS1/YAMAHA FJ 1200 978
- KAWASAKI 750 ZEPHYR/SUZUKI VX 800 979
- HONDA 600 CBR/KAWASAKI 600 ZZR/YAMAHA 600 FRZ 980
- SUZUKI 750 GSXF/YAMAHA XJ 900 982
- YAMAHA XTZ 600/SUZUKI DR 650 RSE/ HONDA 650 DOMINATOR 983
- KAWASAKI 750 ZXR/SUZUKI 750 GSXR 984
- KAWASAKI 500 KLE/HONDA 600 TRANSALP/ HONDA 650 DOMINATOR 988
- YAMAHA XT 600 K/SUZUKI DJEBEL 650 989
- YAMAHA XV 240 VIRAGO/XV 535 VIRAGO/ XV 1100 VIRAGO/FZR 750 FAZER/V MAX 991
- KAWASAKI 750 ZEPHYR/YAMAHA 750 FAZER 992
- HONDA 600 TRANSALP/SUZUKI 750 GSXF/ YAMAHA 850 TDM 995
- HONDA 1000 CBR/YAMAHA FJ 1200/KAWASAKI 1100 ZZR/ SUZUKI GSX 1100F/DUCATI 907 IE/HONDA VFR 750 996
- APRILIA 600 PEGASO/GILERA RC600/SUZUKI 800 DR/ YAMAHA XTZ 600 997
- HONDA 600 CBR/YAMAHA 600 FZR/KAWASAKI 750 ZXR/ KAWASAKI 600 ZZR/HONDA 750 VFR 1006
- APRILIA 125 PEGASO/CAGIVA 125 SUPER CITY/ GILERA 125 FREESTYLE/YAMAHA 125 TDR 1008
- BMW K 75 RT/HONDA PC 800 1012
- FACE A FACE SUZUKI GSX 1100G/ YAMAHA 1200 V MAX. 1014
- CAGIVA 900 IE GT/BMW R100 GS/YAMAHA 850 TDM 1016

ESSAIS 1991

- HONDA 600 CBR 972
- HONDA 125 CG 974
- SUZUKI DR 350 977
- HONDA RVF 750 984
- YAMAHA 850 TDM essai longue durée 985
- KAWASAKI 750 GPX essai longue durée 985
- YAMAHA 1200 V MAX 986
- ESSAI LECTEURS 1200 V MAX 986
- DUCATI 900 SS 987
- 600 KTM LC4 Essai longue durée 987
- KAWASAKI 750 STINGER essai longue durée 990
- ESSAI LECTEURS KAWASAKI 750 STINGER 990
- GILERA 125 CX 993
- SUZUKI GSX1100F face à la GSX 1100F et la VX800 998
- HONDA VFR400R 999
- YAMAHA 125 TDR Essai longue durée 1001
- GILERA 600 NORDWEST 1007
- YAMAHA XJ 600 S DIVERSION 1010
- KAWASAKI 750 ZEPHYR essai longue durée 1011
- ESSAI LECTEURS HONDA 750 VFR 1012
- ESSAI LECTEURS SUZUKI GSX 750 F 1018

COMPARATIFS 1990

- GILERA 600 RC/SUZUKI DR 650 RS 926
- SUZUKI 100 GSX-R/YAMAHA 1000 FZR 928
- YAMAHA 125 TDR/APRILIA 125 PEGASO 932
- GILERA RC 600/HONDA 650 DOMINATOR/ KAWASAKI 650 TENGAI/SUZUKI 800 DR/SUZUKI DR 650 RS/ SUZUKI 650 DJEBEL/YAMAHA 600 TENERE/ YAMAHA 600 XTE 937
- BMW K 100 LT/HONDA PAN EUROPEAN/ KAWASAKI 1000 GTR/SUZUKI 1100 GSX-F 939
- KAWASAKI 750 STINGER/SUZUKI 750 GSX-R 942
- HONDA 650 NTV/SUZUKI VX 800/BMW K 75 944
- BMW K 100 RS1/HONDA CBR 1000/ KAWASAKI ZZR 1100 945
- GILERA 125 RC/HONDA 125 CRM/KAWASAKA 125 KDK/ SUZUKI 125 TSR/YAMAHA 125 DTR 946
- BMW R 100 GS/CAGIVA 900 IE/ HONDA 750 AFRICA TWIN/YAMAHA 750 SUPER TENERE 947
- APRILIA 125 FUTURA/CAGIVA 125 FRECCIA SPORT/ HONDA NSR-R/YAMAHA 125 TZR 950
- KAWASAKI 600 ZZR/HONDA 750 VFR/SUZUKI 750 GSX-F/YAM. 750 FZ. 951
- KAWASAKI KR1 250/ZXR 400/ZXR 750 961

ESSAIS 1990

- BIMOTA TESI 923
- DUCATI 900 SS 924
- HARLEY SPORTER 1100 XLH KITE 924
- SUZUKI DR 500 GAMMA 931
- HONDA PAN EUROPEAN 934
- KAWASAKI 600 ZZR 938
- HONDA VFR 750 940
- HONDA 650 NX DOMINATOR 943
- HONDA PAN EUROPEAN 949
- HARLEY LOW RIDER CONVERTIBLE 950
- KAWASAKI 400 ZXR 953
- APRILIA 125 AF1 959
- SUZUKI 400 BANDIT 963
- DUCATI 888 965

Bon de commande

MJ

A retourner à : Collections Moto Journal - BP 21192108 BOULOGNE Cedex

Je souhaite recevoir les numéros suivants : .....

..... (voir liste) à 18 F = ... F

Ci joint mon règlement pour un total de : ..... F

par ❑ chèque bancaire ❑ CCP ❑ mandat lettre à l'ordre de Moto Journal

Nom .....

Prénom .....

Adresse .....

Code postal ..... Ville .....

Offre valable pour la France métropolitaine. Pas d'envois contre remboursement. Délai d'expédition 3 semaines environ.