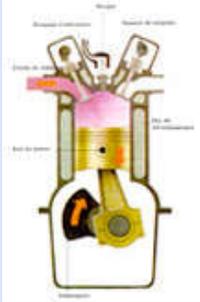
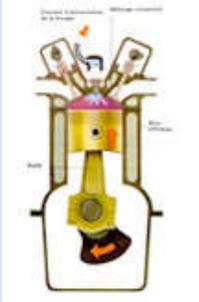
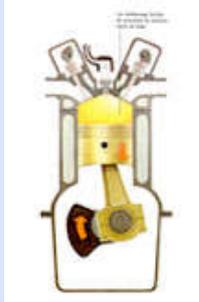
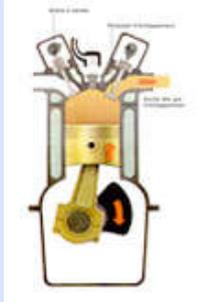


CALAGE MOTEUR.

Les soupapes d'admission et d'échappement, qui permettent l'entrée et la sortie des gaz dans les cylindres, devront, pour donner un rendement maximum à la machine, s'ouvrir et se fermer à un moment précis du cycle moteur. Elles sont commandées à l'ouverture par l'arbre à cames, lui-même entraîné par le vilebrequin par l'intermédiaire d'une chaîne ou de pignons. Leur fermeture se fait par ressorts de rappel. Elles sont au nombre de deux (parfois quatre) par cylindre.

Admission	Compression	Explosion	Échappement
			
1 Soupape d'admission ouverte, soupape d'échappement fermée : la course descendante du piston aspire une nouvelle quantité de mélange carburant/air.	2 Les soupapes d'admission et d'échappement sont fermées : en remontant, le piston comprime le mélange enfermé dans la chambre de compression.	3 Les deux soupapes restent fermées pendant que l'étincelle allume le mélange et fait descendre le piston (temps moteur) sous l'effet de la dilatation des gaz brûlés.	4 Les gaz brûlés passent par la soupape d'échappement. Le piston est dans sa course ascendante. Au niveau du point mort haut, va commencer un autre cycle.

Angle de calage des soupapes

Le calage de la distribution va déterminer le positionnement relatif arbre à cames! vilebrequin. Le calage sera caractérisé par l'angle que fait le point d'ouverture ou de fermeture d'une soupape, repéré sur le plan de rotation du vilebrequin, avec la position haute ou basse d'un maneton de ce dernier.

Cette position détermine le point mort haut (PMH) ou le point mort bas (PM B), selon que le piston est en haut de sa course ou en bas. La fermeture des soupapes se fait en général par ressort de rappel.

Le calage de la distribution, réalisé d'une façon unique, est repéré sur le volant moteur afin de faciliter les grandes opérations de démontage et remontage qui pourraient intervenir. La modification de cette caractéristique n'est pas à la portée de l'utilisateur. Il ne faut confondre calage de la distribution et calage de

l'allumage, opération qui a pour but de définir également un instant optimal, celui du jaillissement de l'étincelle par rapport à l'état de compression du mélange air/essence dans le cylindre. Le calage de l'allumage est assez facilement vérifiable par l'utilisateur. Il fera l'objet d'un prochain article.

Les culbuteurs

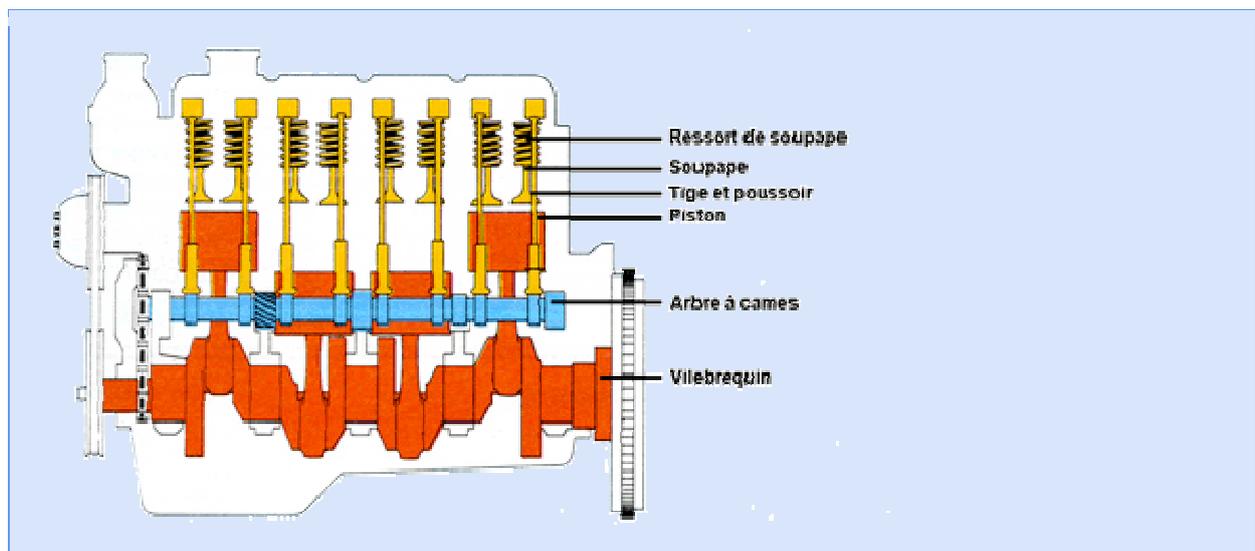
La transmission du mouvement came/soupape se fait, dans la plupart des cas, par l'intermédiaire des culbuteurs dont le réglage du jeu par rapport à la queue de soupape est une opération à la portée de l'utilisateur sans un outillage particulier.

Le réglage de ce jeu n'a rien à voir avec le calage de la distribution. Il s'agit d'une opération destinée à réaliser un jeu normal de fonctionnement capable d'absorber la dilatation (donc l'allongement) de la queue de soupape sous l'effet de la chaleur.

Un jeu nul ou insuffisant entraînera la non-fermeture de la soupape, donc une fuite de gaz nuisible au rendement; un jeu excessif sera la cause d'une part de claquements, mais aussi, d'autre part, d'un retard à l'ouverture de la soupape, donc d'un mauvais remplissage ou vidage du cylindre nuisible encore au rendement moteur.

Le jeu des culbuteurs des soupapes d'échappement est toujours supérieur à celui des culbuteurs commandant les soupapes d'admission, car elles sont soumises directement à la chaleur des gaz brûlés.

Rôle de l'angle de calage de la distribution



5 La plupart des moteurs de série sont équipés de soupapes en tête (montées dans la culasse). L'arbre à cames peut être monté dans le bloc-cylindre et commander les soupapes comme ici.

Si le mécanisme de calage des soupapes est en soi assez simple, le problème de détermination de l'angle de calage est complexe, car les soupapes ne s'ouvrent ni se ferment exactement au PMH ou PMB, c'est-à-dire aux extrémités de la course du piston, mais en réalité avant et après ces deux points, d'où l'apparition d'un angle caractéristique (**schéma 6**). La détermination de celui-ci découle d'études thermodynamiques et de mécanique des fluides quant aux facultés d'écoulement du mélange air/essence dans un moteur considéré.

Avance et retard à l'ouverture et à la fermeture d'une soupape

Il existe deux raisons principales pour lesquelles les soupapes d'un moteur ne s'ouvrent ni se ferment au PMH ou PMB : il est impossible d'ouvrir et de fermer instantanément un mécanisme quel qu'il soit, du fait de l'inertie des pièces en mouvement (**schéma 5**). Ce temps se traduira donc par un angle de rotation du vilebrequin et de l'arbre à cames. De plus, les gaz possèdent eux aussi leur inertie propre, et la mise en mouvement à l'aspiration ou à l'échappement du volume gazeux demande un certain temps.

Ni l'admission ni l'échappement ne seront instantanés. Pendant la course d'admission (**schéma 1**), il se produit une légère dépression dans le cylindre, due au laminage des gaz frais par la soupape d'admission. Celle-ci se ferme un peu après le PMB, car l'expérience montre que les gaz, grâce à leur vitesse, ont acquis une inertie qui leur permet de remplir encore le cylindre malgré l'amorce de remontée du piston. La combustion demandant un certain délai, on provoque l'étincelle de la bougie un peu avant le PMH, et la combustion va durer un peu après (**schémas 2 et 3**). De même, comme nous l'avons vu, l'échappement n'étant pas instantané, on ouvrira la soupape correspondante avant le PMB (**schéma 4**).

Ouverture et fermeture de l'admission

Compte tenu de ce qui précède, si la soupape d'admission s'ouvrait exactement au PMH, le piston serait déjà à mi-distance de sa course descendante au moment de la pleine ouverture de la soupape, et le mélange air/essence n'aurait pas le temps de remplir le cylindre correctement; la course du piston correspondant à l'aspiration n'aurait servi que partiellement et le rendement moteur serait déplorable. Ainsi, pour remédier à cet inconvénient, lorsque le

piston arrive avant le PMH, la soupape d'admission est déjà partiellement ouverte afin que, dès le début de sa course descendante, le piston puisse mettre en mouvement la colonne gazeuse.

Il y a cependant une limite à cette avance de l'admission, car, si l'ouverture de la soupape correspondante se produit trop tôt, le piston est encore en train de monter rapidement et une partie des gaz d'échappement risque de passer dans l'admission avant que ne s'ouvre l'échappement. Un tel inconvénient risquerait de retarder l'admission des gaz frais ou même d'enflammer le carburateur, siége de la vaporisation du mélange air/essence, sous l'effet de la température élevée des gaz brûlés.

De même, si la soupape d'admission reste ouverte trop longtemps après le PMB, la montée du piston risque de refouler une partie des gaz nouvellement admis vers leur point de départ; le remplissage sera affaibli et le rendement déplorable.

Ouverture et fermeture de l'échappement

Les mêmes considérations s'appliquent à la soupape d'échappement. Si celle-ci commence à s'ouvrir lorsque le piston approche du PMB, à la fin du temps « détente », les gaz brûlés peuvent commencer à sortir du cylindre, et le piston, dès sa remontée, chassera les gaz avec plus d'efficacité. La soupape d'échappement se fermant un peu après le PM H, l'inertie acquise par les gaz brûlés achèvera de les évacuer du cylindre.

Il apparaît donc qu'une ouverture prématurée de cette soupape avant le PMB nuira à la détente optimale des gaz. Le temps « explosion » étant le seul temps moteur du cycle à quatre temps, il ne faut donc pas diminuer sensiblement le temps d'action de la combustion sur le piston par une perte de pression des gaz. De même, site retard à la fermeture est trop important, une partie des gaz d'admission s'échapperont.

Rendement

Ainsi qu'il apparaît, un moteur aura les caractéristiques suivantes :

- avance à l'ouverture de l'admission (AOA);
- retard à la fermeture de l'admission (RFA);
- avance à l'ouverture de l'échappement (AOE);
- retard à la fermeture de l'échappement (RFE).

Ces angles vont varier suivant la vocation du moteur considéré. En général, plus on demande de puissance à un moteur et plus on est obligé d'augmenter sa vitesse de rotation, mesurée en tours par minute. Il s'ensuit des temps d'admission et d'échappement plus courts, incompatibles avec un rendement maximum. Pour contrecarrer cet inconvénient et obtenir un remplissage et un vidage efficaces, il sera nécessaire d'augmenter l'angle d'avance à l'ouverture et de retard à la fermeture de la soupape considérée. Par contre, l'utilisation d'un moteur ainsi réglé ne donnera pas entière satisfaction aux faibles régimes, les temps d'admission et d'échappement seront trop longs et cela entraînera des irrégularités de fonctionnement. Le calage définitif d'une distribution sera dans tous les cas un compromis, caractéristique de la vocation du moteur (schémas 7 et 8).

Pour tenter d'augmenter encore la rapidité d'ouverture d'une soupape, il peut être fait usage de came au profil plus pointu. Une telle caractéristique s'appliquera aux hautes performances, où l'on demande une puissance à grand régime, souvent limitée à une faible plage de tours/minute.

Ordre de grandeur de ces angles

Type de moteur	AOA	RFA
Moteur courant	5° à 20°	30° à 40°
Moteur course	40° à 55°	60° à 70°

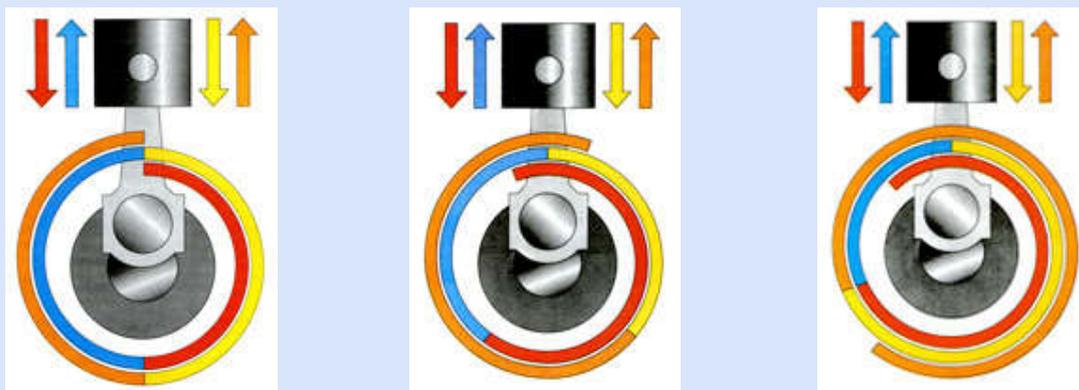
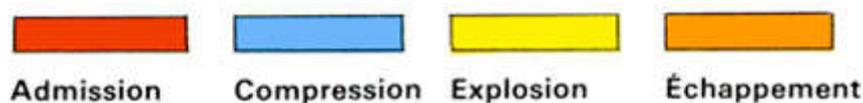
**Si on règle de cette façon les soupapes d'admission,
on pourra régler celles d'échappement,
de manière qu'elles s'ouvrent comme suit**

Type de moteur	AOE	RFE
Moteur courant	30° à 40°	5° à 20°
Moteur course	60° à 70°	40° à 55°

Cette symétrie du réglage de l'ouverture et de la fermeture des soupapes d'admission et d'échappement est courante mais pas systématique. Les réglages conduisent à un « croisement » de leur ouverture et fermeture (simultanéité) autour du PMH. Là encore intervient la vocation du moteur.

Critères d'un bon remplissage

Le fonctionnement des soupapes par rapport aux quatre temps du moteur



6 En théorie, il semblerait que l'idéal soit d'ouvrir les soupapes au PMH et au PMB - vous pouvez voir quand chaque soupape s'ouvre en suivant la spirale dans le sens des aiguilles d'une montre.

7 Le flux de gaz circule mieux si les soupapes d'admission et d'échappement sont ouvertes simultanément ou si elles se « croisent » au PMH.

8 Les moteurs faits pour de hautes performances ont un « croisement » plus important. Le flux de gaz est encore meilleur à régime supérieur élevé, mais la puissance du moteur est mauvaise à petite vitesse.

Pour un même temps d'ouverture de soupape, le remplissage dépend de la section d'entrée offerte aux gaz. Celle-ci est fonction de deux paramètres :

- hauteur de levée de soupape;
- diamètre de soupape.

Une levée importante pourra, dans une certaine mesure, compenser des durées plus courtes d'ouverture. Deux limites interviennent

- risque d'interférence soupape-piston au PMH;
- difficulté de mettre en mouvement, en un temps très court, la colonne gazeuse air/essence. Aux faibles régimes, l'inertie des gaz ne sera pas assez importante pour qu'ils puissent continuer à circuler à la fin du temps admission ou échappement, suivant la phase du cycle considérée.

Une levée importante en un temps très court occasionne une vitesse linéaire de la queue de soupape dans son guide, bien supérieure à celle d'une soupape soumise à une levée moindre mais durant plus longtemps. Il y aura donc augmentation de contraintes mécaniques sur le métal.

Il est possible alors d'augmenter le diamètre de la soupape, dans les limites, bien sûr, de la géométrie de la chambre de combustion. On préférera souvent deux soupapes plus réduites, facilement logeables, à une soupape unique. Il s'ensuit évidemment un coût supérieur à la construction.

On rencontre sur certains moteurs

- 2 soupapes d'admission;
- 1 soupape d'échappement

ou sur d'autres moteurs

- 2 soupapes d'admission;
- 2 soupapes d'échappement.

Cette technique est réservée, en général, aux moteurs de compétition.

En conclusion, il apparaît donc qu'un moteur à explosion est un compromis entre les résultats de la thermodynamique et les possibilités de réalisation mécanique. La seule façon d'obtenir un rendement maximum à tous les régimes serait de pouvoir adapter un système de réglage continu des différents paramètres qui ont été vus. Seule l'électronique peut résoudre le problème de la commande des soupapes.

Il n'y a plus alors de positionnement unique vilebrequin/arbre à cames, que l'on appelait : point de calage de la distribution, mais un ensemble de points - chacun définissant un instant de fonctionnement aux conditions optimales. L'amélioration apportée par cette technique sur des moteurs courants au stade expérimental ne justifie pas le prix élevé de mise en place pour un montage en grande série.

