

17. Sa Majesté le... Compresseur

Après une assez longue période d'oubli due à son interdiction en compétition par la fédération internationale moto dans les années cinquante, voici que le compresseur, ou plutôt le turbocompresseur, fait une entrée en force dans le marché des machines sportives de série. A quoi ça sert, quels sont ses avantages et inconvénients ? Essayons de voir clair sur ce sujet brûlant...

La puissance d'un moteur dépend de la quantité de mélange air/essence qu'il brûle. A cylindrée égale, l'un des facteurs déterminants de la quantité de mélange brûlé, c'est le rendement volumétrique, que nous avons étudié dans M.J. N° 526.

Cette efficacité volumétrique, c'est la capacité du cylindre de se remplir de mélange air/essence. Même sur les moteurs quatre temps modernes, on tourne autour d'une moyenne de 80 %, et sur les deux temps, avec 65 % on est déjà content. Toutefois, on arrive, en jouant sur les résonances à l'admission et à l'échappement, sur l'inertie des gaz à l'admission et autres phénomènes complexes que nous avons détaillés lors de l'étude des diagrammes de distribution dans M.J. N° 540, à obtenir un rendement volumétrique avoisinant, parfois même dépassant légèrement les 100 %. Cela dit une telle efficacité ne peut s'obtenir sur un moteur atmosphérique (sans compresseur) que sur une plage de régimes extrêmement étroite. La plupart du temps, les gaz frais étant aspirés par la descente du piston n'atteindront même pas la pression atmosphérique avant que la soupape d'admission ne se ferme, et l'on aura donc un rendement volumétrique tournant autour des 80 % précités. De plus, même aux régimes bénis ou un moteur spécialement bien étudié arriverait à emplir totalement ses cylindres, donc à avoir une efficacité volumétrique de 100 %, le simple fait que les gaz sont appelés dans le cylindre par aspiration fait que le mélange est assez peu dense, c'est-à-dire que s'il est important en volume, il l'est moins en poids. Or la densité du mélange air/essence peut être augmentée dans de très grosses proportions par l'usage d'un compresseur.

Plus abondant et plus dense

Bien sûr, le compresseur augmente

l'efficacité volumétrique, parce qu'il pousse les gaz frais dans le cylindre, au lieu d'attendre que le piston les aspire, mais son principal avantage est qu'il comprime les gaz. Non seulement donc la quantité de gaz admis sera plus grande, mais ces gaz seront beaucoup plus denses. La vraie efficacité volumétrique, c'est-à-dire le nombre d'atomes d'oxygène, d'hydrogène, de carbone et de choucroute garnie présents dans le cylindre à la fermeture de l'admission va atteindre des chiffres inimaginables sur un moteur atmosphérique. Sur des moteurs à compresseur, une efficacité volumétrique de plus de 150 % n'a rien d'extraordinaire.

Quatre vingts ans déjà...

Le compresseur n'a rien d'une nouveauté. On en a commencé les essais au début de ce siècle, mais on n'en a guère parlé avant les années trente. En fait, le compresseur fut d'abord utilisé sur les moteurs d'avions, car la faible densité de l'air à haute altitude leur donnait une efficacité volumétrique minable. Il fut utilisé sur de nombreuses machines de course avant-guerre, mais, étant donné que parties cycles et pneus étaient ce qu'ils étaient à l'époque, et que les pistes de vitesse n'avaient pas le velouté des circuits d'aujourd'hui, le compresseur fut interdit en compétition et l'est encore. Il se pourrait bien que l'interdit soit levé un jour, ce serait quand même fort de café de voir interdit sur piste un procédé employé sur des motos de série.

Compresseur et turbocompresseur

Il existe deux types principaux de compresseur, selon la façon dont ils sont entraînés. Le compresseur « classique » est entraîné par le vilebrequin, soit directement comme sur les 500 BMW vainqueurs du T.T. en 1938, soit par courroie crantée, soit par chaîne. Le turbocompresseur, lui,

est entraîné par une turbine mue par les gaz d'échappement. C'est le seul système employé à ce jour sur les machines de série (CX 500 turbo, 650 Yam XJ-T, 1100 Yam turbo, 650 Kawa et 500 Morini turbo, parce qu'il est le moins encombrant et a priori le moins cher à construire. Cela dit il comporte aussi pas mal d'inconvénients ; nous allons étudier les divers types de compresseurs, histoire de voir ce que chacun peut offrir.

Les compresseurs

Le compresseur à entraînement mécanique est donc entraîné par le vilebrequin, le plus souvent par l'intermédiaire d'une courroie crantée, car c'est le mode de transmission le plus silencieux, le moins tatillon côté alignement des arbres, et qu'il ne demande aucune lubrification.

Il y a trois types principaux de compresseurs : le type Roots, le type à ailettes et le type centrifuge. Le centrifuge n'est utilisé que sous forme de turbocompresseur, car pour être efficace, il doit tourner à au moins cent mille tours/minute. Du coup, pour le monter sur un moteur qui tourne à 10 000, il faudrait une multiplication de 1 à 10, et le mécanisme d'entraînement du compresseur ne résisterait pas longtemps aux brusques changements de régime lors, par exemple des passages de vitesses. Les compresseurs Roots compriment effectivement les gaz, alors que le compresseur centrifuge se contente d'en augmenter la vitesse.

Le type Roots

Dans le compresseur type Roots (fig. 5) on a affaire à deux rotors parallèles. Chacun de ces rotors comporte deux ou trois lobes. Dans les petits modèles utilisables sur une moto, on a deux lobes. Les deux rotors tournent dans un synchronisme parfait. Ils ne se touchent pas, mais le jeu entre eux est très faible pour éviter les fuites de gaz. Pour que ce type de compresseur soit efficace, il faut que l'usinage soit extrêmement précis, pour que le jeu entre les lobes de rotors soit aussi



faible que possible, en général autour d'un centième de millimètre. On peut même encore réduire ce jeu en revêtant les extrémités des lobes avec du teflon ou du PTF, pour réduire les risques de rayures ou d'accrochage. L'air arrive dans la chambre du compresseur, et une certaine quantité va être happée par les lobes et « descendue à l'étage au-dessous », où se trouve la sortie vers le moteur. Il n'y a donc pas compression des gaz dans la chambre du compresseur lui-même, tout juste déplacement. Il va y avoir compression ensuite, soit parce que la quantité d'air envoyée par le compresseur est supérieure à la capacité du ou des cylindres à alimenter, soit parce que le passage des gaz à la sortie du compresseur est trop petit pour laisser passer le volume de gaz fourni sans qu'il y ait compression.

L'inconvénient du compresseur Roots, c'est qu'il n'est pas tellement efficace. Une élévation de pression s'accompagne inévitablement d'une élévation de température, mais le compresseur Roots provoque une élévation de température de 50 % supérieure à celle que l'on obtiendrait en théorie à compression égale. Un mélange gazeux trop chaud ayant tendance à détoner, on est obligé de limiter le débit d'un Roots pour éviter que les gaz n'atteignent des températures « détonatoires ». Il existe une variante de ce système appelée type Lynsholm, qui utilise des rotors hélicoïdaux, mais elle est beaucoup trop coûteuse à construire pour être uti-

lisée sur une moto de route.

Le compresseur à palettes

Celui-ci comprime vraiment les gaz à l'intérieur de son carter. On a affaire (fig. 6) à un tambour tournant, muni de quatre palettes coulissantes. Ce tambour tourne sur un axe excentré par rapport au carter du compresseur. Lorsque le tambour tourne, les palettes avancent ou reculent pour rester en contact avec le carter, compensant l'augmentation ou diminution de l'espace entre tambour et carter. Les

quatre palettes divisent donc le compresseur en quatre chambres non communicantes. Lorsque le tambour avec ses palettes, donc les chambres, tourne, leur volume varie du fait du décentrement du tambour (fig. 6).

Au moment où une chambre passe devant le canal d'admission du compresseur, son volume est en train de s'agrandir. Cela crée évidemment une dépression, qui aspire des gaz dans la chambre. La chambre continue à tourner en s'agrandissant, puis dès que sa palette arrière (qui est du même coup la palette avant de la chambre suivante) a dépassé la lumière d'admission, elle commence à se rétrécir. Les gaz sont donc comprimés, jusqu'au moment où la chambre passe devant la lumière de sortie. Les gaz sont ensuite éjectés du compresseur sous pression.

L'inconvénient de ce compresseur est qu'il est mécaniquement compliqué. Avec son système de coulissement des palettes, il comporte une quarantaine de pièces mobiles. Du coup il est cher à construire, et supporte mal les régimes élevés, on n'en a guère vu qui acceptent plus de 7 000 t/mn.

Autre inconvénient, du fait que les palettes sont en frottement avec le carter du compresseur, il faut un graissage permanent du compresseur. On le fait généralement en faisant fonctionner la machine... au mélange. D'une part ce n'est pas le rire de faire



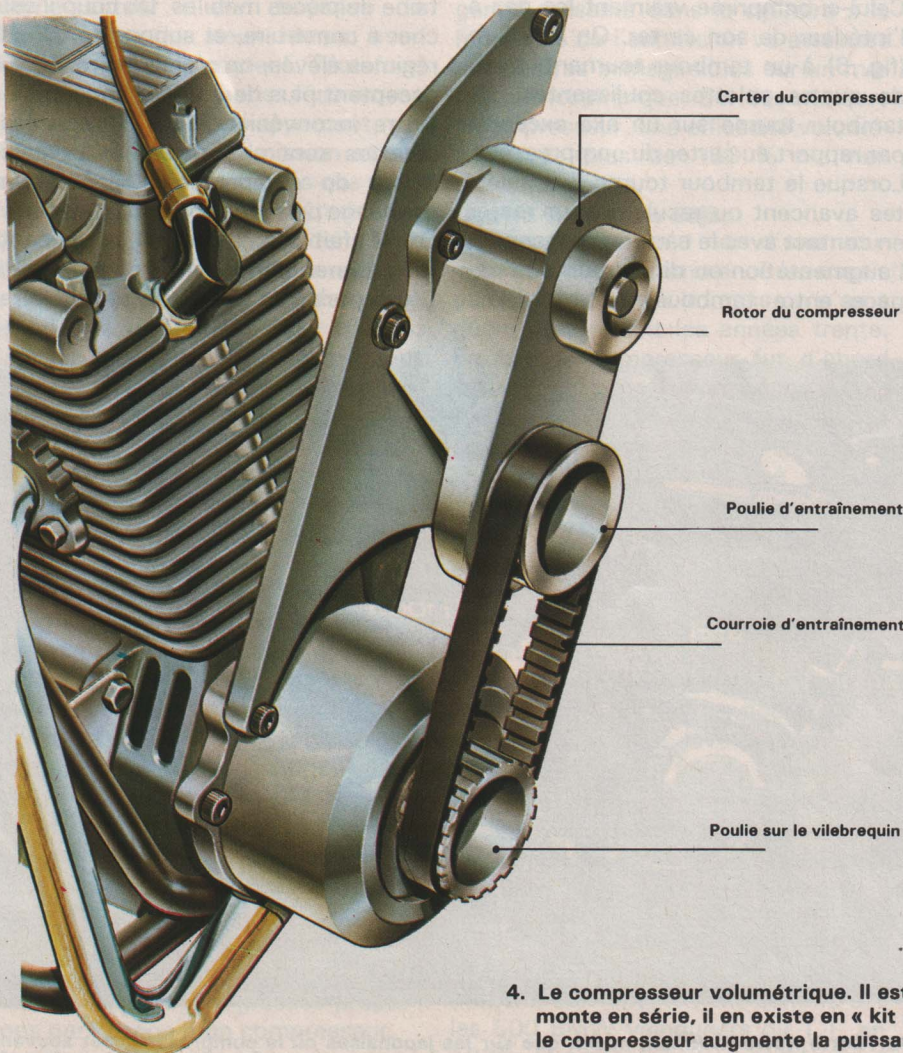
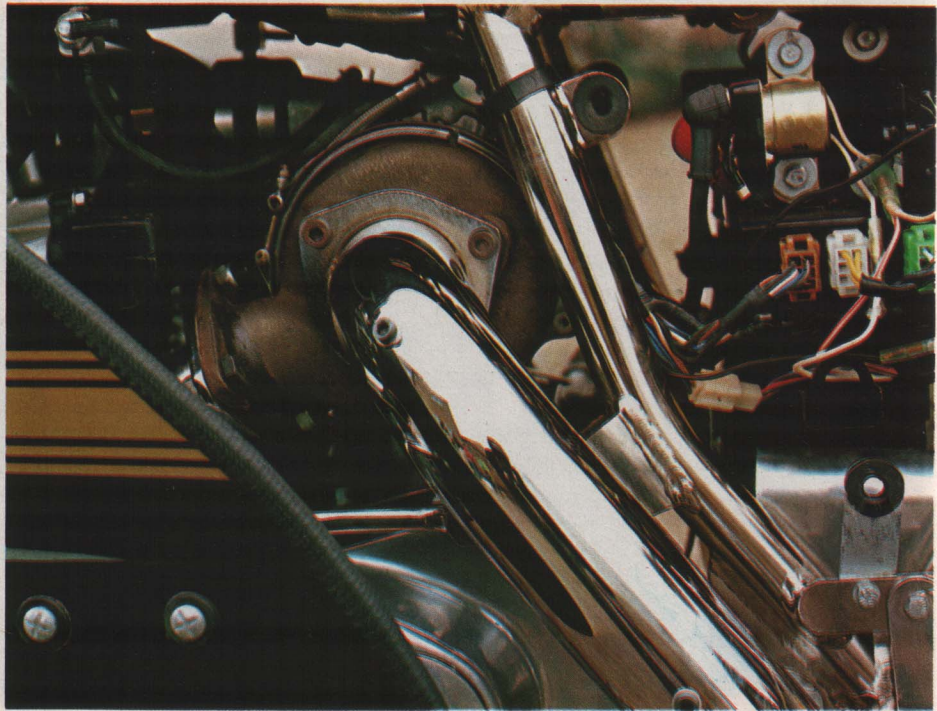
2. Cette Kawa-Rickman, mieux que sur les japonaises où le compresseur est souvent dissimulé, montre bien le turbo qui fait une dérivation dans le circuit d'échappement, où il pique l'énergie pour faire tourner ses turbines.

3. Turbocompresseur Magnum monté sur une 1000 Kawa. Cette vue montre la turbine d'échappement.

fonctionner un 4 temps au mélange, d'autre part l'huile abaisse l'indice d'octane de l'essence donc sa tendance à détoner, ce qui est une fieffée galère vu que le principal inconvénient des compresseurs est le risque de détonation due à la température élevée des gaz sous pression. Ceci ajouté au prix de revient conséquent et du peu de goût du Roots pour les régimes élevés fait que pour une moto on lui préfère le Roots, lorsqu'il s'agit de l'ajouter sur une moto classique. Cela dit, sur la plupart des motos, et sur toutes les motos de série, on emploie...

Le turbocompresseur

Les turbocompresseurs sont de construction assez simple ; ils sont consti-



tués d'une première turbine actionnée par la pression des gaz d'échappement, reliée par un arbre commun à une seconde turbine, celle d'un compresseur centrifuge. Les gaz d'échappement font donc tourner ces deux turbines à très très grande vitesse (jusqu'à 150 000 t/mn sur une CX turbo). Les gaz frais sont admis dans la turbine N° 2, et diable, lorsqu'ils sortent de cet aspirateur qui tourne à 150 000 tours, ils vont fichement vite. En sortant de la turbine, les gaz passent dans un diffuseur, un canal dont le passage est de plus en plus grand. Cet accroissement de la taille du diffuseur ralentit les gaz, mais en les ralentissant, les lois physiques sont inéluctables, il en élève la pression. L'augmentation de la pression des gaz est proportionnelle au ralentissement imposé par le diffuseur. Plus la masse gazeuse entre vite dans le diffuseur, plus haute sera sa pression à sa sortie. C'est de là que vient l'inconvénient N° 1 du turbocompresseur. La pression des gaz à la sortie du turbo dépend du régime de rotation de celui-ci, ce qui n'est pas le cas pour les compresseurs Roots ou à palettes. Voyons un peu ce qui se passe lorsqu'on tourne la poignée sur une moto turbo.

On met donc la poignée dans le coin.

4. Le compresseur volumétrique. Il est entraîné par le vilebrequin. Aucune marque n'en monte en série, il en existe en « kit » à monter, mais fiabilité du moteur non garantie : le compresseur augmente la puissance donc la charge du moteur à tous les régimes, contrairement au turbo qui n'impose un effort supplémentaire qu'à hauts régimes, c'est-à-dire sur route, de temps en temps...

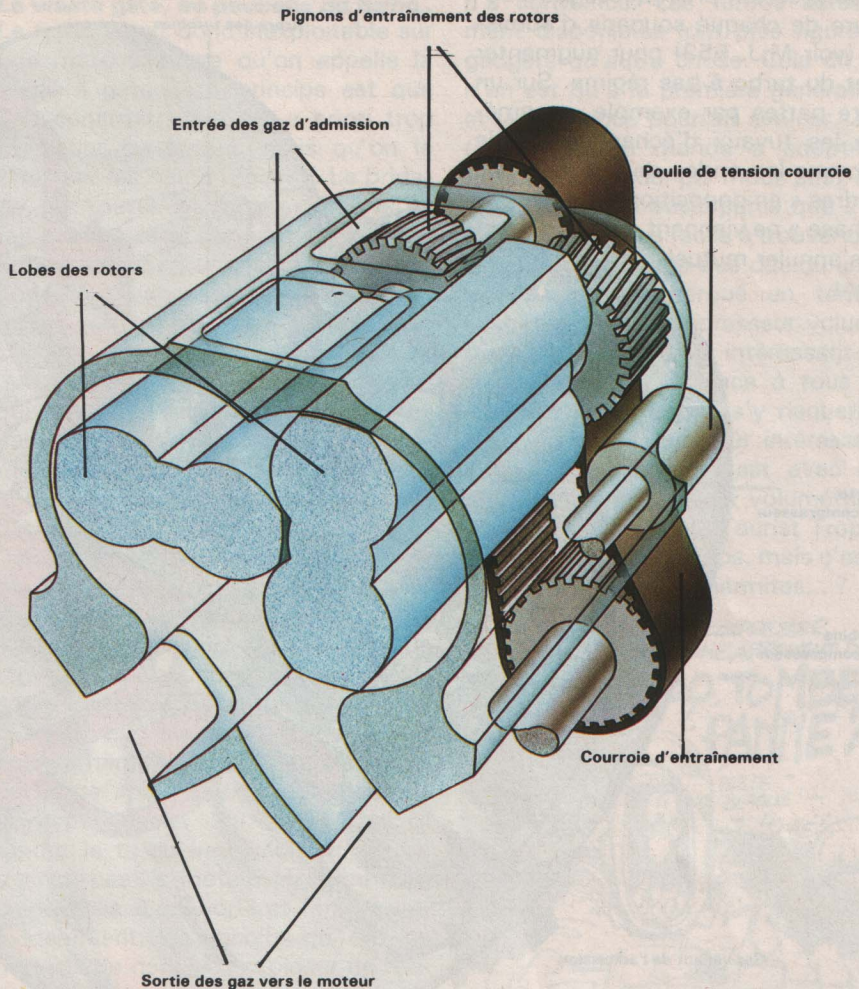
Du coup, il y aura plus de gaz admis dans la turbine du compresseur. Si les gaz étaient complètement coupés auparavant, la turbine tourne très lentement (tout est relatif), la sortie de gaz d'échappement étant faible. Cela dit, si cette turbine « au repos » gêne un peu le passage normal des gaz d'admission, elle n'empêche tout de même pas le moteur d'aspirer des gaz frais supplémentaires, comme un moteur atmosphérique. Recevant plus de gaz, le moteur va se mettre à tourner plus vite, les gaz brûlés vont sortir plus vite de l'échappement, donc faire tourner plus vite les turbines. Du coup le compresseur va devenir efficace, donc envoyer encore plus de gaz frais dans le moteur, qui va tourner encore plus vite et envoyer encore plus de gaz d'échappement, ce qui va encore accélérer le compresseur, et ainsi de suite. En fait, l'augmentation de pression d'admission fournie par un turbocompresseur croît à peu près avec le carré du régime moteur.

La turbine de l'échappement

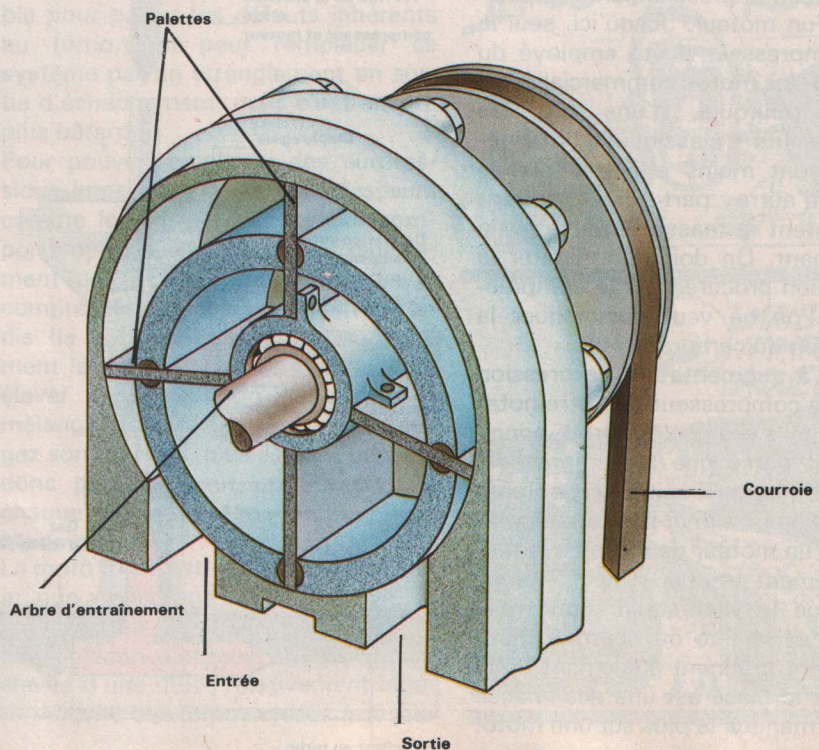
Les turbines d'entraînement d'un turbocompresseur, qui fonctionnent dans les gaz d'échappement, doivent être faites d'un métal extrêmement résistant à la chaleur et à la corrosion. Sur les turbos de petits moteurs, moteurs de motos par exemple, on emploie le principe de la circulation radiale des gaz, par opposition à la circulation axiale. Ca veut dire qu'au lieu de traverser la turbine en ligne droite (ou presque) ils font un quart de tour autour d'elle, la sortie étant inclinée de 90° par rapport à l'entrée. Le résultat est que les gaz restent plus longtemps en contact avec les ailettes de la turbine, et la font tourner et accélérer plus vite.

Certains turbos orientent à l'aide d'ailettes le flot de gaz dans la turbine d'échappement, ce qui permet d'une part d'obtenir une circulation en tourbillon des gaz, d'autre part de contrôler le régime de rotation du turbo. Sans ces ailettes, ce régime de rotation dépend uniquement de la taille du passage des gaz et de sa distance par rapport au centre de la turbine, ces deux facteurs déterminant la taille du passage disponible pour les gaz d'échappement.

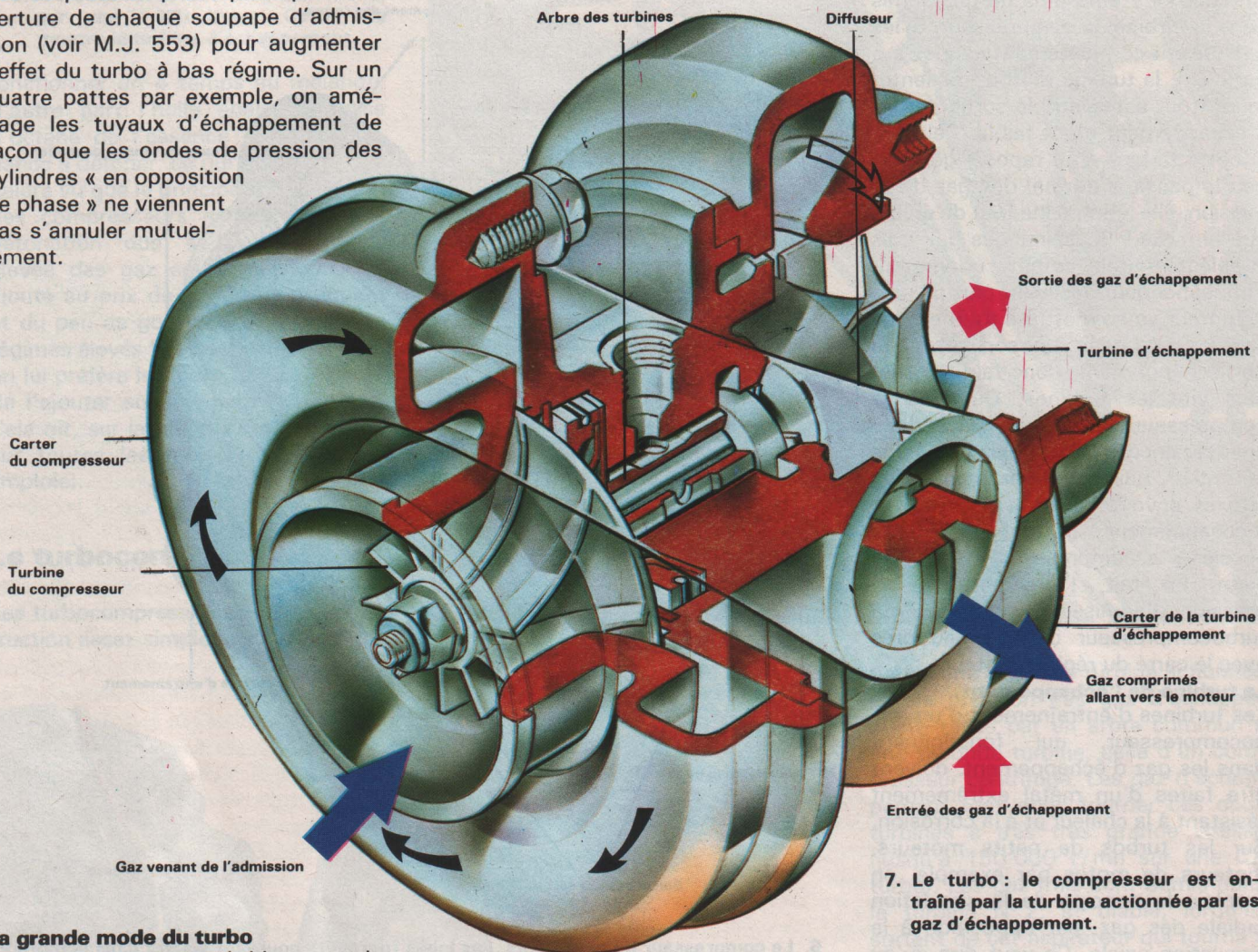
6. Le compresseur à palettes. Les gaz sont déplacés d'un compartiment à l'autre par la rotation des palettes. Les compartiments étant de plus en plus petits, la pression augmente à chaque compartiment, jusqu'à la sortie.



5. Le compresseur de type Roots. Les lobes tournants poussent les gaz dans le moteur en les comprimant. La même quantité de gaz est comprimée à chaque tour moteur.



Un turbo bien conçu exploite les ondes de pression provoquées par l'ouverture de chaque soupape d'admission (voir M.J. 553) pour augmenter l'effet du turbo à bas régime. Sur un quatre pattes par exemple, on aménage les tuyaux d'échappement de façon que les ondes de pression des cylindres « en opposition de phase » ne viennent pas s'annuler mutuellement.

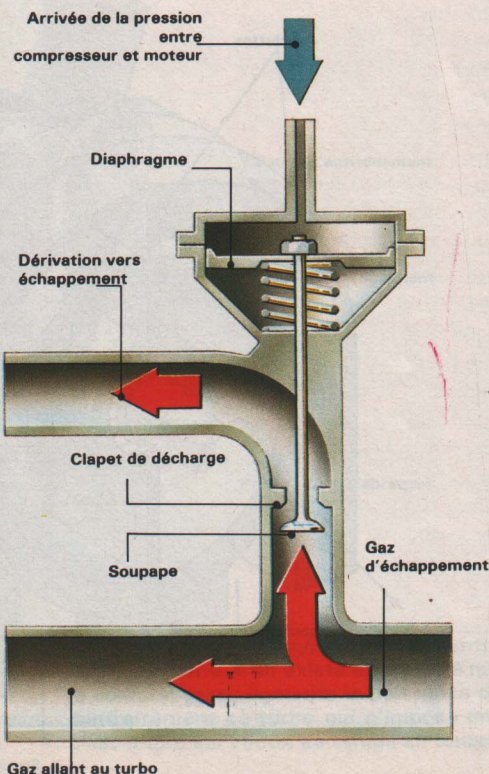


7. Le turbo : le compresseur est entraîné par la turbine actionnée par les gaz d'échappement.

La grande mode du turbo

Le compresseur aussi bien que le turbocompresseur peuvent augmenter de façon impressionnante la puissance d'un moteur. Jusqu'ici, seul le turbocompresseur a été employé du moins sur les motos commercialisées, et voici pourquoi. D'une part, les compresseurs « classiques » volumétriques sont moins efficaces que le turbo, d'autre part ils chauffent énormément la masse gazeuse en la comprimant. On doit donc limiter la surpression procurée par le compresseur si l'on ne veut pas risquer la détonation du carburant.

Ensuite, à augmentation de pression égale, un compresseur doit être notablement plus gros qu'un turbo, principalement parce que le compresseur volumétrique, qu'il soit du type Roots ou à palettes, ne peut pas tourner très vite, sur un moteur de moto on le fera généralement tourner à la même vitesse que le vilebrequin. Enfin, ses pignons et chaîne ou courroie d'entraînement prennent également de la place, et la place est une des choses dont on manque le plus sur une moto.



Enfin, du fait que le compresseur volumétrique est entraîné par le vilebrequin, il consomme pour lui-même environ 30 % de l'augmentation de puissance qu'il procure. De ce fait, le compresseur n'est pour le moment employé sur aucune machine commercialisée, parce que l'argument clé en matière de motos, c'est le rapport puissance/poids/volume. Pourtant, le compresseur volumétrique aurait pas mal d'avantages sur une moto.

Avantages du compresseur classique Primo, contrairement au turbocompresseur, il a une réponse instantanée : le compresseur tournant au même régime que le moteur, il ne se produit aucun retard entre le moment où l'on ouvre les gaz et celui où le compresseur augmente son débit de charge gazeuse comprimée. Par contre, dans le cas du turbo, le « gonflage » qu'il fournit ne commencera à

8. Le clapet de décharge (waste gate). Il empêche une surpression trop importante en court-circuitant le turbo au-delà d'une pression X.

augmenter que lorsque le débit de gaz d'échappement aura lui-même accru, c'est évident. Cela veut dire que le turbo aura toujours un « métro de retard » sur le moteur lui-même, ce qui est normal, puisque l'entraînement du turbo est situé tout à fait en fin de chaîne du circuit des gaz.

Du coup, lorsque l'on met la poignée dans le coin, il peut se passer un certain temps avant que les effets d'un turbocompresseur se fassent sentir, ce qui rend par exemple une CX 500 turbo délicate à piloter.

Autre avantage du compresseur volumétrique, il est efficace sur toute la gamme des régimes moteur. Cela veut dire qu'un moteur à compresseur se comporte tout à fait comme un moteur classique, mis à part qu'il est plus puissant. Son accélération est tout aussi progressive et régulière, du fait que le compresseur volumétrique a un taux de surpression totalement indépendant du régime auquel il tourne, et que son régime de rotation est directement couplé à celui du moteur. Le compresseur volumétrique est parfaitement « marié » au moteur. Le turbo, lui, est beaucoup plus délicat à contrôler, puisque sa « poussée » augmente avec le carré du régime moteur. Si un turbo est conçu pour donner une surpression de 0,14 kg/cm² à 2 500 tours, ce qui serait intéressant pour avoir de la pêche en bas, il donnera une surpression de 0,56 kg/cm² à 5 000 tours, ce qui est très bien, mais à 10 000 tours, la surpression atteindrait 2,24 kg/cm², de quoi faire exploser tous les moteurs de motos de la création. Très rares sont les moteurs de moto qui peuvent encaisser des surpressions supérieures à 1,4 kg/cm² pendant un temps prolongé (il ne s'agit pas ici de faire un dragster) sans devoir être totalement reconçus.

Actuellement, la bécane de série qui utilise la surpression la plus importante est la CX 500 turbo, qui tourne aux environs de 1,2 kg/cm² au régime de puissance maxi. La 650 Yam, beaucoup plus raisonnable, tourne autour de 0,6 Kg/cm². Si l'on veut tarer un turbo de façon à ce qu'il fournisse à hauts régimes une surpression supportable par le moteur, il est donc évident qu'à bas et moyens régimes, l'effet du turbo sera nul et même négatif, puisque la turbine freine les gaz d'échappement. Heureusement, pour améliorer cette situation véreuse, il y a...

La waste gate, ou poubelle du turbo..

Le turbo serait donc inexploitable sur une moto sans ce qu'on appelle la « waste gate ». Le principe est que l'on construit un turbo a priori trop fort pour le moteur, mais qu'on le bride sur les hauts régimes. Le bridage, sur toutes les motos de série, se fait grâce à cette fameuse waste gate (littéralement : porte à déchets) que l'on pourrait appeler clapet de décharge : c'est une soupape commandée par la pression des gaz d'admission qui s'ouvre lorsque cette pression dépasse une valeur donnée, détournant une partie des gaz d'échappement, pour qu'au lieu d'aller accélérer la turbine ils aillent directement à l'échappement. Ainsi, le turbo « surdimensionné » attaque relativement tôt, ce qui lui permet d'avoir un peu d'efficacité à moyens régimes, mais il est en partie court-circuité à hauts régimes pour qu'il ne fasse pas exploser le moteur. C'est bâtard mais relativement efficace.

Evidemment, il faut que ce clapet de décharge soit parfaitement étalonné et hyper fiable. S'il ferme mal, il rendra le turbo inefficace, et s'il ne s'ouvre pas, le moteur fera une soudaine crise d'euphorie et fera boum. Evidemment, les bricoleurs qui ont les moyens de risquer d'exploser un moteur peuvent modifier le tarage du clapet de décharge pour obtenir des surpressions pas inscrites dans le manuel.

Ce système est le seul vraiment valable pour pallier les défauts inhérents au turbo. On peut remplacer ce système par un étranglement en sortie d'échappement, mais c'est encore plus bâtard.

Pour pouvoir employer des surpressions importantes, les compresseurs comme les turbocompresseurs comportent un système de refroidissement des gaz d'admission après le compresseur. Plus les gaz sont refroidis (le compresseur en élève fortement la température) et plus on peut élever la surpression sans que le mélange détone. De plus, moins les gaz sont chauds, plus ils sont denses, donc plus on peut en admettre à chaque coup de piston.

Mode ou pas ?

La moto turbo est-elle une mode ? Oui et non : pour une moto sportive, le compresseur en général peut être une bonne façon d'obtenir une puissance élevée d'une moto relativement légère. Aucune des turbos créées à ce jour

n'a convaincu. Les turbos actuellement disponibles font plus figure de gadgets qu'autre chose. Cela dit, on n'en est qu'à la première génération, et la technique pourrait évoluer. Jusqu'ici, tout le monde a adopté le turbocompresseur par mode peut-être mais, peut être aussi parce que c'est le matériel le plus facile à trouver ou... à copier. Dommage que quelqu'un ne se soit pas démarqué en tentant l'expérience du compresseur volumétrique, beaucoup plus intéressant par le fait qu'il est efficace à tous les régimes. Une marque s'y risquera-t-elle ? Ça serait pour sûr intéressant, n'oublions pas que c'est avec une machine à compresseur volumétrique que BMW a gagné le Tourist Trophy. Bien sûr il y a longtemps, mais c'est-y pas dans les vieilles marmites... ?

