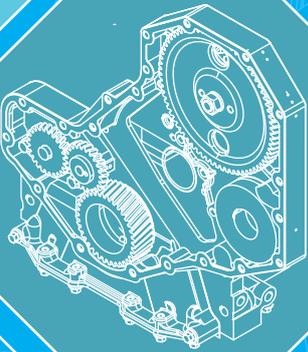
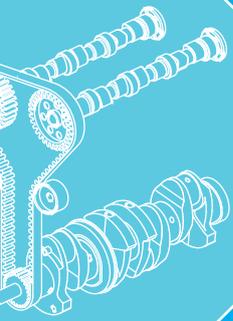
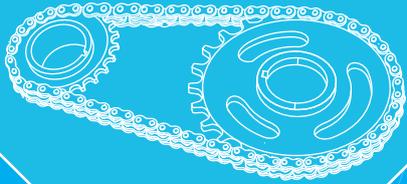


MOTEUR DIESEL



1

INTRODUCTION À LA MÉCANIQUE

Table des Matières

1. Historique.....	1
2. Moteurs Diesel.....	2
3. Principaux composants d'un moteur diesel.....	3
3.1. Le bloc-cylindres.....	4
3.2. Chemise de cylindre ou alésage.....	5
3.3. Piston et bielle.....	6
3.4. Bielle.....	7
3.5. Vilebrequin.....	8
3.6. Volant d'inertie.....	9
3.7. Culasses et soupapes.....	10
3.8. Pignons de synchronisation, arbre à cames, et mécanisme de soupape.....	11
3.9. Le Turbocompresseur.....	13
3.10. Refroidissement du moteur.....	13
3.11. Lubrification du moteur.....	14
3.12. Système carburant.....	15
3.13. Système d'admission d'air.....	16
3.14. Turbocompression.....	16
3.15. Suralimentation.....	17
3.16. Système d'échappement.....	17
3.17. Filtre à particules de suie.....	18
4. Terminologie opérationnelle.....	18
4.1. Alésage et course.....	18
4.2. Cylindrée.....	19
4.3. Le taux de compression et le volume d'espace mort.....	20
4.4. Le degré de rotation du vilebrequin.....	20
4.5. Ordre d'allumage.....	21
4.6. Puissance.....	21
5. Les cycles de base Diesel.....	23
5.1. Cycle.....	23
5.2. Le cycle à quatre temps.....	24
5.3. Admission.....	24
5.4. Injection de carburant.....	25
5.5. Puissance.....	25

5.6. Échappement.....	25
5.7. Contrôle du moteur.....	26
5.8. Injecteurs de carburant.....	26
5.9. Injection électronique hydraulique.....	27
5.10. Circuits de démarrage.....	28
6. Protection du moteur.....	29
6.1. Les moteurs refroidis par l'eau peuvent surchauffer.....	29
6.2. Échappement.....	30
6.3. Lubrification à basse pression.....	30
6.4. Pression élevée du carter.....	30
7. Exercices pratiques.....	31

Note : en conformité avec l'objectif de l'Académie d'enseigner à ses stagiaires des bases d'anglais technique, les textes de certaines des illustrations de ce manuel ont volontairement été laissés en anglais.

1. Historique

Le moteur diesel moderne est le résultat des principes de la combustion interne d'abord proposé par Sadi Carnot au début du 19^{ème} siècle. Le Dr Rudolf Diesel a appliqué les principes de Sadi Carnot dans un cycle ou méthode de combustion breveté qui fut connu sous le nom de cycle de « diesel ». Son moteur breveté fonctionnait lorsque la chaleur générée pendant la compression de la charge d'air et du carburant entraînait l'allumage du mélange, qui ensuite s'étirait à une pression constante dès que le moteur avait atteint sa pleine puissance.



Le premier moteur du Dr. Diesel fonctionnait à la poussière de charbon et utilisait une pression de compression de 1500 psi pour accroître son efficacité théorique. Ce premier moteur n'était également pas prévu pour accueillir un quelconque système de refroidissement. Par conséquent, entre la pression extrême et l'absence de refroidissement, le moteur finit par exploser, tuant presque son inventeur. S'étant remis de ses blessures, Diesel essaya à nouveau d'utiliser du pétrole comme carburant, ajoutant une chemise d'eau autour du cylindre, et réduisant la pression de compression à approximativement 550 psi. Cette combinaison se révéla plus efficace. Les droits de production du moteur furent vendus à Adolphus Bush, qui construisit les premiers moteurs diesel à usage commercial, les installant dans sa distillerie de St. Louis pour actionner diverses pompes.

2. Moteurs Diesel

Le moteur diesel est similaire au moteur à essence utilisé dans la plupart des voitures.

Les deux moteurs sont des moteurs à combustion, ce qui signifie qu'ils brûlent le mélange carburant-oxygène à l'intérieur des cylindres. Ce sont tous les deux des moteurs alternatifs, entraînés par les pistons en mouvement latéral dans deux directions. La majorité de leurs pièces détachées sont similaires.

Bien qu'un moteur diesel et un moteur à essence fonctionnent avec des composants similaires, lorsque le moteur diesel est comparé au moteur carburant de puissance équivalente, il est plus lourd en raison des matériaux plus solides utilisés pour supporter des forces dynamiques plus importantes.

La pression de combustion plus importante est le résultat du taux de compression plus élevé utilisé par les moteurs diesel. Le taux de compression mesure à quel point le moteur comprime les gaz dans le cylindre du moteur.

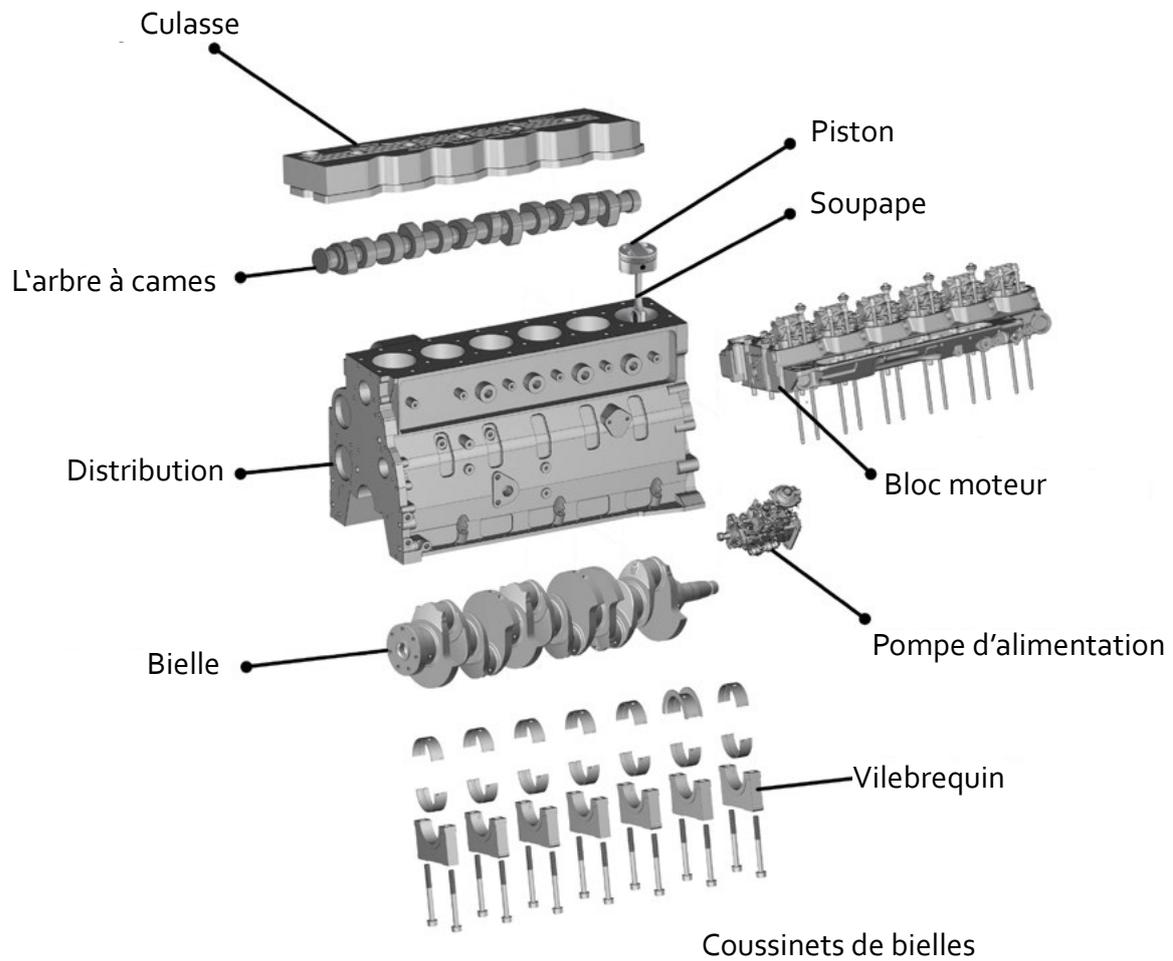
Dans un moteur à essence, le taux de compression (qui contrôle la température de compression) est limité par le mélange air-essence pénétrant dans les cylindres. La température d'allumage plus basse du carburant allumera le moteur (brûler) à un taux de compression inférieur à 10,1. Le taux de compression d'une voiture moyenne est de 7,1. Dans un moteur diesel, les taux de compression sont généralement compris entre 14,1 et 24,1. Les taux de compression élevés sont possibles car seul l'air est comprimé et ensuite le carburant est injecté. C'est l'un des facteurs qui permet au moteur diesel d'être aussi efficace. Le taux de compression sera abordé plus en détail à la fin de cette section.

La vitesse de rotation (RPM) du moteur diesel est limitée par la quantité de carburant injectée dans les cylindres du moteur. Par conséquent, le moteur aura toujours assez d'oxygène à brûler et le moteur essaiera d'accélérer pour respecter le nouveau taux d'injection du carburant. C'est pour cette raison qu'une régulation manuelle du carburant n'est pas possible, car ces moteurs peuvent accélérer au taux de plus de 2000 tours par seconde à vide. Les moteurs diesel exigent un limiteur de vitesse, communément appelé le régulateur, pour contrôler la quantité de carburant injectée dans le moteur.

Contrairement au moteur à essence, un moteur diesel ne nécessite pas de système d'allumage. En effet, dans un moteur diesel, le carburant est injecté dans le cylindre lorsque le piston arrive au maximum de sa course de compression. Lorsque le carburant est injecté, il s'évapore et s'enflamme en raison de la chaleur créée par la compression de l'air dans le cylindre.

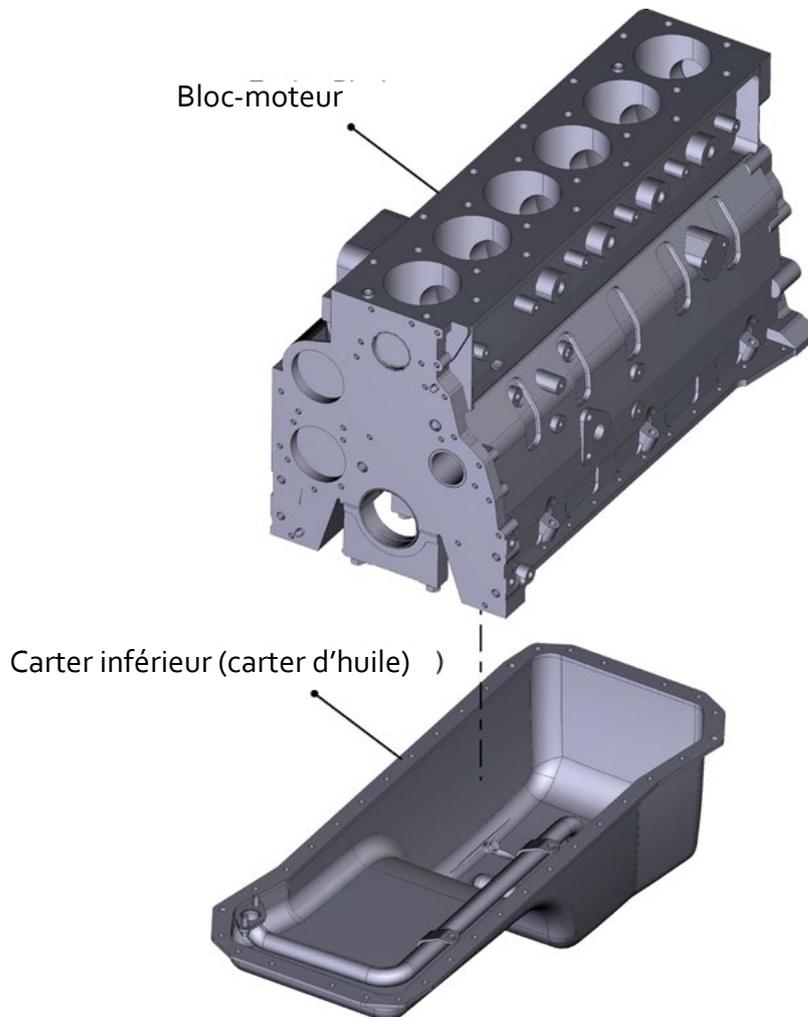
3. Principaux composants d'un moteur diesel

Pour comprendre comment un moteur diesel fonctionne, il est nécessaire de comprendre le fonctionnement des principaux composants ainsi que leur relation les uns aux autres.



3.1. Le bloc-cylindres

Le bloc-cylindres est fabriqué en un seul bloc en fonte. Dans un moteur diesel à refroidissement par liquide de refroidissement, le bloc procure aussi la structure et le cadre rigide des cylindres du moteur, des conduits du liquide de refroidissement et de l'huile.



Le carter est généralement situé au fond du bloc-cylindres. Le carter est défini comme la zone autour du carter et du palier de vilebrequin. Cette zone comprend le vilebrequin et les contrepoids du vilebrequin et renvoie l'huile dans le carter inférieur. La cuve à huile est située au fond du carter. La cuve recueille et permet l'alimentation en huile du moteur. Dans les très gros moteurs diesel, la cuve à huile est divisée en plusieurs cuves séparées.

3.2. Chemise de cylindre ou alésage

Les moteurs diesel utilisent un ou deux types de cylindres. Dans le premier, chaque cylindre est simplement installé dans le carter du bloc, faisant partie intégrante avec les cylindres. Dans le deuxième, une gaine en acier est enfoncée dans le carter du bloc pour former le cylindre. Avec chacune des méthodes, la chemise du cylindre (ou alésage) procure au moteur une structure cylindrique nécessaire pour confiner les gaz de combustion et guider les pistons du moteur.



Line Engine

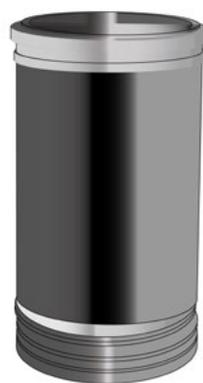


Horizontal Opposed Engine



V Engine

Dans les moteurs équipés de chemises, il peut y avoir deux types de chemises : sèches ou mouillées. Une chemise sèche est entourée par le métal du bloc et n'est pas en contact direct avec l'eau de refroidissement du moteur. Une chemise mouillée est en contact direct avec le liquide de refroidissement du moteur. Le volume quand le piston est au PMH dans la chemise s'appelle la chambre de combustion et c'est à cet endroit que le carburant est brûlé.



Wet - Sleeve

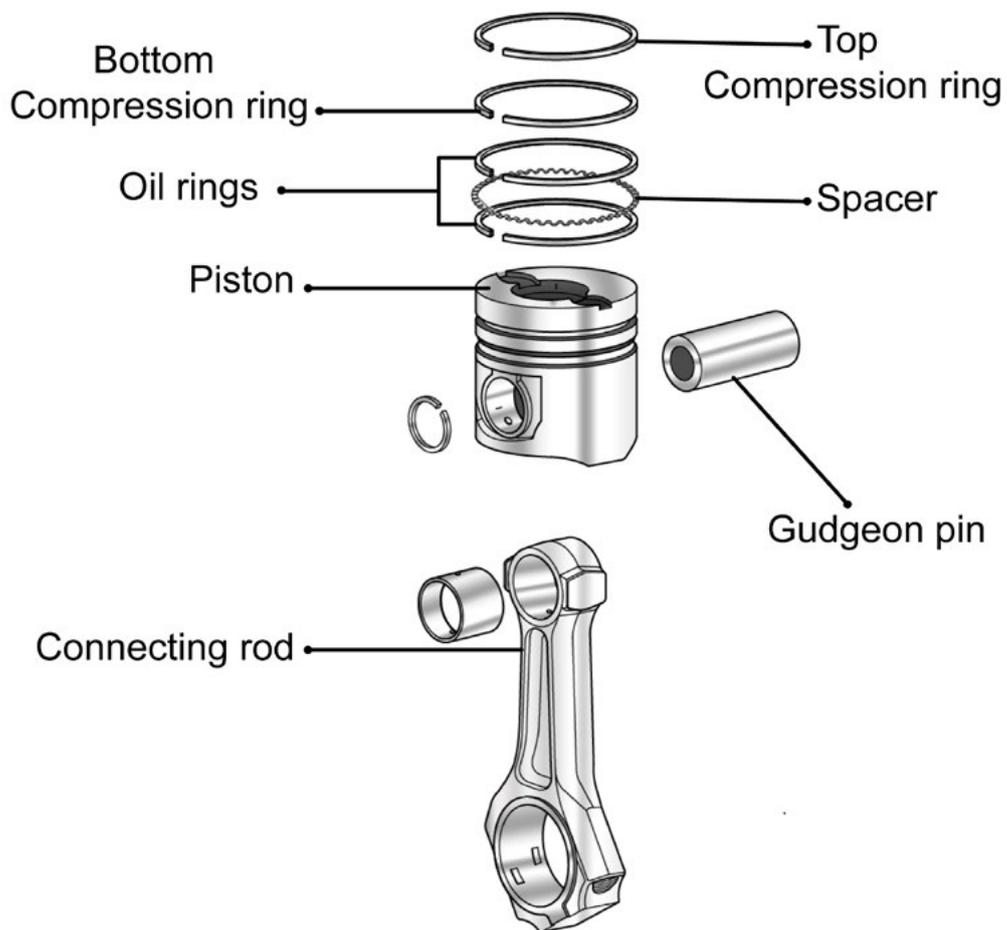


Dry - Sleeve

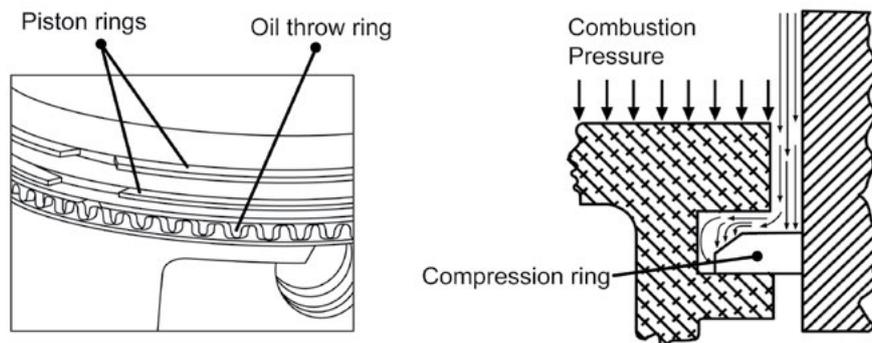
Dans chaque type de cylindre, chemisé ou alésé, le diamètre du cylindre s'appelle l'alésage du moteur. La plupart des moteurs diesel sont des moteurs multicylindres et sont généralement dotés de cylindres disposés d'une ou de deux façons : en ligne ou en forme de «V», mais il existe d'autres combinaisons. Dans un moteur monté en ligne, comme son nom l'indique, tous les cylindres sont disposés en rangée. Dans un moteur monté en forme de «V», les cylindres sont disposés en deux rangées de cylindres en angle les uns par rapport aux autres qui s'alignent sur un segment commun du vilebrequin.

3.3. Piston et bielle

Le piston transforme l'énergie des gaz en développement en une énergie mécanique.



Le piston parcourt la chemise du cylindre. Habituellement sur les engins, les pistons sont en fonte. Pour empêcher les gaz de combustion de contourner le piston et pour maintenir le frottement au minimum, chaque piston est équipé de plusieurs anneaux métalliques appelés segments.

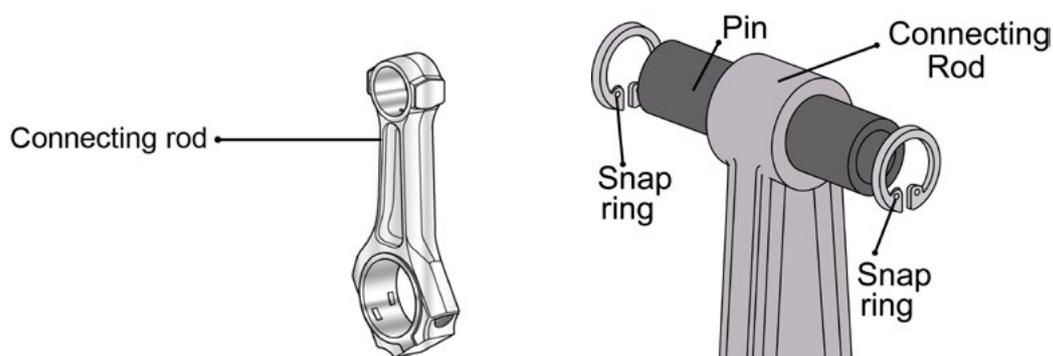


Ces segments servent de joint entre le piston et la paroi du cylindre et réduit aussi le frottement en minimisant la zone de contact entre le piston et la paroi du cylindre. Les segments sont généralement en fonte et recouverts de chrome ou de molybdène. La plupart des pistons des moteurs diesel sont dotés de plusieurs segments, habituellement entre 2 et 5, et chaque segment a une fonction bien distincte. Le/les segment(s) supérieur(s) agit(ssent) principalement comme des joints d'étanchéité. Le/les segment(s) intermédiaires agit(ssent) comme des joints racleurs pour retirer et contrôler la quantité de film lubrifiant sur les parois du cylindre. Le/les segment(s) inférieur(s) agit(ssent) comme des segments graisseurs et garantit(ssent) qu'une quantité d'huile lubrifiante est uniformément déposée sur les parois du cylindre.

3.4. Bielle

La bielle relie le piston au vilebrequin. Les bielles sont en métal matricé et traité thermiquement pour procurer la force nécessaire. Chaque extrémité de la bielle est percée, et l'orifice supérieur est connecté à l'axe du piston. La grande extrémité de l'orifice de la bielle est divisée en deux et verrouillée pour pouvoir attacher la bielle au vilebrequin.

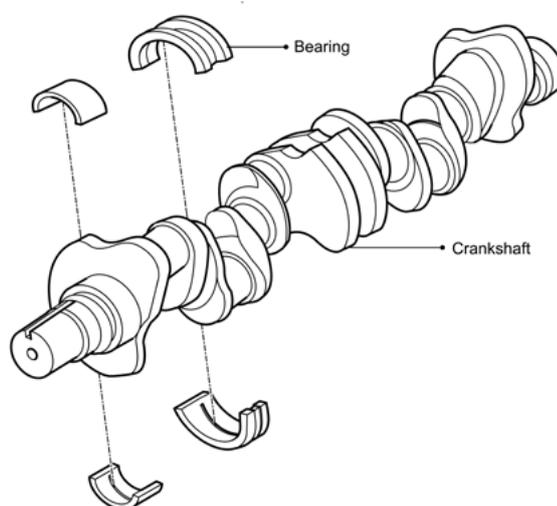
Certaines bielles des moteurs diesel sont percées au centre pour permettre à l'huile de se déplacer vers le haut du vilebrequin, dans l'axe du piston et dans le piston pour la lubrification.



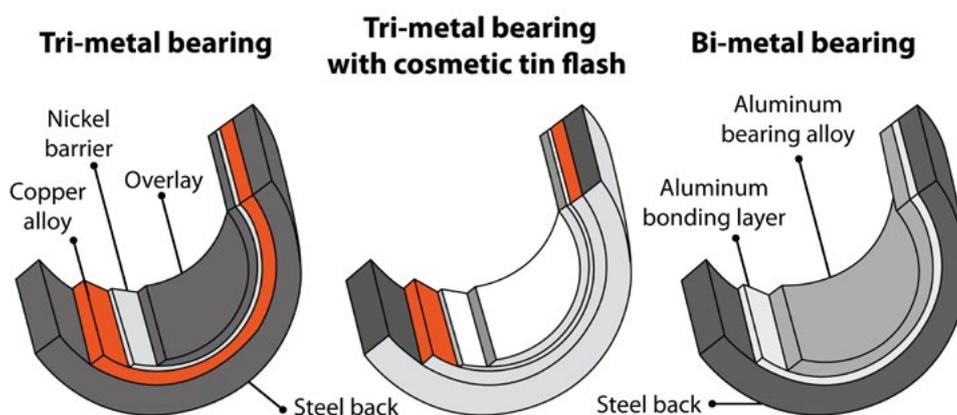
Une variation trouvée dans les moteurs en forme de V qui impacte les bielles est de positionner les cylindres sur les côtés gauche et droit directement en face les uns des autres au lieu de les étaler (configuration la plus commune). Cette disposition nécessite que les bielles de deux cylindres opposés partagent le même palier d'essieu principal sur le vilebrequin.

3.5. Vilebrequin

Le vilebrequin transforme le mouvement linéaire des pistons en un mouvement rotatif qui est transmis à la charge. Les vilebrequins sont composés d'acier forgé. Le vilebrequin en acier forgé est usiné pour obtenir le palier de vilebrequin et les surfaces du palier de bielle. Les paliers de bielle sont excentriques ou compensés à partir du centre du vilebrequin comme illustré ci-dessous.



Cette compensation transforme le mouvement alternatif (monter et descente) du piston en mouvement rotatif du vilebrequin. La quantité de compensation détermine la course (distance de déplacement du piston) du moteur. Le vilebrequin ne roule pas directement sur les supports du bloc du vilebrequin, mais sur des paliers en matériaux spéciaux.



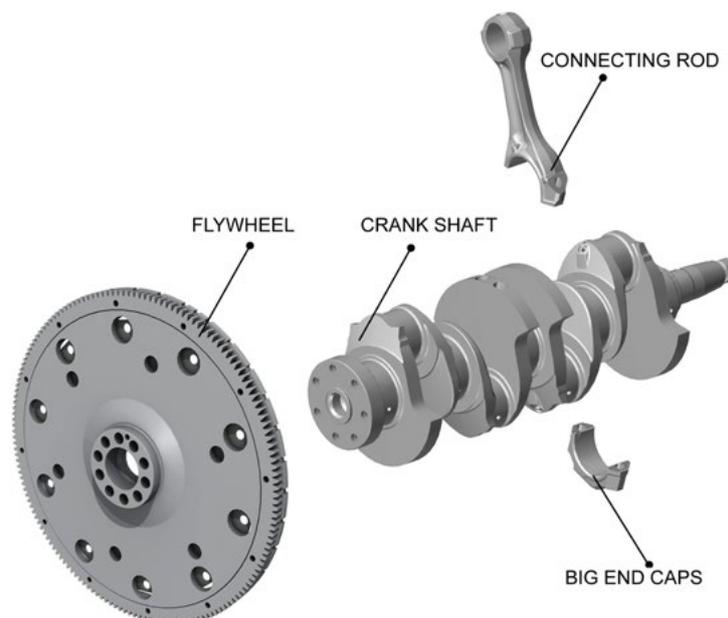
Les bielles sont aussi équipées de coussinets insérés entre le vilebrequin et les bielles. Le matériau du coussinet est un alliage tendre de métaux qui procure une surface d'usure remplaçable et empêche le grippage entre deux métaux similaires (à savoir le vilebrequin et la bielle). Chaque coussinet est divisé en deux pour permettre l'assemblage du moteur. Le vilebrequin est pourvu de conduits d'huile qui permettent au moteur de transporter l'huile à chacun des coussinets du vilebrequin et de la bielle et en haut vers la bielle.

Le vilebrequin est composé de grosses masses appelées contre poids qui équilibrent le mouvement des bielles. Ces poids garantissent un équilibrage au cours de la rotation des pièces mobiles.

3.6. Volant d'inertie

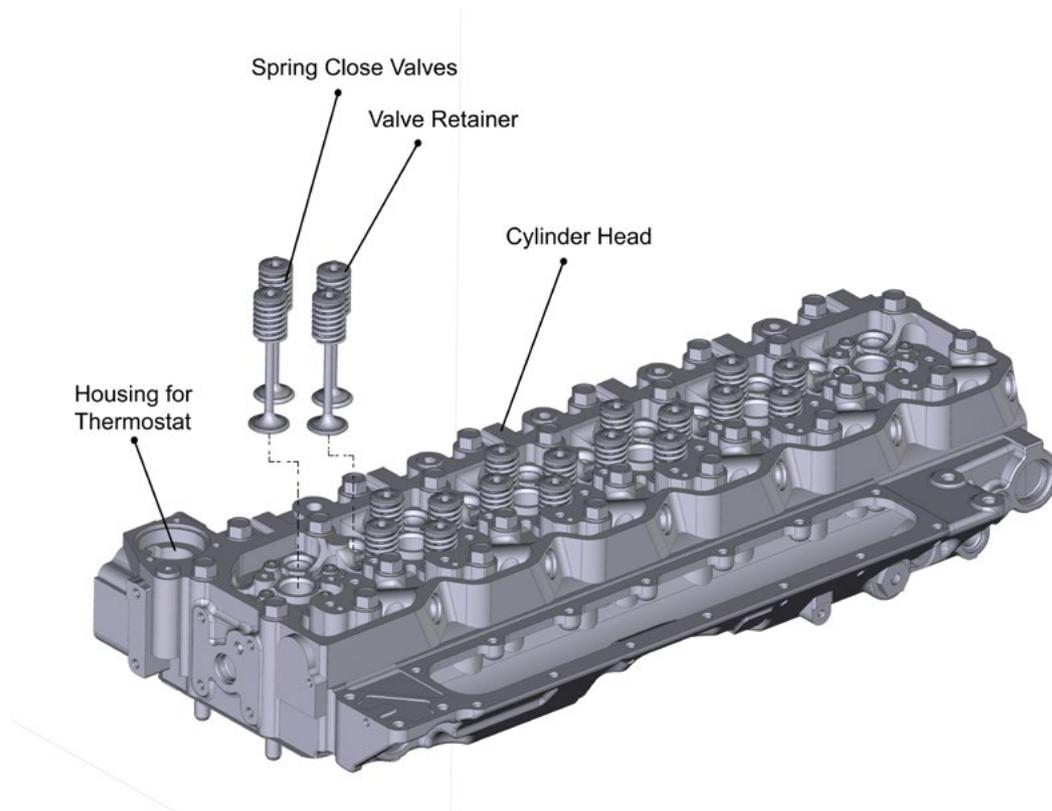
Un volant d'inertie est un dispositif mécanique rotatif utilisé pour emmagasiner l'énergie de rotation. Les volants d'inertie ont une inertie appelée le moment d'inertie et par conséquent résistent aux changements de la vitesse de rotation. La quantité d'énergie emmagasinée dans un volant d'inertie est proportionnelle au carré de sa vitesse de rotation.

Le volant d'inertie est situé à une extrémité du vilebrequin et a trois fonctions. Premièrement, en raison de son inertie, il réduit la vibration en ralentissant la course de puissance au fur et à mesure que chaque cylindre est en phase de combustion. Deuxièmement, c'est la surface de montage utilisée pour accoupler le moteur à sa charge. Troisièmement sur certains moteurs diesel, le volant d'inertie est doté de dents d'engrenage autour de son périmètre qui permettent aux démarreurs d'engager et de faire tourner le moteur au démarrage.



3.7. Culasses et soupapes

La culasse d'un moteur diesel a plusieurs fonctions. Premièrement, elle constitue le couvercle supérieur pour les chemises des cylindres. Deuxièmement, elle constitue la structure de soutien des soupapes d'échappement (et des soupapes d'admission le cas échéant), l'injecteur de carburant et les liaisons nécessaires.



Les culasses de moteur diesel sont fabriquées d'une ou de deux façons. Dans la première méthode, chaque cylindre a sa propre tête qui est verrouillée au bloc. Cette méthode est principalement utilisée sur les gros moteurs diesel. Dans la deuxième méthode, qui est utilisée sur les moteurs plus petits, la culasse est une seule et même pièce (tête multicylindres).

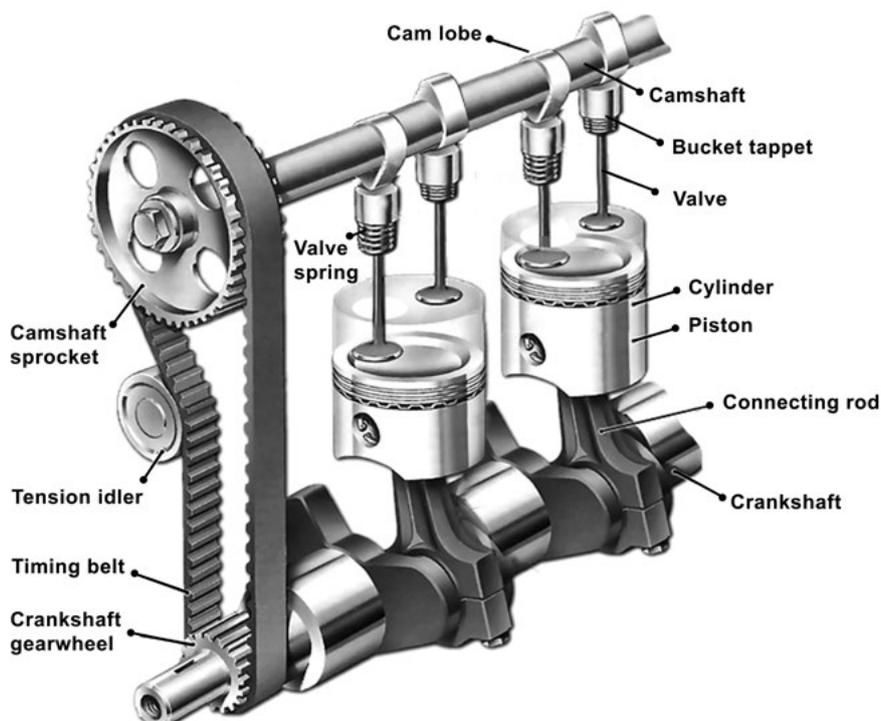


Les soupapes sont situées dans la culasse du moteur. L'endroit où la soupape est scellée contre la culasse est appelé le siège de soupape. Un joint est fixé pour sceller la tête au bloc-moteur. Les joints de culasse sont composés de matériaux spéciaux qui résistent aux hautes températures et aux pressions élevées. Le composite traditionnel du joint de culasse est un joint compressible plat. Il consiste en une feuille de support métallique sur laquelle le matériau composite est déposé de chaque côté, à savoir le bloc et la culasse.

Les bagues métalliques (anneaux de feu) scellent la chambre de combustion et protègent le matériau composite sensible à la chaleur. La surface du matériau est imprégnée pour empêcher le joint de gonfler dès qu'il entre en contact avec un liquide, tel que l'huile, l'eau ou le liquide de refroidissement. Les éléments appelés Viton composés de matériaux élastomères permettent une augmentation partielle de la pression de surface de montage aux alentours des conduits de pression d'huile.

3.8. Pignons de synchronisation, arbre à cames, et mécanisme de soupape

Pour qu'un moteur diesel fonctionne, tous ses composants doivent effectuer leurs fonctions à intervalles précis en ce qui concerne le mouvement du piston. Pour cela, un composant appelé arbre à cames est utilisé.



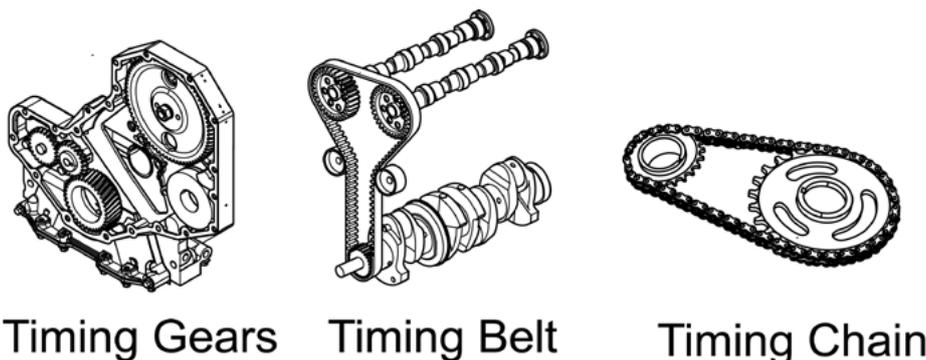
Un arbre à cames est une longue barre dotée de lobes excentriques en forme d'œufs, un lobe pour chaque soupape. Chaque came a un échangeur. Lors de la rotation de l'arbre à cames, l'échangeur est poussé vers le haut ou le bas au fur et à mesure qu'il suit le profil du bossage

de came. Les échangeurs sont connectés aux soupapes du moteur à travers divers type de liaisons appelés poussoirs et culbuteurs.

Les poussoirs et culbuteurs transfèrent le mouvement alternatif généré par les cames de l'arbre à came vers les soupapes et les injecteurs les ouvrant ou en les fermant lorsque c'est nécessaire.

Les soupapes sont maintenues fermées par les ressorts. Lorsque la soupape est ouverte par l'arbre à came, il comprime le ressort de la soupape. L'énergie emmagasinée dans le ressort de la soupape est ensuite utilisée pour fermer la soupape au fur et à mesure que la came de l'arbre à came est écartée par rotation sous le suiveur. En raison des fortes variations de température subies par le moteur, ses composants doivent être conçus pour permettre la dilatation thermique. Par conséquent, les soupapes, les culbuteurs de soupape et les tiges de culbuteurs doivent pouvoir permettre cette dilatation.

Ceci est accompli par l'utilisation de jeu de soupape (jeu de soupape ou jeu de culbuteur). Le jeu de soupape est le terme donné au « débordement » ou « abandon » dans le train de commande des soupapes avant que la came ne commence à ouvrir la soupape. L'arbre à cames est dirigé par le vilebrequin du moteur à travers une série de pignons appelés pignons intermédiaires et pignons de synchronisation.



Timing Gears

Timing Belt

Timing Chain

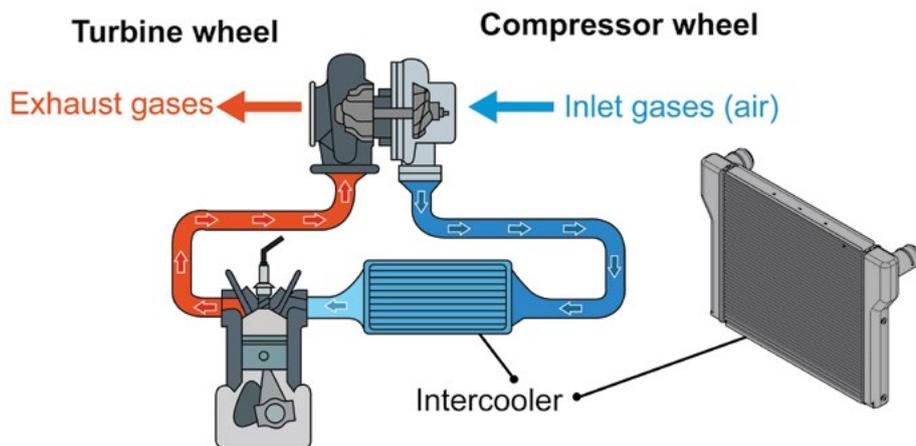
Certains petits moteurs utilisent une courroie de distribution pour commander l'arbre à cames. Les pignons permettent la rotation de l'arbre à cames pour correspondre ou se synchroniser avec la rotation du vilebrequin et permettant ainsi l'ouverture de la soupape, la fermeture de la soupape, et la planification de l'injection du carburant à intervalles précis au cours du déplacement du piston.

Pour augmenter la flexibilité de synchronisation de l'ouverture de la soupape, la fermeture de la soupape et l'injection de carburant et pour augmenter la puissance ou réduire les coûts, un moteur peut avoir plus d'un arbre à cames. Habituellement, dans les moteurs de type V de taille moyenne/grande, chaque côté aura un ou plusieurs arbres à cames par tête. Dans les plus gros moteurs, les soupapes d'admission, les soupapes d'échappement et les injecteurs de carburant peuvent partager un arbre à cames commun ou avoir des arbres à cames indépendants.

L'emplacement de l'arbre à cames varie en fonction du type et de la marque du moteur, Le/ les arbre(s) à cames dans un moteur en ligne est habituellement situé sur la tête du moteur.

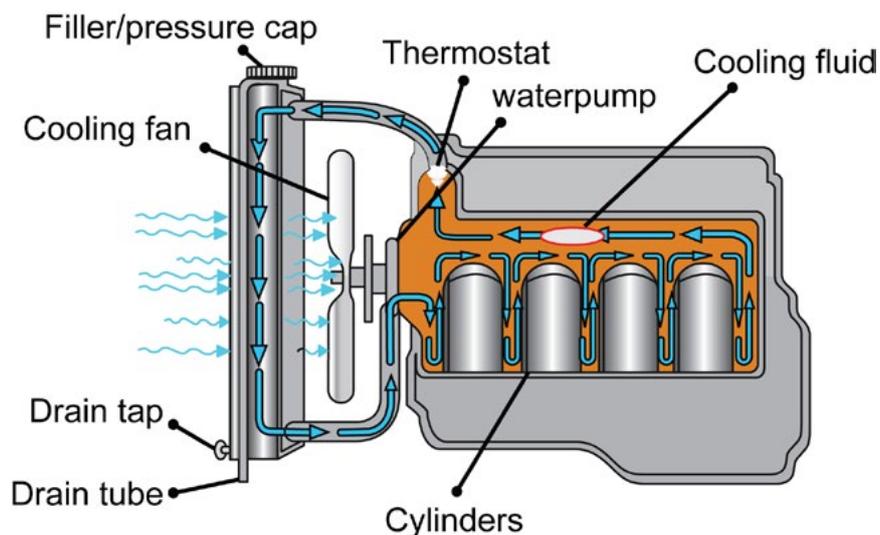
3.9. Le Turbocompresseur

Le turbo du moteur diesel fait partie du système d'admission d'air et sert à comprimer l'air frais entrant pour le distribuer aux cylindres pour améliorer la combustion. Le turbo peut faire partie d'un système d'admission d'air turbocompressé ou suralimenté. Plus d'informations sur ces types de turbos sont données en fin de module.



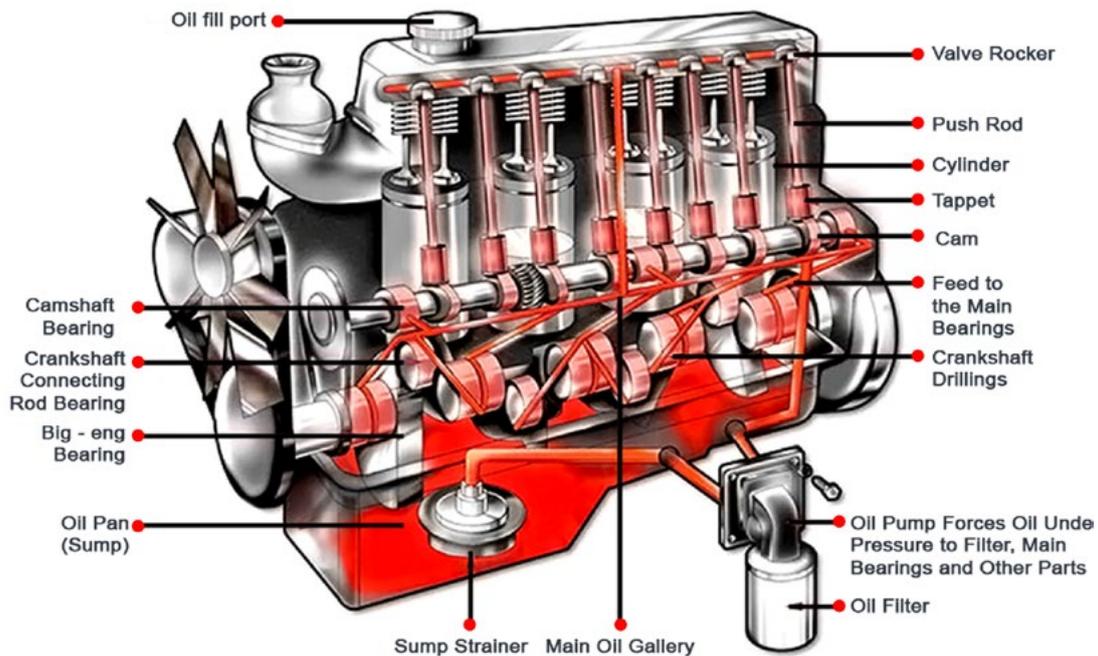
3.10. Refroidissement du moteur

Presque tous les moteurs diesel sont dotés d'un système de refroidissement pour extraire la chaleur perdue du bloc et des pièces internes. Le système de refroidissement consiste en une boucle fermée similaire à celle d'un moteur de voiture et contient les composants principaux suivants : pompe à eau, radiateur ou échangeur de température, chemise d'eau (qui consiste en conduits dans le bloc et la culasse) et un thermostat.



3.11. Lubrification du moteur

Un moteur à combustion interne fonctionnerait même pendant quelques minutes si les pièces mobiles étaient autorisées à établir un contact métallique. La chaleur générée par l'énorme quantité de frottement ferait fondre le métal et détruirait le moteur. Pour empêcher cela, toutes les pièces mobiles fonctionnent sur un film d'huile fin qui est appliqué entre toutes les pièces mobiles du moteur.



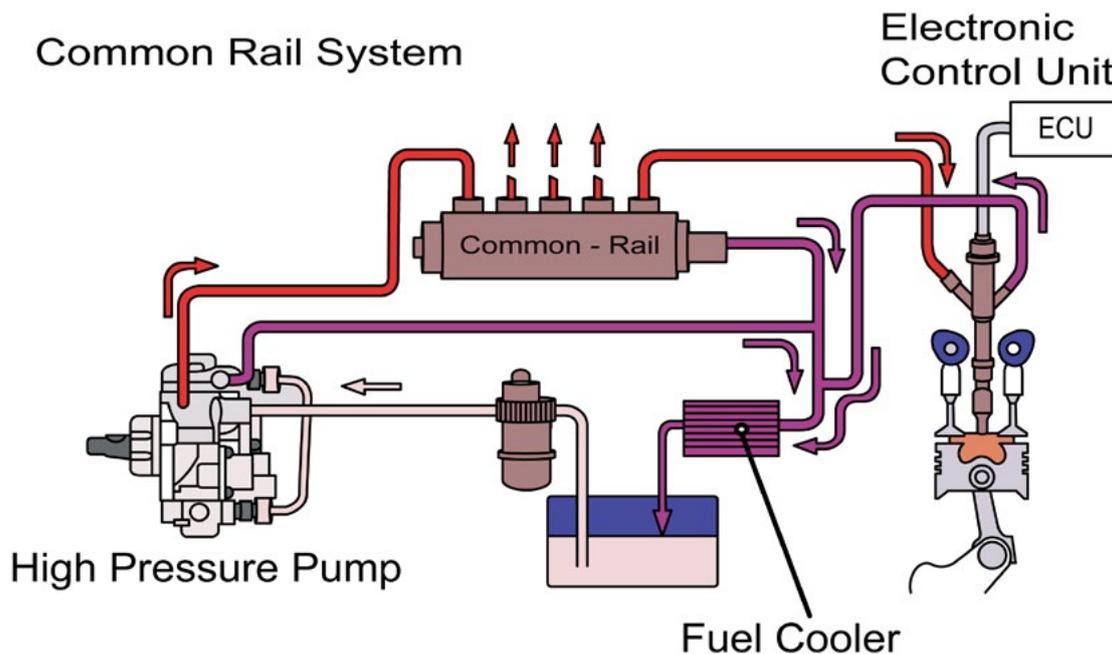
Une fois entre les pièces mobiles, l'huile a deux fonctions : L'une est de lubrifier les surfaces de support. L'autre est de refroidir les supports en absorbant la chaleur générée par le frottement. L'écoulement de l'huile vers les pièces mobiles s'effectue grâce au système de lubrification interne du moteur.

L'huile s'accumule et est emmagasinée dans le carter inférieur du moteur où une ou plusieurs pompes aspirent et pompent l'huile vers un ou plusieurs filtres à huile. Les filtres nettoient l'huile et retirent toute trace de métal que l'huile aurait pu récupérer en raison de l'usure. L'huile nettoyée s'écoule ensuite dans les conduits d'huile du moteur. Une soupape de décharge maintient la pression de l'huile dans les conduits et renvoie l'huile vers le carter dès que la pression augmente. Les conduits d'huile distribuent l'huile sur toutes les surfaces de support du moteur.

Une fois que l'huile a lubrifié et a refroidi les surfaces de support, elle s'écoule en dehors du coussinet et grâce à la gravité retourne vers le carter à huile. Dans les moteurs diesel moyens/et gros, l'huile est aussi refroidie avant d'être distribuée dans le bloc.

3.12. Système carburant

Il est nécessaire d'avoir un système pour emmagasiner et distribuer le carburant au moteur dans tous les moteurs diesel. Les moteurs diesel dépendent des injecteurs, qui sont des composants de précision avec des niveaux de tolérance très serrés et de très petits orifices d'injection ; le carburant distribué au moteur doit donc être extrêmement propre et exempt de polluants.



Le système de carburant doit donc distribuer le carburant mais aussi s'assurer de sa propreté. Cela s'effectue habituellement grâce à une série de filtres en ligne. Le carburant sera filtré une fois qu'il sera sorti du réservoir. Le carburant passera ensuite dans au moins un filtre, souvent situé dans la ligne de carburant.

Dans un moteur diesel, le système de carburant est beaucoup plus complexe que le système de carburant d'un simple moteur à essence car le carburant a deux fonctions :

Une des fonctions est évidemment de distribuer le carburant pour faire tourner le moteur, l'autre est d'agir comme un liquide de refroidissement pour les injecteurs. Plus ou moins 60 % du carburant envoyé vers les injecteurs retourne vers le réservoir du carburant après avoir absorbé la chaleur des injecteurs. Pour remplir sa fonction de liquide de refroidissement, le diesel s'écoule en permanence autour du système du carburant du moteur à un taux beaucoup plus élevé que celui exigé pour faire tourner un moteur. En fonction de l'application, l'excédent de carburant est renvoyé vers la pompe à carburant ou vers le réservoir de carburant.

Ne laissez jamais votre moteur tourner avec seulement 10 litres (ou moins) de diesel dans le réservoir, car le temps de refroidissement du diesel sera moins court et la température du carburant augmentera. Les injecteurs sont très sensibles et ont besoin d'un refroidissement correct.

3.13. Système d'admission d'air

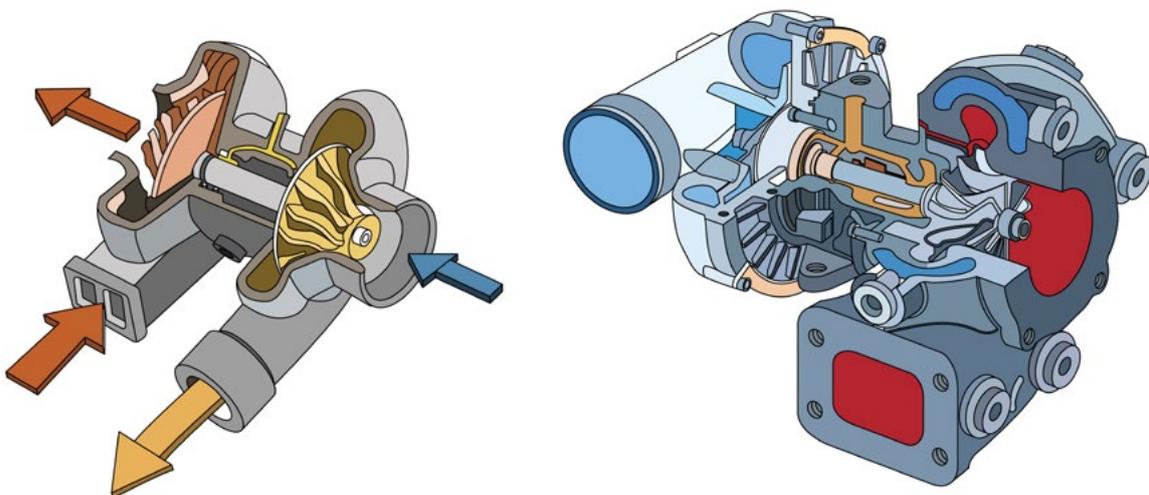
Un moteur diesel nécessite un bon système d'admission d'air frais pour atteindre son rapport de compression, et parce que la plupart des moteurs diesel sont soit turbocompressés soit suralimentés, l'air entrant dans le moteur doit être propre, sans débris et aussi froid que possible. D'autre part, pour améliorer l'efficacité d'un moteur turbocompressé ou suralimenté, l'air comprimé doit être refroidi après avoir été comprimé. Le système d'admission d'air est conçu pour effectuer ces tâches.

En plus de nettoyer l'air, le système d'admission est habituellement conçu pour récupérer l'air frais aussi loin que possible du moteur, souvent en dehors de la structure ou du bloc moteur. Cela fournit au moteur de l'air qui n'a pas été chauffé par la propre chaleur perdue du moteur. La raison pour garantir que l'air distribué au moteur est aussi frais que possible est que l'air frais est plus dense que l'air chaud. Cela signifie que, par volume d'unité, l'air frais contient plus d'oxygène que l'air chaud. Ainsi, l'air frais procure plus d'oxygène par remplissage de cylindre que moins d'air chaud et dense. Plus d'oxygène signifie une consommation de carburant moindre et plus de puissance. Après avoir été filtré, l'air est routé par le système d'admission dans le collecteur d'admission ou le boîtier d'air du moteur. Le collecteur d'admission est le composant qui dirige l'air frais vers chaque soupape ou orifice d'admission.

Si le moteur est turbocompressé ou suralimenté, l'air frais sera comprimé avec un turbocompresseur et probablement refroidi après avoir pénétré dans le collecteur d'admission ou boîtier d'air. Le système d'admission sert aussi à réduire le bruit d'écoulement de l'air.

3.14. Turbocompression

La turbocompression dans un moteur survient lorsque les gaz d'échappement du moteur actionnent une turbine (pompe) qui tourne et est solidaire à une seconde pompe située dans le système d'admission d'air frais. La pompe du système d'admission comprime l'air frais.



L'air comprimé a deux fonctions. Premièrement, il augmente la puissance disponible du moteur en augmentant la quantité maximum d'air (oxygène) qui est poussée dans chaque cylindre. Ainsi, une quantité plus importante de carburant peut être injectée et plus de puissance est produite par le moteur. La seconde fonction est d'augmenter la pression d'admission.

Cela améliore le balayage de l'air des gaz d'échappement hors du cylindre. La turbocompression est habituellement disponible dans les moteurs à quatre temps puissants. Elle peut également être utilisée dans les moteurs à deux temps, où l'augmentation de la pression d'admission générée par le turbocompresseur est requise pour forcer l'air frais dans le cylindre et aider à forcer les gaz d'échappement hors du cylindre, et ce afin de permettre au moteur de fonctionner.

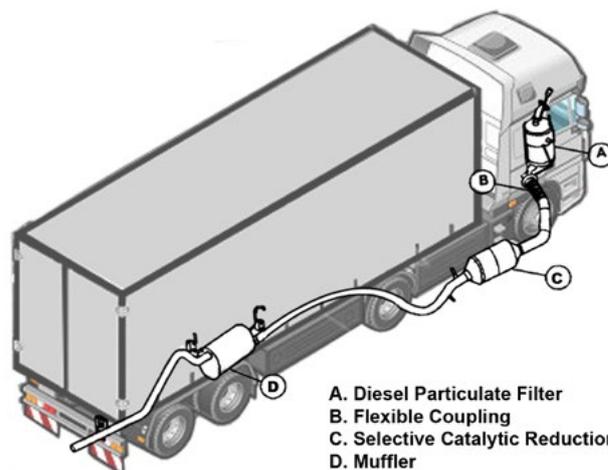
3.15. Suralimentation

La suralimentation d'un moteur a la même fonction que la turbocompression d'un moteur. La différence est la source d'énergie utilisée pour entraîner le dispositif qui comprime l'air frais entrant. Dans un moteur suralimenté, l'air est habituellement comprimé dans un appareil appelé compresseur. Il est entraîné à partir du vilebrequin du moteur. Le type le plus commun de compresseur utilise deux rotors tournant pour comprimer l'air. La suralimentation est plus communément trouvée dans les moteurs à deux temps, où la pression supérieure qu'un surcompresseur est capable de générer est requise.

3.16. Système d'échappement

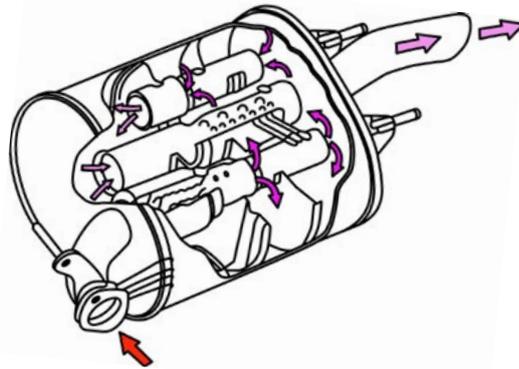
Le système d'échappement libère les gaz d'échappement produits par le moteur dans l'atmosphère. Ce système remplit les fonctions suivantes :

- Il améliore l'efficacité du moteur en améliorant l'efficacité de l'émission des gaz d'échappement de l'engin.
- Il nettoie les gaz d'échappement en filtrant les éléments nocifs.
- Il diminue le bruit de l'explosion créée par les gaz d'échappement.



A. Diesel Particulate Filter
B. Flexible Coupling
C. Selective Catalytic Reduction
D. Muffler

3.17 Filtre à particules de suie



Afin de respecter les lois et règlements environnementaux, les nouveaux systèmes d'échappement sont équipés de filtres à particules de suie. Un système de régénération garantira que la température dans le filtre sera suffisamment chaude pour brûler les particules de suie d'échappement.

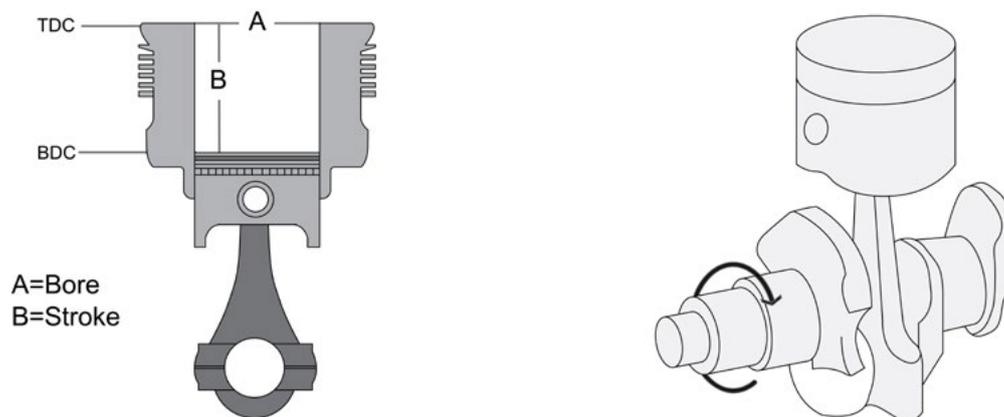
Les gaz d'échappement d'un moteur diesel sont une source majeure de pollution de l'air et contiennent des oxydes d'azote (NOx) et de la suie. Afin de respecter les règles et réglementations environnementales, les systèmes d'échappement sont équipés de technologies diverses. Le niveau de traitement requis pour être en accord avec les standards applicables au sein d'une juridiction varie et, par conséquent, la technologie incorporée n'est pas standardisée sur l'ensemble des marches.

4. Terminologie opérationnelle

Avant d'expliquer le fonctionnement détaillé d'un moteur diesel, plusieurs termes doivent être définis.

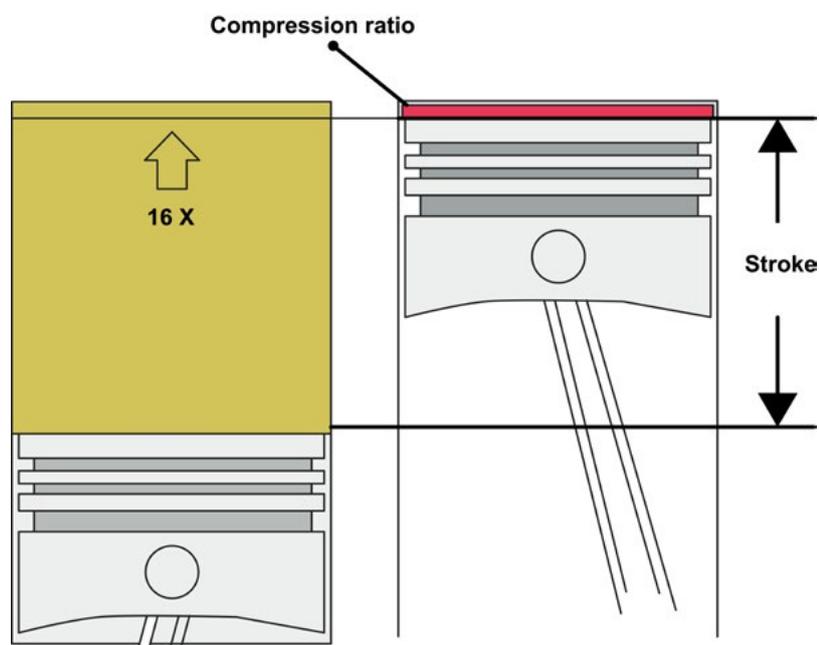
4.1. Alésage et course

Alésage et course sont des termes utilisés pour définir la taille d'un moteur. Comme indiqué précédemment, l'alésage se réfère au diamètre de cylindre du moteur, et la course se réfère à la distance que traverse le piston à partir de la partie supérieure du cylindre vers le bas. Le point culminant du déplacement par le piston est appelé le point mort haut (PMH), et le point de déplacement le plus bas est appelé point mort bas (PMB). Il y a 180° de déplacement entre le PMH et la PMB, ou une course.



4.2. Cylindrée

La cylindrée est l'un des termes utilisés pour comparer un moteur à un autre. La cylindrée se réfère au volume total déplacé par tous les pistons durant une course. La cylindrée est généralement donnée en litres. Pour calculer la cylindrée d'un moteur, le volume d'un cylindre doit être déterminé (volume d'un cylindre = $(\pi r^2) \times h$ où h = la course). Le volume d'un cylindre est multiplié par le nombre de cylindres pour obtenir la cylindrée totale du moteur.



4.3. Le taux de compression et le volume d'espace mort

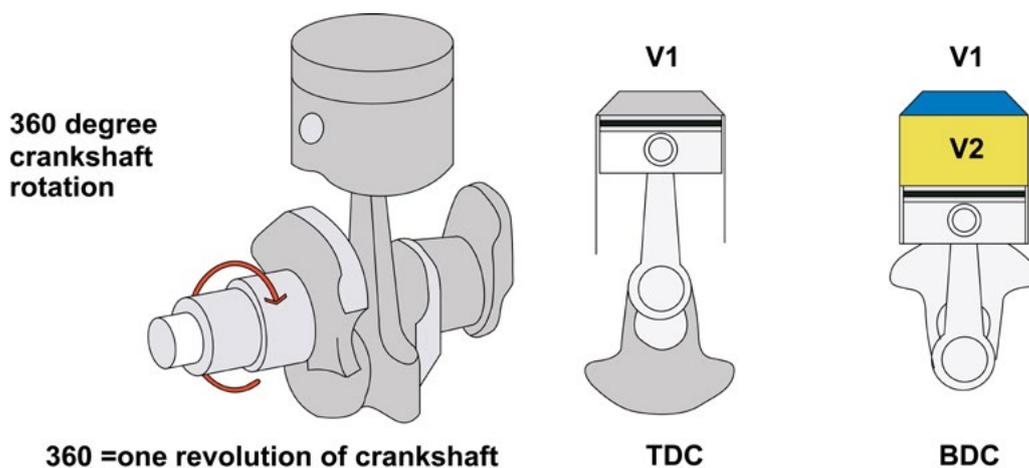
Le volume d'espace mort est le volume restant dans le cylindre lorsque le piston est au PMH. En raison de la forme irrégulière de la chambre de combustion (volume dans la tête) le volume d'espace mort est calculé empiriquement par remplissage de la chambre avec une quantité mesurée de liquide alors que le piston est au PMH. Ce volume est ensuite ajouté au volume de la cylindrée dans le cylindre jusqu'à obtenir le volume total des cylindres.

Le taux de compression du moteur est déterminé en prenant le volume du cylindre avec le piston est au point mort bas PMB et en divisant le volume du cylindre lorsque le piston est au PMH .Il peut être calculé en utilisant la formule suivante :

$$\text{Taux de compression} = \frac{\text{Volume cyl. PMB} + \text{Vol. de la chambre de combustion}}{\text{Volume cyl. PMH}}$$

4.4. Le degré de rotation du vilebrequin

Tous les événements qui se produisent dans un moteur sont liés à l'emplacement du piston. Parce que le piston est relié au vilebrequin, tout emplacement du piston correspond directement à un nombre spécifique de degrés de rotation du vilebrequin. L'emplacement de la bielle peut ensuite être indiqué comme quelques degrés avant ou quelques degrés après le point mort haut ou bas.



4.5. Ordre d'allumage

L'ordre d'allumage correspond à l'ordre dans lequel chacun des cylindres dans un moteur à cylindres multiples s'allument (course d'alimentation). Par exemple, l'ordre d'allumage d'un moteur quatre cylindres pourrait être 1-3-4-2.

	0	60	120	180°	360°	540°	720°
Cylindre 1		P		E		I	C
Cylindre 2		E		I		C	P
Cylindre 3		C		P		E	I
Cylindre 4		I		C		P	E

A = admission C = Compression CD = Combustion Détente E = Échappement

Cela signifie que le cylindre numéro 1 s'allume, puis le cylindre numéro 3 s'allume, puis le cylindre numéro 4 s'allume, puis le cylindre numéro 2 s'allume et ainsi de suite. Les moteurs sont conçus de telle sorte que les courses d'alimentation sont aussi uniformes que possible, c'est-à-dire que de la même façon qu'un vilebrequin tourne d'un certain nombre de degrés, l'un des cylindres enclenchera une course d'alimentation.

Cela réduit les vibrations et permet à la puissance produite par le moteur d'être appliquée à la charge de manière plus harmonieuse que s'ils s'allumaient tous en même temps ou en multiples impairs.

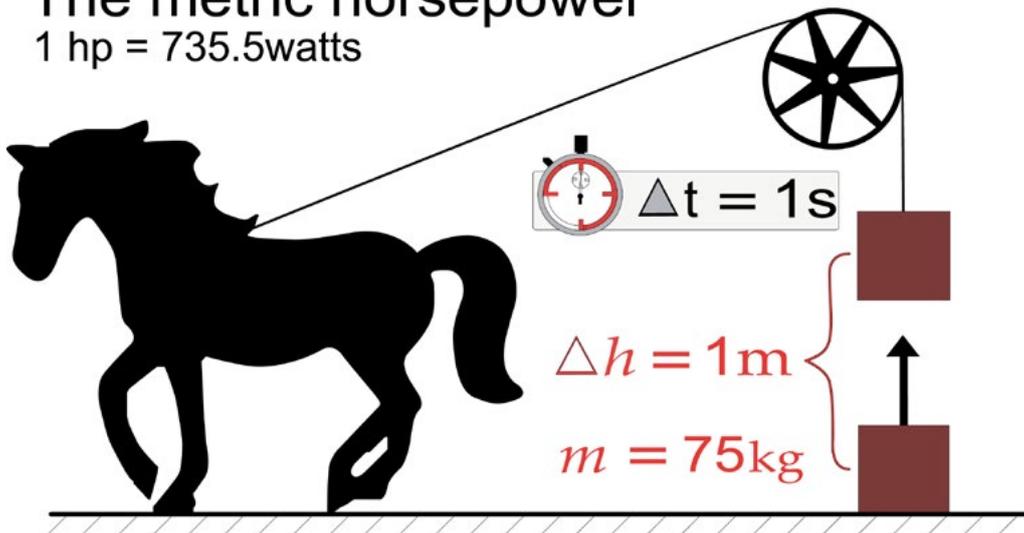
4.6. Puissance

La puissance correspond à la quantité de travail effectuée par unité de temps ou le taux d'exécution du travail. Pour un moteur diesel, la puissance est évaluée en unités de puissance (ou kilowatts).

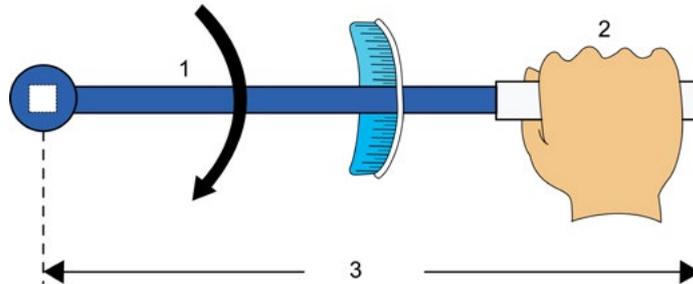
La puissance (« cheval-vapeur ») indiquée est la puissance transmise aux pistons par les gaz dans les cylindres et est calculée mathématiquement. La puissance aux freins fait référence à la quantité de puissance utilisable fournie par le moteur au vilebrequin. La puissance indiquée peut être jusqu'à 15% plus élevée que la puissance aux freins. Cette différence est due à la friction interne du moteur, à des déficiences dans la combustion, et à des pertes dites « parasites », par exemple au niveau de la pompe à gasoil, du turbocompresseur, de la pompe à eau, etc.

The metric horsepower

1 hp = 735.5watts



L'efficacité mécanique d'un moteur diesel à quatre temps est d'environ 82 à 90 %. C'est légèrement inférieur à l'efficacité d'un moteur à deux temps. L'efficacité mécanique inférieure est due à la perte de frottement supplémentaire et de la puissance nécessaire pour enfoncer le piston durant les 2 courses supplémentaires.



Les moteurs sont non seulement évalués par leur puissance mais aussi par le couple qu'ils produisent.

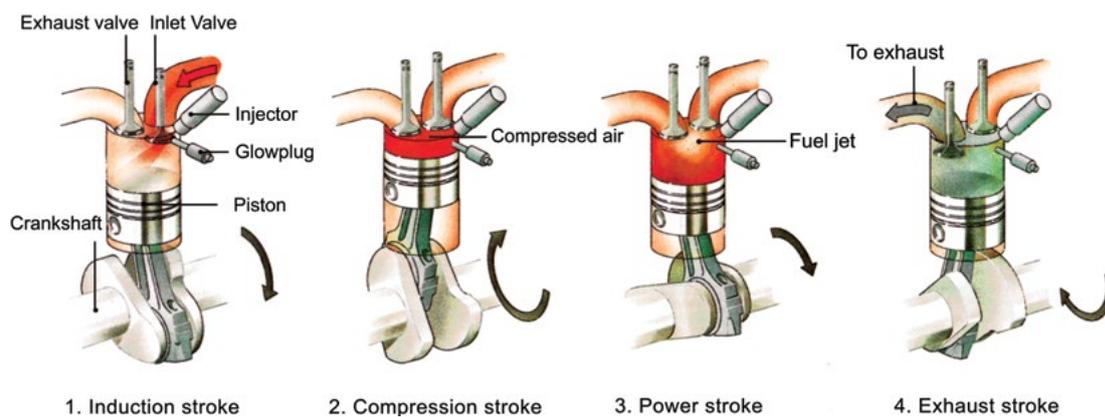
Le couple (1) est une mesure de la capacité du moteur à utiliser la puissance qu'il génère.

Le couple est communément donné en unités de Newton (2) par mètre (3).

5. Les cycles de base Diesel

Un moteur diesel est un type de moteur thermique qui utilise le processus de combustion interne pour convertir l'énergie stockée dans les liaisons chimiques du carburant en énergie mécanique utile. Cela se produit en deux étapes. Tout d'abord, le carburant réagit chimiquement (brûle) et libère l'énergie sous forme de chaleur. Deuxièmement, la chaleur entraîne l'expansion des gaz brûlés dans le cylindre (détente), et les gaz en expansion, confinés dans le cylindre, doivent déplacer le piston pour se détendre. Le mouvement alternatif des pistons est ensuite converti en un mouvement de rotation grâce au vilebrequin.

Pour convertir l'énergie chimique du carburant diesel en énergie mécanique utile tous les moteurs à combustion interne doivent passer par quatre étapes : admission, compression, combustion détente et échappement. Comment ces événements sont synchronisés et comment ils se produisent différencie les différents types de moteurs. Tous les moteurs diesel se répartissent en deux catégories, les moteurs à deux temps et à quatre temps. Le mot cycle se réfère à toute opération ou série d'événements qui se répètent. Dans le cas d'un moteur à quatre temps, le moteur nécessite quatre mouvements du piston (admission, compression, combustion détente, et échappement).



Par conséquent, il nécessite deux tours de vilebrequin, ou 720° de rotation du vilebrequin ($360^\circ \times 2$) pour terminer un cycle. Dans un moteur à deux temps les événements (admission, compression, combustion détente et échappement) se produisent en une seule rotation du vilebrequin, ou 360° .

5.1. Cycle

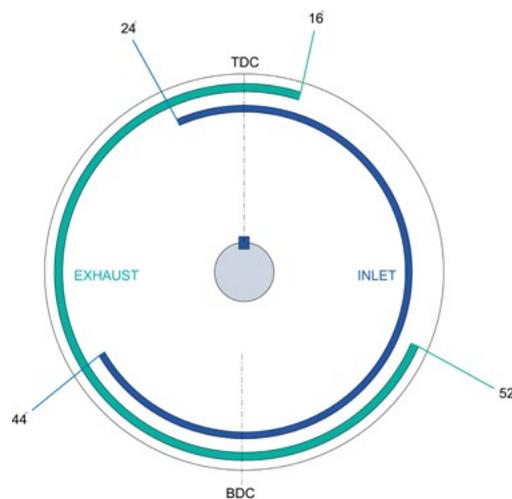
Dans la discussion suivante du cycle diesel, il est important de garder à l'esprit le délai d'exécution de chacune des actions. Il faut du temps pour déplacer le gaz d'échappement hors du cylindre et l'air frais dans les cylindres, pour comprimer l'air, pour injecter le carburant, et pour brûler le carburant. Si un moteur à quatre temps tourne à une constante de 2100 tours par minute (tr/min), le vilebrequin serait en rotation de 35 tours, soit 12 600 degrés par seconde. Une course est complète en approximativement 0.01429 secondes.

5.2. Le cycle à quatre temps

Dans un moteur à quatre temps l'arbre à cames est conçu pour tourner à la moitié de la vitesse du vilebrequin (rapport = 1 : 2). Cela signifie que le vilebrequin doit faire deux tours complets tandis que l'arbre à cames ne fait qu'un tour. La section suivante décrit un moteur diesel à quatre temps, le moteur diesel ayant les deux soupapes d'admission et d'échappement dotées d'un alésage de 3,5 pouces et une course de 4 pouces avec un rapport de compression de 16:1, lorsqu'il complète un cycle complet. Nous commencerons avec la course d'admission.

Tous les repères de calage donnés sont donnés à titre d'exemple et varieront d'un moteur à l'autre.

Epure de distribution



5.3. Admission

Au fur et à mesure que le piston monte et se rapproche de 28° avant le point mort haut (PMH) tel que mesuré par la rotation du vilebrequin, le lobe de l'arbre à came commence à soulever le poussoir de l'arbre. Cela déplace la tige poussoir vers le haut et pivote le culbuteur sur l'axe du culbuteur. Au fur et à mesure que le jeu de soupape est pris, le culbuteur pousse la soupape d'admission vers le bas et la soupape commence à s'ouvrir. La course d'admission démarre (24° PMH) tandis que la soupape d'échappement est toujours ouverte. L'écoulement des gaz d'échappement aura créé une basse pression à l'intérieur du cylindre et aidera à tirer la charge d'air frais.

Le piston continue de se déplacer vers le haut à travers le point mort haut (PMH) tandis que l'air frais pénètre et les gaz d'échappement sortent. A près de 12° après le point mort haut (PMH) le lobe d'échappement de l'arbre à came tourne de sorte que la soupape d'échappement commence à se fermer. La soupape d'échappement est totalement fermée à 16° après PMH. Ceci survient à travers le ressort de la soupape qui a été comprimé lorsque la soupape était ouverte, forçant le culbuteur et le poussoir de l'arbre contre le lobe de la came alors qu'il

tourne. La période temps au cours de laquelle les soupapes d'admission et d'échappement sont ouvertes est appelée le croisement des soupapes (40° de croisement dans cet exemple) et il est nécessaire pour permettre à l'air frais de balayer (retirer) les gaz d'échappement usés et refroidir le cylindre. Alors que le piston arrive au PMH et commence son déplacement vers la chemise du cylindre, le mouvement du piston crée une succion et introduit l'air frais dans le cylindre.

5.4. Injection de carburant

Le carburant liquide est injecté dans le cylindre à un moment et un taux précis pour garantir que la pression de combustion est poussée vers le piston en temps voulu.

Le carburant pénètre dans le cylindre où l'air comprimé réchauffé est présent. Toutefois il ne brûlera qu'à l'état vaporisé (état obtenu grâce à l'addition de chaleur pour entraîner la vaporisation) et intimement mélangé à l'oxygène. Les premières minuscules gouttelettes de carburant pénétreront dans la chambre de combustion et seront rapidement vaporisées.

La vaporisation du carburant refroidit l'air autour du carburant. Il faut du temps pour que l'air se réchauffe suffisamment pour enflammer le carburant vaporisé. Mais une fois que la combustion a démarré, la chaleur supplémentaire dégagée grâce à la combustion entraîne la vaporisation supplémentaire du nouveau carburant qui pénètre dans la chambre, et ce tant que l'oxygène est présent.

5.5. Puissance

Les deux soupapes sont fermées et la charge d'air frais a été comprimée. Le carburant a été injecté et commence à brûler. Une fois que le piston est passé au PMH, la chaleur est rapidement libérée par la combustion du carburant entraînant une augmentation de la pression du cylindre. Les températures de combustion sont très élevées. Cette augmentation de pression pousse le piston vers le bas et augmente la force sur le vilebrequin pour entraîner la course de puissance.

5.6. Échappement

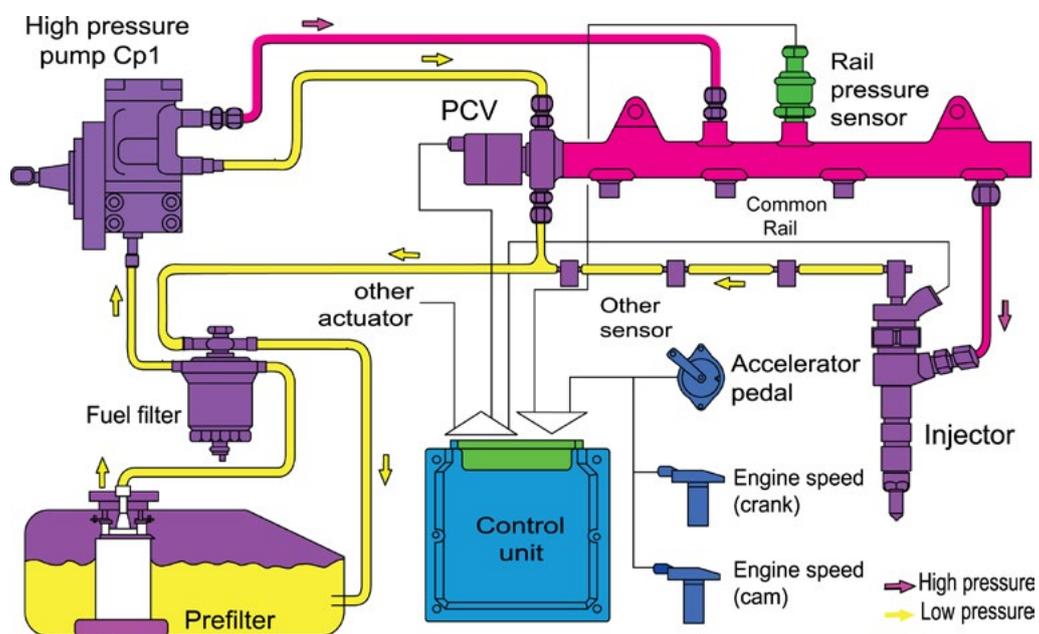
Lorsque le piston se rapproche de 52° PMB la came du lobe d'échappement commence à pousser le poussoir vers le haut, entraînant ainsi la soupape d'échappement à soulever son siège. Les gaz d'échappement commencent à s'écouler hors de la soupape d'échappement en raison de la pression du cylindre et dans le collecteur d'échappement.

Après avoir dépassé le PMB, le piston monte et accélère à sa vitesse maximum de 63° PMB. C'est à partir de ce moment-là que le piston ralentit. Au fur et à mesure que le piston ralentit, la rapidité à laquelle les gaz s'écoulent hors du cylindre crée une pression légèrement plus basse que la pression atmosphérique. À 28° avant le PMB, la soupape d'admission s'ouvre et le cycle recommence.

5.7. Contrôle du moteur

Le contrôle d'un moteur diesel s'accomplit à l'aide de plusieurs composants.

En raison de la demande constante pour plus de moteurs diesel écologiques, les régulateurs pneumatiques et mécaniques ont été remplacés par des systèmes à injection diesel contrôlés électroniquement. Les régulateurs mécaniques ont été remplacés par des électrovannes, capteurs, etc. L'injection par rampe commune est un exemple de ces moteurs diesel contrôlés électroniquement. La synchronisation variable de l'arbre à cames et la pression extrême du carburant pendant l'injection sont deux exemples de système à injection de carburant plus propre et plus efficace.



5.8. Injecteurs de carburant

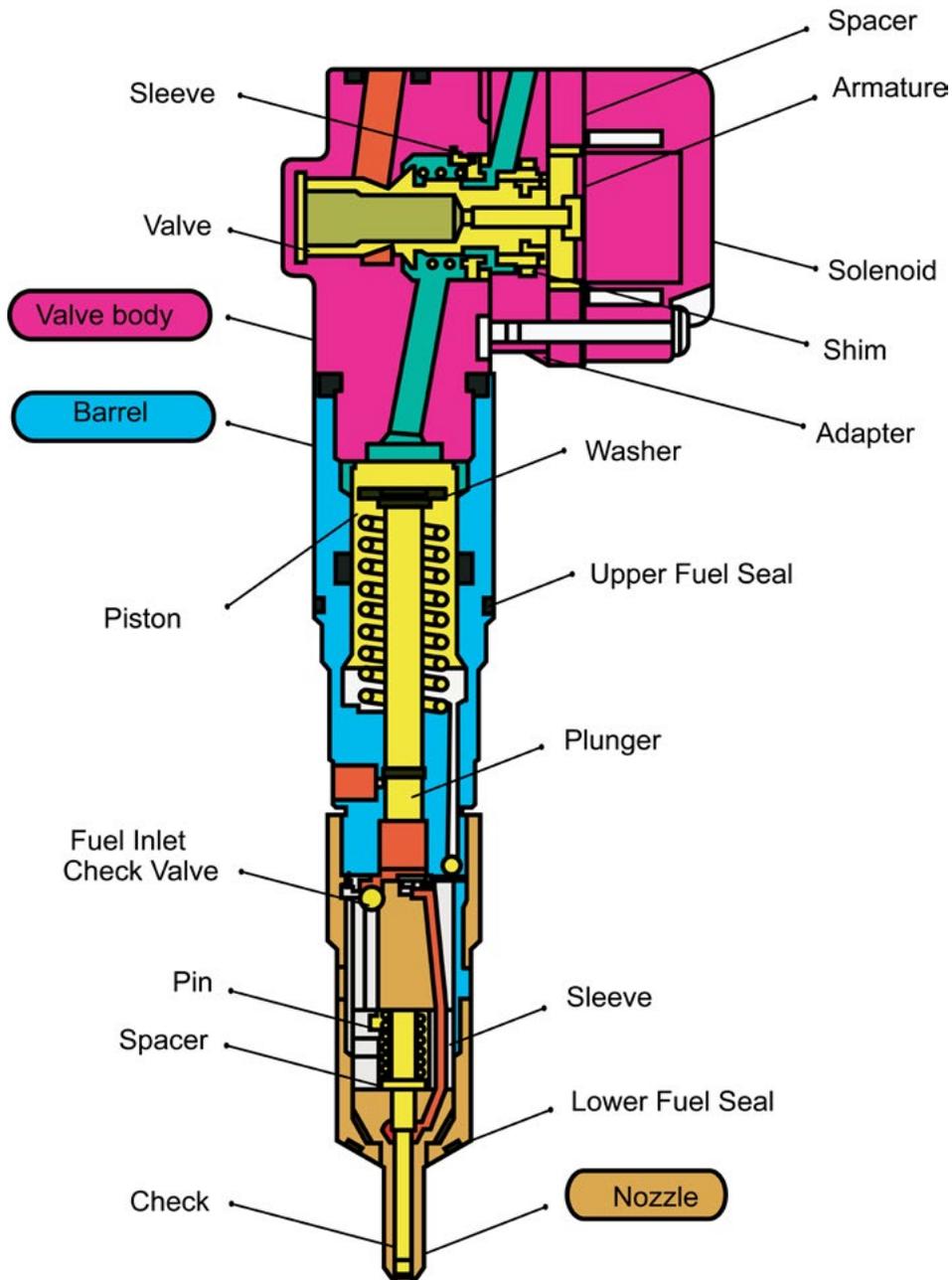
Chaque cylindre est doté d'un injecteur à carburant conçu pour mesurer et injecter le carburant dans le cylindre au bon moment. Pour cela, les injecteurs sont actionnés par l'arbre à cames du moteur ou hydrauliquement. Les injecteurs mesurent la quantité de carburant injectée dans le cylindre à chaque course.

La quantité de carburant injectée par chaque injecteur est contrôlée par le calculateur est activée par une vanne de carburant électromagnétique. La synchronisation et la durée de l'injection sont contrôlées par le Calculateur Électronique de Régulation. La pédale d'accélérateur électronique, les capteurs du vilebrequin et de l'arbre à cames (etc.) envoient les informations au Calculateur en continu. C'est en fonction de ces informations que la quantité exacte de carburant est envoyée au moteur.

5.9. Injection électronique hydraulique

Les injecteurs-pompes sont la combinaison d'élément de la pompe à carburant et de la buse d'injection.

La pression de l'huile agissant sur le piston augmentera la pression du carburant nécessaire pour soulever la buse de son siège. La soupape électronique permettra à l'huile sous pression de passer la soupape et d'agir à la suite du piston de la pompe.



Les usines telles que Caterpillar, Cummins, Bosch etc. ont développé leurs propres systèmes d'injection diesel.

Des adaptations régulières sont effectuées par le calculateur pour garantir une injection du carburant la plus efficace possible.

Un portable équipé du logiciel nécessaire est utilisé pour résoudre les problèmes du système.



5.10. Circuits de démarrage

Les moteurs diesel sont composés d'autant de types différents de circuits de démarrage qu'il existe de types, tailles, et fabricants de moteurs diesel. Habituellement, les circuits de démarrage peuvent utiliser les moteurs à air, les moteurs électriques, les moteurs hydrauliques et les moteurs manuels. Le circuit de démarrage peut être un simple bouton de démarrage manuel, ou un circuit d'auto démarrage complexe. Mais dans la plupart des cas, les événements suivants doivent se produire pour que le moteur démarre.

1. Le signal de démarrage est envoyé au moteur. Le moteur à air, électrique ou hydraulique déclenchera le volant d'inertie du moteur.
2. Le moteur de démarrage lancera le moteur. Le moteur de démarrage fera tourner le moteur à un régime assez élevé pour permettre à la compression du moteur d'allumer le carburant et de démarrer le moteur.
3. Le moteur accélèrera ensuite pour atteindre une vitesse de ralenti. Lorsque le moteur de démarrage est saturé par le moteur en fonctionnement il débloquera le volant d'inertie.

Parce qu'un moteur diesel a besoin de la chaleur de compression pour allumer le carburant, un moteur froid peut récupérer assez de chaleur des gaz pour que l'air comprimé descende en dessous de la température d'allumage du carburant. Pour surmonter ce problème, certains moteurs (souvent les moteurs plus petits) sont dotés de bougie de préchauffage. Les bougies de préchauffage sont situées dans la culasse de la chambre de combustion et utilisent l'électricité pour réchauffer l'électrode qui se situe en haut de la bougie de préchauffage. La chaleur apportée par la bougie de préchauffage est suffisante pour allumer le carburant du moteur froid. Une fois que le moteur tourne, les bougies de préchauffage s'éteignent et la chaleur de la combustion est suffisante pour chauffer le bloc et maintenir le moteur en marche.

En général, les plus gros moteurs chauffent le bloc et/ou ont des moteurs de démarrage assez puissant pour faire démarrer le moteur assez longtemps pour permettre à la chaleur de compression d'allumer le moteur. Certains gros moteurs utilisent des collecteurs d'air de démarrage qui injectent l'air comprimé dans les cylindres qui font tourner le moteur pendant la séquence de démarrage.

6. Protection du moteur

Un moteur diesel est conçu avec des systèmes de protection afin d'alerter les opérateurs en cas de conditions anormales et pour empêcher le moteur de se détruire.

Un dispositif de contrôle de vitesse, souvent des pièces mécaniques très légères, sera utiliser pour arrêter l'écoulement du carburant dans le moteur et pour déclencher une alarme lorsque le moteur aura atteint un régime prédéfini. Pour se faire, il faut isoler le régulateur de son approvisionnement en huile, ce qui le pousse à revenir en position « pas de carburant », ou bien il peut contourner le régulateur et décrocher directement la crémaillère d'injection à la position « pas de carburant ».

Les moteurs équipés de contrôles de moteur électroniques sont aussi équipés de capteurs contrôlant la pression d'huile du moteur, la température, etc. Toute anomalie sera signalée au CR et une action sera effectuée (par les déclencheurs électriques)

Certains moteurs sont équipés d'un système start-stop pour réduire la pollution de l'air.

Utiliser la pédale d'embrayage démarrera le moteur sans voir à démarrer (contacteur à clef en position de démarrage).

6.1. Les moteurs refroidis par l'eau peuvent surchauffer

Les moteurs refroidis par l'eau peuvent surchauffer si le système de refroidissement à eau n'arrive pas à éliminer la chaleur perdue. L'élimination de la chaleur perdue empêche le moteur de se gripper en raison d'une expansion excessive des composants lorsque la température est trop élevée. L'enveloppe à eau de refroidissement se situe normalement au même endroit que le capteur du système de refroidissement à eau.

Les capteurs de température de l'enveloppe à eau envoient une alerte rapide lorsque la température du moteur atteint un niveau anormal. La valeur de consigne est telle que si le problème est corrigé en temps et en heure, le moteur ne subira pas de dommages importants. Mais si le moteur continue de tourner à une température trop élevée, le moteur subira des dommages.

6.2. Échappement

Dans un moteur diesel, les températures d'échappement sont très importantes et donnent beaucoup d'informations sur l'utilisation du moteur. Une température d'échappement élevée peut indiquer une surcharge du moteur ou une performance médiocre en raison du balayage inadéquat (effet de refroidissement) dans le moteur. Si le moteur continue de tourner alors que les températures d'échappement sont élevées, cela peut entraîner des dommages sur les soupapes d'échappement, les pistons et les cylindres. La température d'échappement ne procure généralement qu'une fonction d'alarme.

6.3. Lubrification à basse pression

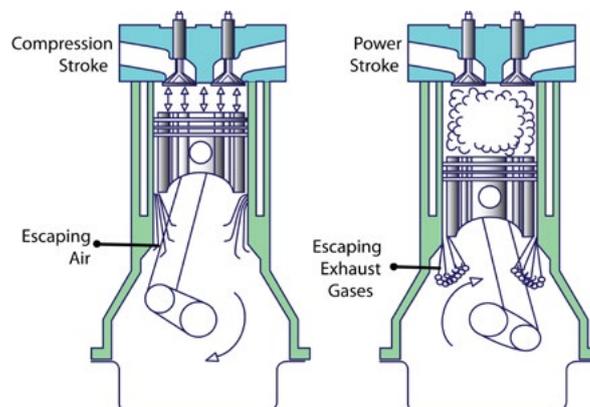
Une basse pression d'huile ou une perte de pression d'huile peut rapidement détruire un moteur.

Par conséquent, la plupart des moteurs moyens et gros s'arrêtent de tourner dès que la pression d'huile baisse ou disparaît. La perte de pression d'huile peut entraîner un grippage du moteur en raison du manque de lubrification. Les moteurs disposant de régulateurs hydrauliques-mécaniques s'arrêteront aussi en raison du manque d'huile dans le régulateur.

Généralement, le capteur de pression d'huile arrête le moteur. Les capteurs de pression d'huile sur les plus gros moteurs ont généralement deux valeurs de consigne de basse pression. Une valeur de consigne déclenche une alarme rapide de la pression anormale d'huile. La deuxième valeur de consigne peut déclencher l'arrêt du moteur pour éviter tout dommage permanent au moteur.

6.4. Pression élevée du carter

Une pression élevée du carter est généralement causée par une ventilation des gaz excessive (pression du gaz dans le cylindre ventilée par les segments de piston et dans le vilebrequin). Ce problème de haute pression indique que le moteur est en mauvais état. La pression élevée du carter est généralement utilisée comme une alarme.



Prenez de courtes notes sur les éléments suivants :

a) Inspection de la culasse et déformations du bloc

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

b) Inspection du piston

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

c) Inspection de la bielle

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

d) Mesure de l'alésage du cylindre

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

e) Inspection du vilebrequin

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

f) Sélection du palier de butée du vilebrequin / de la taille de la rondelle

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

g) Inspection et mise en place des segments de piston

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

h) Procédure pour assurer une rotation du vilebrequin, de l'amortisseur de vibrations et des vis de culasse

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

i) Méthodes de nettoyage / Inspection des conduits de l'huile et du liquide de refroidissement

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

IV) Jeu de soupapes du moteur - (jeu de soupape / jeu des poussoirs)

Inspection et réglage

Pour éviter tout risque de blessures, ne pas utiliser le démarreur pour faire tourner le volant d'inertie.

Les composants chauds du moteur peuvent provoquer des brûlures.

Prévoir du temps supplémentaire pour que le moteur refroidisse avant de mesurer le jeu de soupape

Étant donné un moteur diesel à 4 temps, vous devez effectuer ce qui suit:

Inspection et réglages de toutes les soupapes d'admission et d'échappement.

1. Sélectionnez les outils corrects et accessoires
2. Utiliser le bon manuel d'atelier
3. Le réglage de la soupape est effectué sur un moteur froid
4. Utiliser une clé dynamométrique, si nécessaire
5. Vérifier le chevauchement des soupapes pour trouver le PMH
6. Dans le cas où votre moteur est équipé de rotateurs de soupape, utiliser la procédure correcte et sûre pour vérifier le fonctionnement des rotateurs de soupape

V) Réglage du jeu de soupape

Le réglage du jeu de soupape s'effectue lorsque le moteur est froid.

Réglage du jeu de soupape (exemple) ;

Soupape d'admission ... 0,015 pouce (0,38 mm)

Soupape d'échappement ... 0,015 pouce (0,64 mm)

Vérifier que vous avez les bonnes spécifications dans le manuel de votre moteur.

Question : Pourquoi les soupapes d'échappement requièrent davantage de jeu que les soupapes d'admission ?

Réponse :

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Veillez noter : Sur certains moteurs, les soupapes d'admission et d'échappement sont les mêmes.

VI) Réglage du jeu de soupape

Si le jeu de soupape doit être réglé plusieurs fois dans un court laps de temps, l'usure excessive se trouve dans une partie différente du moteur. Réparer le problème pour éviter plus de dommages au moteur.

- Lorsque le jeu de soupape n'est pas suffisant, cela peut créer une usure rapide de l'arbre à cames et des poussoirs de soupape.
- Lorsque le jeu de soupape n'est pas suffisant, cela peut indiquer que les sièges des soupapes sont usés.
- Lorsque le jeu de soupape n'est pas suffisant, cela peut causer la brûlure des soupapes d'échappement.
- Lorsque le jeu de soupape n'est pas suffisant, cela peut empêcher un moteur chaud de démarrer.

Les soupapes s'usent en raison des causes suivantes :

- Mauvais fonctionnement des injecteurs de carburant
- Quantité excessive de saletés et d'huile présente sur les filtres d'admission d'air.
- Paramètres de carburant incorrects sur la pompe à injection de carburant.
- La capacité de charge du moteur est souvent dépassée.

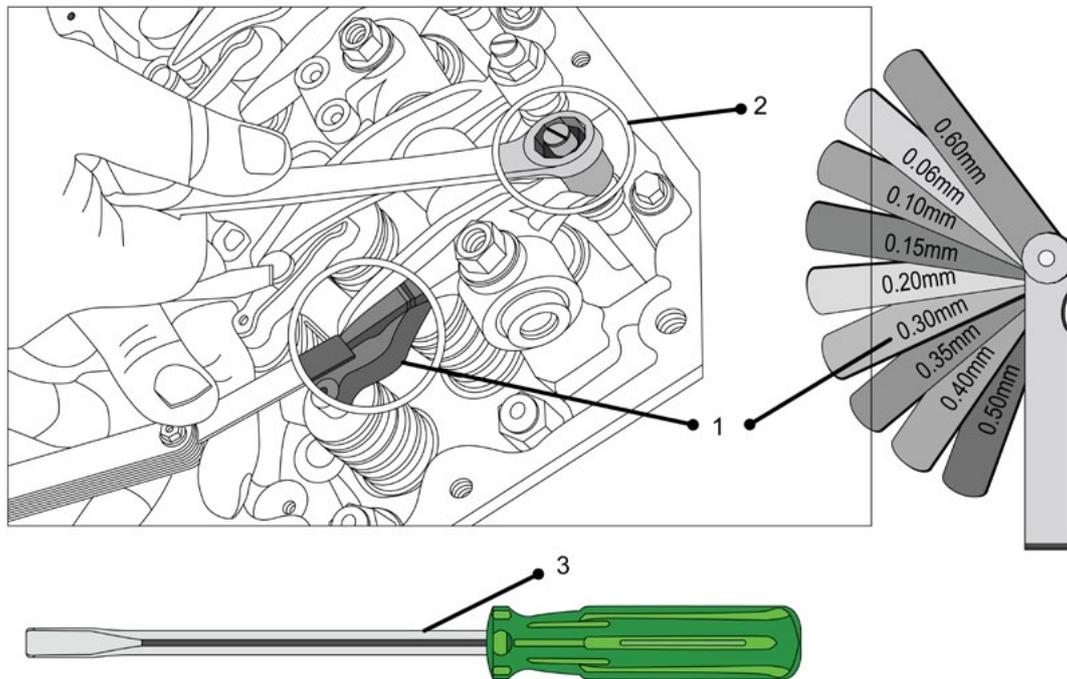
Lorsque le jeu de soupape est trop important, cela peut causer la rupture des tiges de soupape, des ressorts et des ressorts de retenues.

Lorsque le jeu de soupape est trop important, cela peut être une indication des problèmes suivants :

- Arbre à cames et poussoirs de soupape usés
- Culbuteurs usés
- Tiges poussoir tordues
- Prise cassée sur l'extrémité supérieure de la tige poussoir
- Vis de réglage desserrée pour le jeu de soupapes

Si l'arbre à cames et les poussoirs de soupape montrent une usure rapide, il y a certainement du carburant dans l'huile de graissage ou l'huile de graissage est probablement sale. Le jeu de soupape est mesuré entre le haut de la tige de soupape et le levier du culbuteur.

VII) Le réglage du jeu de soupapes pour les moteurs quatre cylindres



Le réglage du jeu de soupape

(1) Jauge d'épaisseur (2) Vis de réglage (avec l'écrou de blocage) (3) Tournevis (plat)

Exemple typique d'un moteur quatre cylindres :

1. Tourner le vilebrequin dans le sens des aiguilles d'une montre (vu à l'avant du moteur) jusqu'à ce que la soupape d'échappement du cylindre n° 1 soit presque fermée et la soupape d'admission du cylindre n° 1 commence à s'ouvrir (chevauchement des soupapes)
2. Piston du cylindre numéro 1 et le cylindre numéro 4 sont maintenant au PMH
3. Avec les soupapes d'admission et d'échappement en position de chevauchement (cyl. no 1), vous pouvez mesurer le jeu entre la soupape d'admission et la soupape d'échappement du cylindre numéro 4
4. Si une soupape doit être ajustée, desserrez le contre-écrou de la vis de réglage qui se trouve sur la vis de réglage
5. Placer la jauge d'épaisseur appropriée entre le culbuteur et la soupape.
6. Régler le jeu de soupapes jusqu'à ce que la spécification correcte soit atteinte

7. Après chaque réglage, serrer le contre-écrou de vis de réglage de soupape alors que la vis de réglage est maintenue pour l'empêcher de tourner
8. Tourner le vilebrequin dans le sens des aiguilles d'une montre de 360 degrés et contrôler le chevauchement des soupapes du cylindre numéro 4. Vous êtes maintenant prêt à contrôler le jeu de soupapes sur les deux soupapes du cylindre numéro 1
9. Tourner le vilebrequin du moteur dans le sens des aiguilles d'une montre jusqu'à ce que la soupape d'échappement du cylindre n° 2 soit presque fermée et la soupape d'admission du cylindre n° 2 commence à s'ouvrir. Vous pouvez maintenant contrôler le jeu des soupapes dans le cylindre n° 3
10. Tourner le vilebrequin du moteur dans le sens des aiguilles d'une montre jusqu'à ce que la soupape d'échappement du cylindre n° 3 soit presque fermée et la soupape d'admission du cylindre n° 3 commence à s'ouvrir. Vous pouvez maintenant contrôler le jeu des soupapes dans le cylindre n° 2

Comprendre le fonctionnement d'un moteur vous aidera à effectuer le réglage des soupapes avec un minimum de rotation du vilebrequin. Un modèle d'entraînement monté sur un support, peut facilement être tourné, mais une fois monté dans un compartiment moteur, il sera plus difficile de tourner le vilebrequin.

Observer le schéma de travail d'un moteur à quatre temps à 4 cylindres ci-dessous, et indiquer le nom des soupapes qui peuvent être ajustées lorsque les deux soupapes du cylindre numéro 1 se chevauchent. **Cylindre**

	0	60	120	180°	360°	540°	720°
Cylindre 1	P			E	I		C
Cylindre 2	E			I	C		P
Cylindre 3	C			P	E		I
Cylindre 4	I			C	P		E

I = Admission C = Compression P = Alimentation E = Échappement

Réponse: grâce au chevauchement des soupapes du cylindre n°1, les deux soupapes d'admission et d'échappement du cylindre n°4 peuvent être ajustées. En maintenant le vilebrequin dans la même position, la soupape d'échappement du cylindre n° 2 et la soupape d'admission du cylindre n°3 peuvent être ajustées.

Indiquez le nom des soupapes qui sont prêtes à être ajustées lorsque le vilebrequin est tourné à 360°

VIII) Le réglage du jeu de soupapes pour les moteurs trois cylindres

1. Tourner le vilebrequin dans le sens des aiguilles d'une montre jusqu'à ce que la soupape d'échappement du cylindre n° 1 soit presque fermée et la soupape d'admission du cylindre n° 1 commence à s'ouvrir.
2. Le jeu de soupapes sur la soupape d'admission du cylindre n° 2 et la soupape d'échappement du cylindre n° 3 peut être inspecté. Si nécessaire, effectuer le réglage.
 - a. Relâcher le contre-écrou de vis de réglage de soupape qui se trouve sur le boulon de réglage
 - b. Placer la jauge d'épaisseur appropriée entre le culbuteur et la soupape. Tourner le boulon de réglage tandis que le contre-écrou de vis de réglage de soupape est maintenu.
 - c. Régler le jeu de soupapes jusqu'à ce que le paramètre correct soit atteint.

Après chaque réglage, serrer le contre-écrou de vis de réglage de soupape alors que la vis de réglage est maintenue pour l'empêcher de tourner.

Tourner le vilebrequin dans le sens des aiguilles d'une montre jusqu'à ce que la soupape d'échappement du cylindre n° 2 soit presque fermée et la soupape d'admission du cylindre n° 2 commence à s'ouvrir.

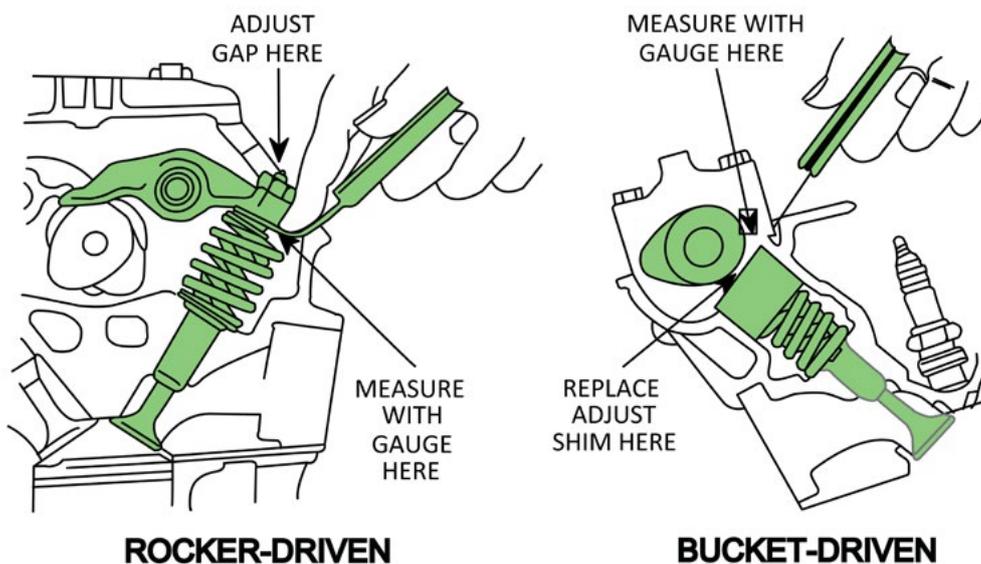
Le jeu de soupapes sur la soupape d'admission du cylindre n° 3 et la soupape d'échappement du cylindre n° 1 peut être inspecté. Si nécessaire, effectuer le réglage. Pour ajuster le jeu de soupapes, répéter les étapes 2a à 2d.

Tourner le vilebrequin dans le sens des aiguilles d'une montre jusqu'à ce que la soupape d'échappement du cylindre n° 3 soit presque fermée et la soupape d'admission du cylindre n° 3 commence à s'ouvrir.

6. Le jeu de soupapes sur la soupape d'admission du cylindre n° 1 et la soupape d'échappement du cylindre n° 2 peut être inspecté. Si nécessaire, effectuer le réglage. Pour ajuster le jeu de soupapes, répétez les étapes 2a à 2d.

Réglage des soupapes sur les moteurs équipés d'arbre à cames en tête, entraîné par godet

Il existe une différence de réglage des soupapes entre les soupapes à culbuteur et les soupapes à godet. Pour régler le jeu de soupapes sur des soupapes à godet, vous devez vérifier le jeu, le noter et déposer l'arbre à cames pour accéder aux godets. À l'intérieur des godets vous trouverez des cales. En ajoutant ou retirant les cales ayant la bonne épaisseur, vous obtiendrez un jeu de soupapes correct.



Les outils dont vous aurez besoin :

- Clés, Barres en T et jeu de douilles
- Clés Allen
- Attache lien
- Aimant
- Pieds à coulisse
- Jeu de cales de réglage
- Manuel d'atelier



En fonction du moteur, la procédure de réglage des soupapes à godet est la suivante:

Déposer l'arbre à cames

Pour déposer l'arbre à cames, ce qui est nécessaire pour accéder aux soupapes qui ne sont pas conformes aux spécifications, la première étape est de déposer le support de tourillon. Dévisser les boulons dans l'ordre recommandé par le fabricant pour prévenir la déformation du support. Deux goupilles de blocage maintiennent la came et le support de tourillon alignés, assurez-vous donc de bien les maintenir (sinon ils pourraient tomber dans le moteur). Ensuite déposez le/les came(s) hors des sièges pour accéder aux godets et cales. Enveloppez les cames dans du coton lorsqu'ils sont hors de la moto.

Chaîne de distribution

Si vous ne faites qu'ajuster les soupapes sous un vilebrequin (soit celui de l'admission ou l'échappement mais pas les deux), attachez la chaîne de distribution à la roue à came de la came non déposée. Si vous déposez les deux cames, il est important de ne pas laisser la chaîne tomber dans le boîtier. Attachez un morceau de l'attache lien autour de la chaîne et gardez une extrémité longue que vous pourrez attacher au cadre. Une autre option est de simplement mettre un tournevis sous la chaîne comme indiqué ici.

Retirez les godets

A l'aide d'une pince à long bec, soulevez doucement les godets du haut des soupapes. N'utilisez la force que si c'est nécessaire pour maintenir une prise ferme sur les godets pour ne pas les endommager. La cale sera sur le dessus de la soupape ou bien coincée à l'intérieur du godet. Ayez un aimant à portée de la main et effectuez cette tâche doucement pour vous assurer que vous ne perdez aucune cale dans le moteur ou qu'elle ne tombe sur le sol. Gardez les godets et les cales ensemble et notez à quelle soupape ils/elles appartiennent.

Mesurez les cales

A l'aide d'un pied à coulisse, mesurez les cales dont les soupapes nécessitent un réglage. Comme vous aurez noté les jeux auparavant, vous utiliserez la mesure que vous aurez prise de l'ancienne cale pour calculer la nouvelle cale.

Les fabricants utilisent les cales dans le processus de fabrication pour compenser les écarts de tolérance dans les godets, cames, soupapes et tête. Évidemment, toutes les cales d'admission et d'échappement ne se ressemblent pas.



Remonter

Une fois que vous avez remis les cales en place, il est temps de réinstaller les cales, godets, cames, support de tourillon, chaîne de distribution et le cache de la soupape. Assurez-vous que vous tirez bien sur la chaîne de distribution et que vous l'installez sur la bonne dent de la came, en suivant les instructions du fabricant, pour bien la remettre en place. Utilisez aussi les spécifications recommandées pour le resserrage du support de tourillon.

Faire les calculs

Le jeu des soupapes est souvent mesuré en centièmes de millimètre.

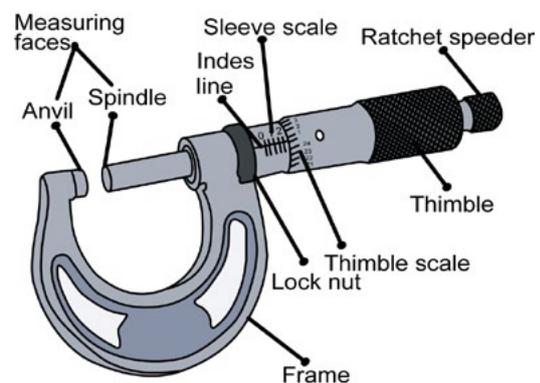
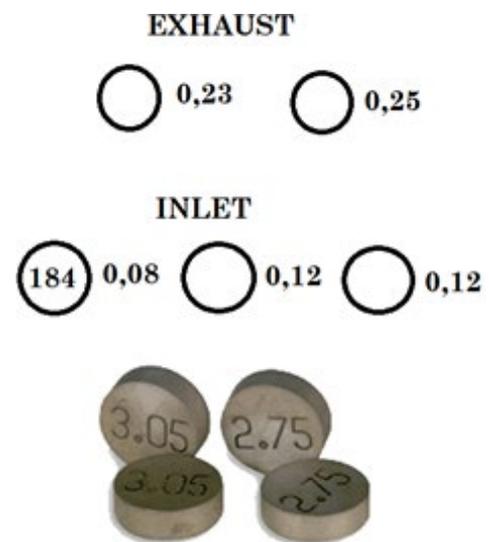
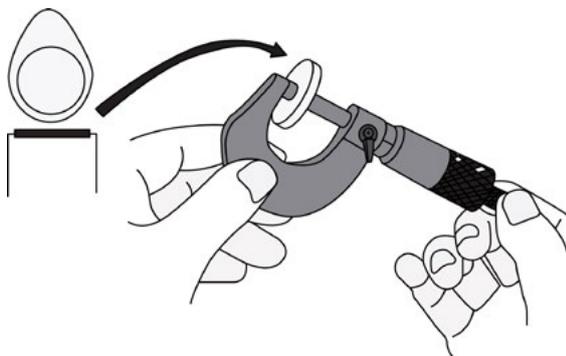
Sur un morceau de papier, faites des cercles représentant chaque soupape et le jeu de soupape au-dessus. Dans notre cas, une soupape d'admission était hors tolérance de 0,08 mm, nous avons donc retiré le godet et la cale. La cale mesurait 1,84 mm ou 184 centièmes, que nous avons noté à l'intérieur du cercle.

Notre but était d'atteindre un jeu de 0,13 mm. car c'est la limite supérieure du spectre de la tolérance. pour permettre l'usure future.

Cela signifiait qu'il fallait sélectionner une cale de 0,05 mm (0,13 mm – 0,08 mm) inférieure à 184, à savoir 179. Répétez cette étape pour chaque cale hors tolérance.

Micromètre

Si vous utilisez un pied à coulisse il sera préférable d'utiliser un micromètre pour mesurer l'épaisseur des cales. Plus précis.



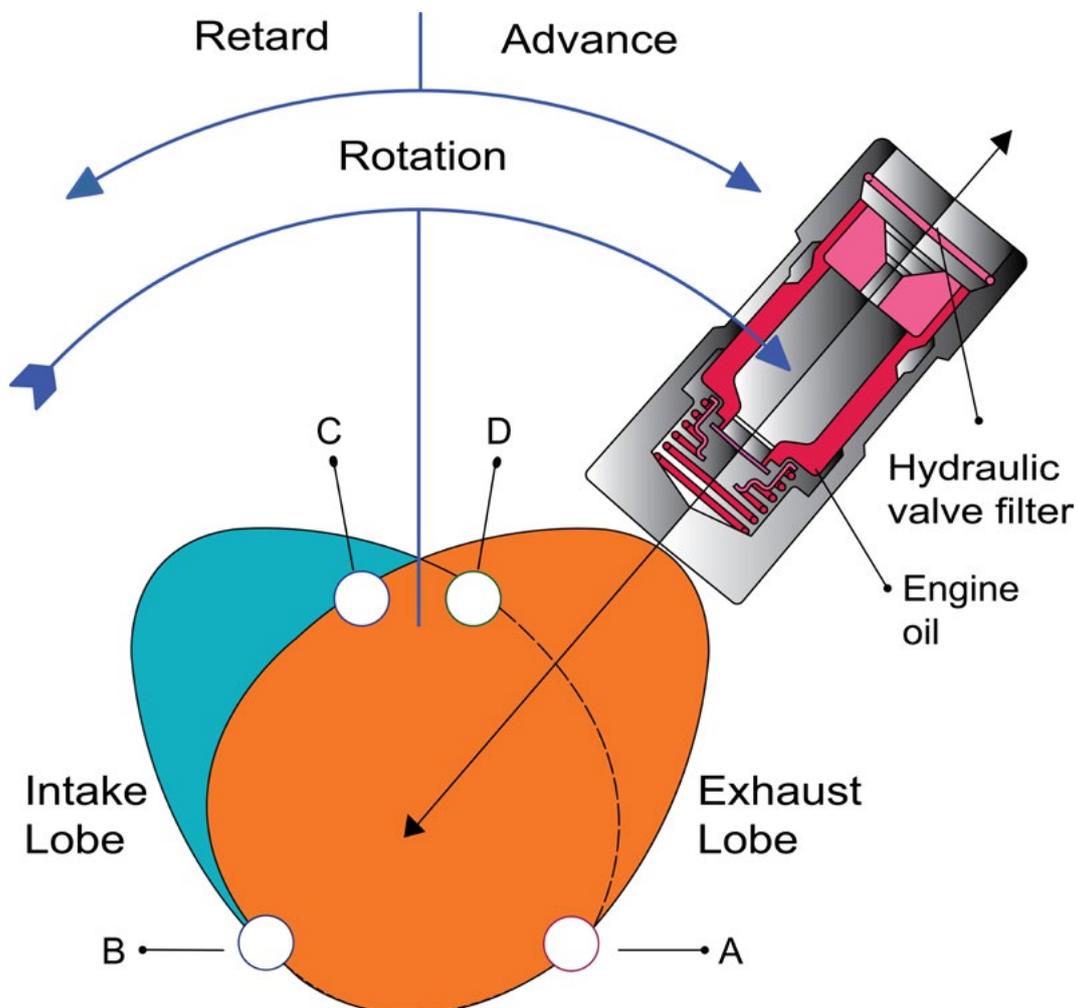
Poussoirs hydrauliques de soupape

A l'exception des types de réglage de soupapes mentionnés précédemment, les poussoirs hydrauliques de soupape ne nécessitent pas de réglage régulier.

Les poussoirs hydrauliques de soupape maintiennent automatiquement le bon jeu de soupape lorsque le moteur est chaud ou froid.



Fonctionnement des poussoirs hydrauliques de soupape



- A. Exhaust valve opens - power stroke
- B. Intake valve opens - Exhaust stroke
- C. exhaust valve closes - intake stroke
- D. Intake valve closes - Compression stroke

Ce module s'inscrit dans le cadre de la Learning and Knowledge Development Facility (Plateforme d'Apprentissage et de Développement des Connaissances - LKDF), mise au point par la Swedish International Development Cooperation Agency (Agence suédoise pour le développement international - Sida) et l'Organisation des Nations unies pour le développement industriel (ONUDI). Le but de la LKD Facility est de promouvoir les compétences industrielles des jeunes dans les économies émergentes. Opérant conjointement avec le secteur privé par le biais des Partenariats de développement public privé (PDPP), la LKD Facility soutient la création et l'amélioration des centres locaux de formation industrielle afin qu'ils puissent répondre aux demandes croissantes du marché de l'emploi en matière de main-d'oeuvre qualifiée, contribuant ainsi au développement industriel inclusif et durable.



ORGANISATION DES NATIONS UNIES
POUR LE DÉVELOPPEMENT INDUSTRIEL

Centre international de Vienne,
B.P. 300, 1400 Vienne, Autriche
Tél : +43 (1) 26026-3752
E-mail : lkd-facility@unido.org

www.lkdfacility.org