



## Quatre temps et Turbo

Salut tout le monde! Il y a trois ou quatre ans, plusieurs d'entre vous ont probablement blagué en disant qu'ils allaient poser un turbo sur leur motoneige. Eh bien c'est chose faite, puisque Arctic Cat est le premier fabricant à introduire le turbo sur un de ses modèles 2004. Depuis l'arrivée des moteurs à quatre temps il y a quelques années, on ne pouvait que s'attendre à voir des moteurs munis d'un turbo un jour. C'est pourquoi j'ai décidé de vous présenter un bref résumé du fonctionnement du moteur à quatre temps et de celui du turbo.

### Le principe

Un moteur est une boîte étanche, comprenant plusieurs puits également étanches appelés cylindres dans lesquels montent et descendent des pistons métalliques. Ce mouvement de va-et-vient entraîne une manivelle, le vilebrequin, qui communique ensuite son mouvement rotatif à l'embrayage, qui transmet alors sa rotation à la chenille.

### Les composantes

Si l'on part du haut vers le bas, on débute avec la tête du moteur (*photo 1*), qui contient deux composantes principales. Premièrement, la chambre de combustion, une sorte de cavité convexe qui contient le mélange air/essence au moment de l'explosion. Sa forme et sa capacité sont très importantes et varient en fonction de plusieurs facteurs. Les soupapes d'admission et d'échappement (*photo 2*) constituent la deuxième composante. Contrairement à un moteur à deux temps où l'essence est injectée dans la base en premier, le mélange air/essence provenant des carburateurs ou des injecteurs est aspiré dans le moteur directement par la tête du moteur par les ouvertures d'admission (*photo 3*), le contrôle de l'arrivée du mélange s'effectuant à l'aide d'une ou de plusieurs soupapes. Le même principe est observé pour l'évacuation des gaz brûlés, également contrôlée par une soupape (*photo 4*).

Une des parties les plus importantes du moteur à quatre temps est l'arbre à cames (*photo 5*). Aussi appelé « arbre de distribution », il commande l'ouverture des soupapes. Il s'agit d'un arbre (pièce métallique longiligne) entraîné par une roue dentée. Il peut se trouver dans le carter (arbre à cames latéral, 350 de GM) ou dans la tête (arbre à cames en tête, noté ACT). Certains moteurs possèdent deux arbres à cames, un pour les soupapes d'admission et l'autre pour les soupapes d'échappement (ce qui est le cas du RX-1 de Yamaha).

La commande peut se faire au moyen d'une chaîne (*photo 6*), d'engrenages ou encore par courroie. C'est le vilebrequin qui entraîne la rotation de l'arbre à cames. La vitesse de révolution de l'arbre de cames est deux fois moindre que celle du vilebrequin. La position angulaire de l'arbre est déterminée au montage du moteur. Cette opération porte le nom de calage de la distribution. La fermeture et l'ouverture des soupapes sont commandées mécaniquement par la ou les cames. Ce dispositif permet d'éviter l'aflolement des ressorts en cas de surrégime. Voici deux images illustrant une valve ouverte et fermée (*photos 7-8*).



photo 1



photo 2



photo 3



photo 4



photo 5

Comme dans un moteur à deux temps, on retrouve piston, bielle et cylindre. Il y a cependant beaucoup de différences, à commencer par le piston. Dans un deux temps, le piston doit atteindre une certaine hauteur afin de venir fermer la porte d'échappement du cylindre, alors que dans un quatre temps, l'évacuation est gérée par une soupape, donc généralement le piston est moins haut (*photo 9*). Le cylindre du moteur à quatre temps ne possède pas de passage entre la base du moteur et la chambre de combustion. Le tout est donc parfaitement étanche pour ne pas laisser monter d'huile dans la chambre de combustion (*photo 10*).

Le vilebrequin est l'élément principal du système bielle-manivelle (point d'attache de la bielle sur le vilebrequin) (*photo 11*). Il permet la transformation du mouvement alternatif rectiligne du piston en un mouvement de rotation. Habituellement, il est fabriqué d'un seul morceau d'acier. Cette pièce trempe dans l'huile et est continuellement lubrifiée. Ceci est valable pour un moteur traditionnel. Certains moteurs ont une panne à sec, c'est-à-dire que la panne à l'huile est située à un autre endroit et non sous le vilebrequin, et c'est une pompe qui projette l'huile sur les coussinets et le vilebrequin. C'est le cas du moteur de la RX-1 de Yamaha.

### Le moteur à quatre temps

L'essence arrive en haut du cylindre mélangée à de l'air grâce au carburateur. C'est le premier temps : l'admission (*photo 12*).

Le mélange explosif se trouve maintenant en haut du cylindre, dans la chambre de combustion. Le piston, entraîné par le mouvement du moteur, comprime le mélange. C'est le deuxième temps : la compression (*photo 13*).

À un moment précis, la bougie produit une étincelle qui enflamme le mélange. C'est le troisième temps : l'explosion (*photo 14*).

Le piston est alors violemment repoussé vers le bas. Lorsqu'il remonte, il chasse les gaz résiduels de l'explosion vers l'extérieur du moteur. C'est le quatrième et dernier temps : l'échappement (*photo 15*).

Ce cycle recommence immédiatement et se produit plusieurs milliers de fois par minute, deux tours moteurs étant effectués pour un cycle complet.

Le moteur à quatre temps présente un gros défaut qu'il est difficile de contourner : comme vous avez pu le constater, seul un temps moteur sur quatre produit de l'énergie (explosion/détente) et encore, une partie de cette énergie est utilisée afin de continuer le cycle (échappement, admission et compression). C'est pourquoi les moteurs sont équipés de volants moteurs, qui emmagasinent une partie de l'énergie et de par leur masse aident à compléter les trois autres temps.

Un autre problème du moteur à quatre temps : pour rendre cette phase de travail la plus active possible, il faut agir sur la phase précédente, l'admission, en maximisant le remplissage. Ainsi, dans un moteur de 1 600 cc, si les cylindres peuvent en théorie contenir 400 cc, on va essayer par divers moyens d'y faire entrer, au moment de la phase d'admission, le plus de mélange possible. Pour cela, il y a trois solutions : augmenter le diamètre de la soupape d'admission, utiliser plus d'une soupapes ou laisser la soupape ouverte plus longtemps. Dans les trois cas, on obtient un meilleur remplissage à moyen et à haut régime, mais une amélioration est encore possible à bas régime.

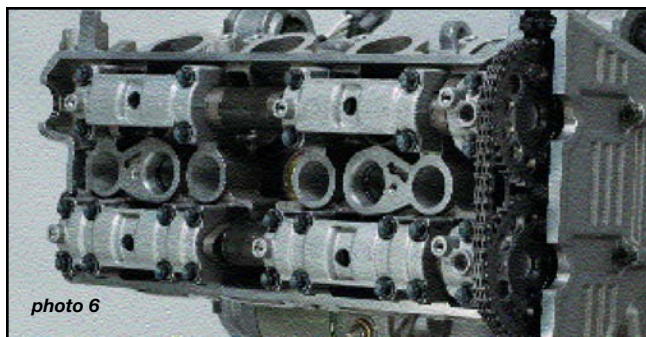


photo 6

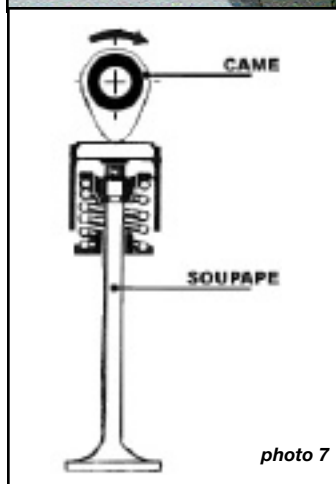


photo 7

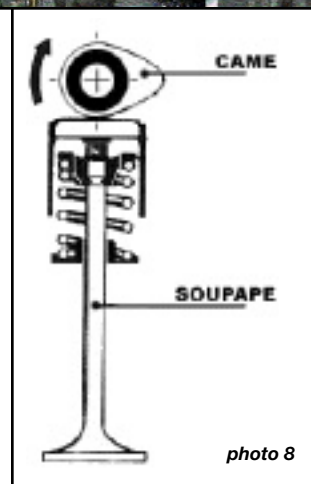


photo 8

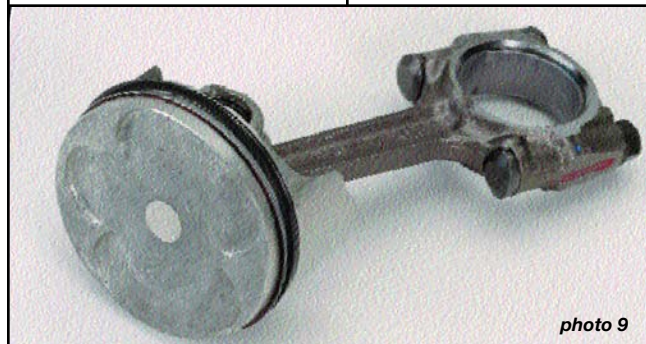


photo 9



photo 10



photo 11



Le but recherché est de suralimenter le moteur. Dans un moteur classique, la quantité de carburant admise dans les cylindres est limitée dans le rapport de combustion par la quantité d'air aspirée par la dépression (ou pression négative) créée pendant la phase d'admission, c'est-à-dire lorsque le piston descend et que les soupapes d'admission sont ouvertes.

La proportion moléculaire du mélange air/essence ne pouvant pas varier, il faut donc, pour obtenir une suralimentation du moteur, comprimer le mélange avant son admission dans les cylindres afin d'en admettre plus. Les compresseurs mécaniques entraînés par le moteur soit par chaîne, soit par cascade de pignons, sont cependant très gourmands en puissance et une partie de l'énergie produite est absorbée par leur fonctionnement.

Dans les moteurs classiques (dits atmosphériques), 60 % de l'énergie produite est disponible et 40 % est expulsée en pure perte avec les gaz d'échappement. L'idée était donc d'utiliser ces mêmes gaz, une partie de l'énergie gaspillée, pour donner au moteur plus de puissance : c'est le turbo.

## Le turbo

Le principe du turbo est de faire ingurgiter au moteur plus d'air et de carburant qu'il ne peut en avaler naturellement. En effet, plus le moteur absorbe de mélange air/essence, plus il produit de chevaux-vapeur, le summum ayant été atteint en Formule 1 avec des puissances supérieures à 1 000 ch pour une cylindrée de seulement 1 500 cm<sup>3</sup>.

Un turbo comporte deux roues à aubes reliées par un axe (*photo 16*), chacune de ces roues étant enfermée dans un carter. L'une de ces roues, appelée turbine, est placée dans le circuit des gaz d'échappement, tandis que l'autre est intégrée dans le circuit d'admission d'air (*photo 17*). Le souffle des gaz d'échappement entraîne le turbo à un très haut régime, ce qui permet à l'autre roue placée dans le circuit d'admission d'aspirer et de comprimer une grosse quantité d'air. C'est ce qu'on appelle la suralimentation, mais attention : cette suralimentation ne peut se faire que lorsque la quantité de gaz d'échappement est assez importante pour entraîner le turbo à haut régime. Si l'on conduit très doucement, le moteur produit peu de gaz d'échappement, il tourne lentement et n'est donc pas suralimenté. On dit alors qu'il est en phase d'admission atmosphérique. L'astuce du turbo est donc d'utiliser l'énergie gratuite fournie par les gaz d'échappement plutôt que de prélever cette énergie dans le moteur (*photo 18*). Par ailleurs, vous avez dû constater que lorsqu'on gonfle un pneu de vélo, la pompe s'échauffe. C'est un phénomène inévitable dès qu'on comprime de l'air ou n'importe quel gaz. L'air comprimé par un turbo n'échappe pas à cette règle et atteint des températures dépassant les 120 °C, ce qui présente deux inconvénients :

- 1) le moteur travaille à une température plus élevée;
- 2) l'air propulsé par le turbo dans la chambre de combustion est plus chaud et moins dense, donc moins performant que de l'air froid.

D'où l'intérêt de disposer d'un système afin de refroidir l'air comprimé. Baptisé « intercooler » en langue anglaise (*photo 19*), on l'appelle « refroidisseur » en français ou encore « échangeur de calories ». C'est une sorte de radiateur qui prélève les calories de l'air pour les disperser vers l'extérieur. Et c'est ainsi qu'on passe d'une température de 130 à 70 °C, ce qui permet de faire gagner plusieurs chevaux-vapeur au moteur.

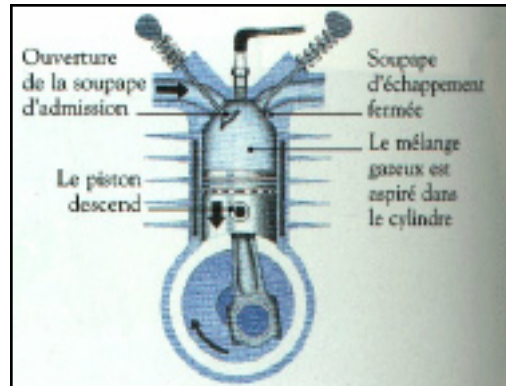


photo 12 1. L'admission

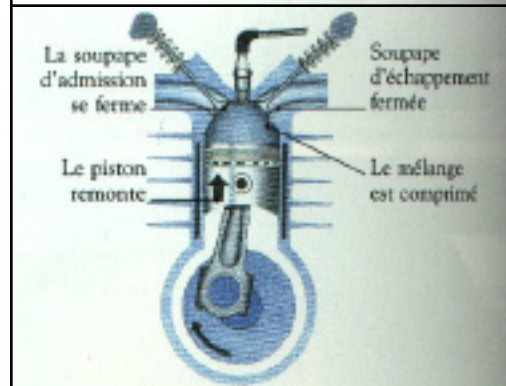


photo 13 2. La compression

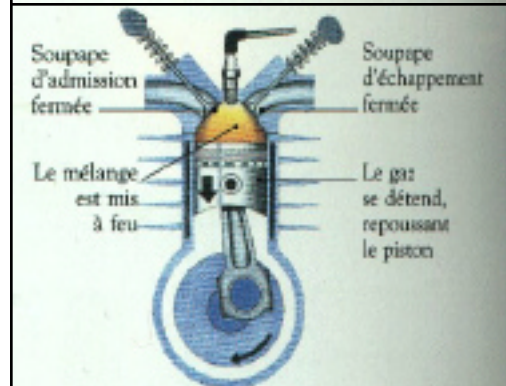


photo 14 3. L'explosion

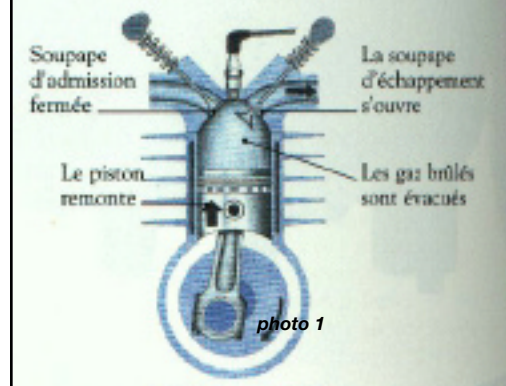


photo 15 4. L'échappement

Lorsqu'on enfonce l'accélérateur d'un moteur muni d'un turbo, il s'écoule un plus ou moins bref délai avant que « l'effet » turbo se fasse sentir (turbo lag). C'est ce qu'on appelle le « temps de réponse ». Pour que le turbo puisse suralimenter le moteur, il faut qu'il tourne à un régime élevé, sans quoi il agit comme obstruction au niveau de l'entrée d'air. Ce régime dépend de la quantité et de la vitesse des gaz d'échappement. Si l'on effleure l'accélérateur, le moteur produit peu de gaz d'échappement et le turbo ronronne à bas régime. Si l'on accélère davantage, la montée en régime du turbo ne peut être instantanée. Pour limiter le temps de réponse, on réduit la taille du turbo et on joue sur son poids ainsi que sur le dessin des ailettes. Certains moteurs ont des conduits de contournement pour diminuer l'effet d'obstruction que crée la présence du turbo. Si rien ne vient limiter la montée en régime du turbo, la suralimentation atteindra une ampleur excessive que le moteur ne supportera pas. Cette limitation se fait en jouant sur la quantité de gaz d'échappement qui passe par le turbo. C'est le rôle de la fameuse « waste gate » ou soupape de décharge (photo 20). Il s'agit d'un boîtier qui contient une soupape soumise soit à la pression des gaz d'alimentation, soit à celle des gaz d'échappement. Le ressort de la soupape est taré pour qu'elle s'ouvre à une pression déterminée. Une partie des gaz d'échappement est alors dérivée dans un conduit annexe.

Tant qu'il fonctionne correctement, on ne touche pas à un turbo. Les paliers du turbo sont graissés par une dérivation du circuit de graissage du moteur. Lorsque le moteur est froid, bannissez les grands coups d'accélérateur. Évitez les régimes élevés tant que le moteur n'est pas chaud. Pas de coup d'accélérateur juste avant de couper le contact, car le turbo continuerait de tourner sur sa lancée, mais ne serait plus graissé. Laissez donc tourner votre moteur un peu avant de l'éteindre. Utilisez toujours une huile de haute qualité. Évitez d'atteindre la zone rouge du manomètre de suralimentation si votre véhicule en possède un.

Les plus grands défis des fabricants sont le poids et la perte d'énergie. Comme vous avez pu le constater, le moteur à quatre temps utilise une grande partie de la puissance qu'il produit pour faire fonctionner les arbres à cames, les soupapes, etc., ce qui n'est pas le cas sur un deux temps. De plus, une seule explosion se produit toutes les deux montées de piston dans un quatre temps, alors que le deux temps déclenche une explosion chaque fois que le piston se présente dans la chambre de combustion. Ces quelques points expliquent pourquoi un moteur à deux temps est plus performant et plus léger qu'un quatre temps de même cylindrée. Par contre, le moteur à quatre temps offre également de gros avantages, comme l'économie d'essence et la fiabilité à long terme. Le turbo est l'un des moyens de rendre un quatre temps plus performant sans y ajouter trop de poids. Cependant, il est très coûteux à réparer et demande des vérifications régulières.

J'espère avoir su vous expliquer en gros le fonctionnement du moteur à quatre temps et du turbo. Si vous avez des questions sur ce sujet ou autres concernant la mécanique, n'hésitez pas à m'écrire à l'adresse électronique suivante : stef-tech@fcm.qc.ca, il me fera plaisir d'y répondre.

Bonne saison!

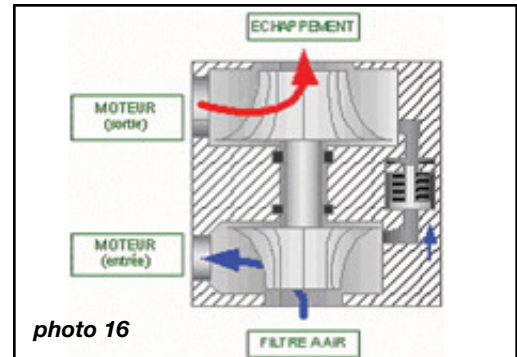


photo 16

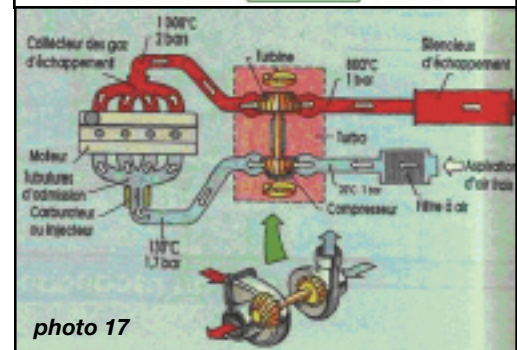


photo 17

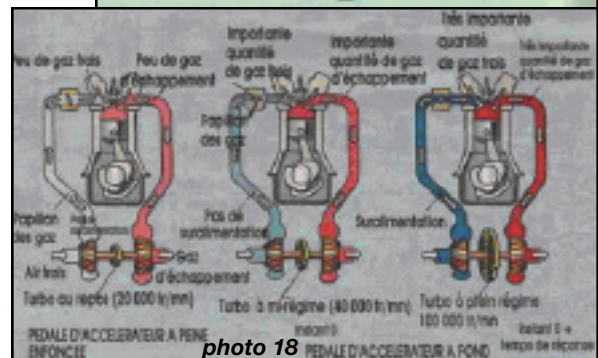


photo 18

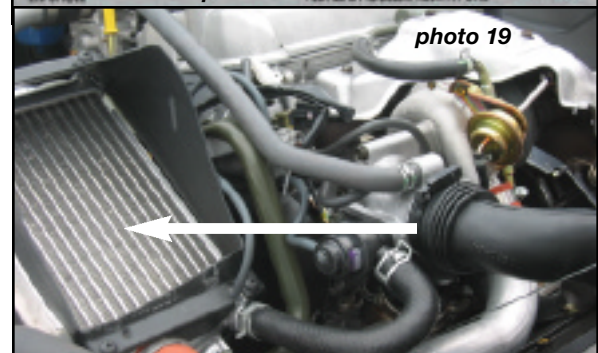


photo 19

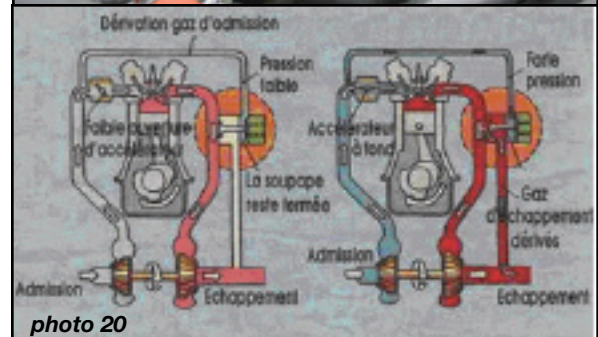


photo 20