

□ Cours de Machines et Outils Agricoles

Cours synthétique sur les machines et outils agricoles, conçu pour des étudiants en agronomie (niveau Licence) ou pour des techniciens agricoles souhaitant renforcer leurs connaissances pratiques et théoriques.

□ Module 1 : Introduction aux Machines et Outils Agricoles

1.1. Définitions

- **Machine agricole** : tout équipement motorisé ou attelé qui facilite les travaux agricoles.
- **Outil agricole** : instrument manuel ou attelé utilisé pour accomplir une tâche spécifique (sarclage, labour...).

1.2. Importance

- Amélioration de la productivité.
- Réduction de la pénibilité du travail.
- Optimisation du temps et des ressources.

□ Module 2 : Classification des Outils Agricoles

2.1. Selon la source d'énergie :

- **Outils manuels** : houe, daba, machette, serfouette, sarcleuse manuelle, arrosoir, râteau, seau.
- **Outils attelés** : charrue à traction animale.
- **Outils motorisés** : motoculteur, tracteur.

2.2. Selon la fonction :

| Fonction | Outils/Machines |
|----------------|----------------------------|
| Travail du sol | Houe, charrue, cultivateur |
| Semis | Semoir, plantoir |
| Entretien | Sarcleuse, pulvérisateur |
| Récolte | Faucille, moissonneuse |
| Post-récolte | Batteuse, décortiqueuse |

□ Module 3 : Machines de Travail du Sol

3.1. Outils manuels :

- **Houe** : labourer, ameublir, sarcler.
- **Pelle-bêche** : retourner le sol.

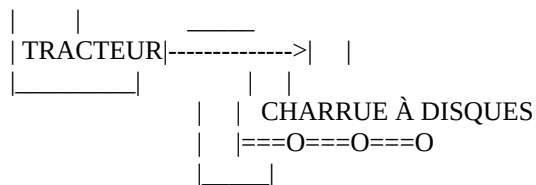
3.2. Machines attelées :

- **Charrue à versoir** : retourne le sol.
- **Herse** : affine la motte après labour.

3.3. Machines motorisées :

- **Motoculteur** : machine rotative pour petits champs.
- **Tracteur** : machine polyvalente pour traction.

□



Légende :

- TRACTEUR : véhicule moteur qui tire l'outil.
- -----> : attelage ou timon reliant le tracteur à l'outil.
- CHARRUE À DISQUES : outil de travail du sol équipé de disques concaves.
- ===O===O===O : symbolise les **disques** rotatifs, utilisés pour **labourer** ou **déchaumer** le sol.

□ Module 4 : Semis et Plantation

4.1. Outils simples :

- **Plautoir** : manuel pour semis précis.
- **Semoir manuel** : pour cultures alignées.

4.2. Machines :

- **Semoir mécanique** : attelé ou motorisé.
- **Semoir pneumatique** : pour cultures de précision.

□ Exemple :

- Le semoir à disques pour le maïs plante et couvre les graines en un seul passage.

□ Module 5 : Entretien des Cultures

5.1. Désherbage :

- **Sarcluse manuelle** : à main ou à traction animale.
- **Désherbeuse thermique** : motorisée.

5.2. Pulvérisation :

- **Pulvérisateur à dos** : pour petite surface.
- **Pulvérisateur motorisé** : pour grandes parcelles.

△ Sécurité : porter des EPI (gants, masque, bottes).

□ Module 6 : Récolte et Post-Récolte

6.1. Récolte :

- **Faucille** : pour céréales manuellement.
- **Moissonneuse-batteuse** : coupe et sépare le grain.

6.2. Post-récolte :

- **Batteuse** : sépare grains de l'épi.
- **Décortiqueuse** : enlève l'enveloppe (riz, arachide).
- **Trieuse** : calibre les grains.

Module 7 : Entretien et Sécurité

7.1. Entretien :

- Nettoyage régulier après usage.
- Graissage des pièces mobiles.
- Remplacement des pièces usées.

7.2. Sécurité :

- Lire les notices.
- Porter les équipements de protection.
- Éviter de réparer une machine en marche.

□ Module 8 : Choix des Machines pour l'Agriculture Familiale (cas du Kwilu)

Critères :

- Taille de l'exploitation.

- Disponibilité de main-d'œuvre.
- Accès à l'énergie (carburant, électricité).
- Coût et service après-vente.

Exemples adaptés au Kwilu :

| Besoin | Solution adaptée |
|--------------|---------------------------|
| Labour léger | Motoculteur |
| Semis maïs | Semoir manuel |
| Sarclage | Houe, sarcleuse attelée |
| Récolte riz | Faucille, batteuse mobile |

□ Module 9 : Moteur 4 temps

Le rôle du moteur est **de transformer l'énergie calorifique contenue dans un carburant en énergie mécanique** (rotation d'un arbre : le vilebrequin). Les moteurs utilisés sur les matériels agricoles sont des moteurs Diesel fonctionnant avec le gasoil dit **domestique** (couleur rouge). Le moteur est dit à combustion interne car la combustion du carburant a lieu dans le moteur lui-même.

Composition du moteur (fig. 1)

Bloc-moteur

C'est la **pièce centrale** du moteur. Elle est fabriquée d'une seule pièce en fonderie (coulée dans un moule) puis usinée (façonnée) pour contenir les autres pièces du moteur : piston, vilebrequin, arbre à cames... Sur la plupart des tracteurs le bloc-moteur est dit « porteur » car il est situé entre les essieux¹ avant et arrière et supporte donc des efforts importants. Quelques constructeurs installent un châssis sur lequel le moteur est fixé au moyen de « silentblocs² » (comme une automobile). Il comporte des galeries où circulent le liquide de refroidissement et l'huile du moteur.

Pistons

Ce sont des cylindres sur lesquels s'exerce la poussée de l'explosion. Ils peuvent être montés de plusieurs façons dans le bloc-moteur :

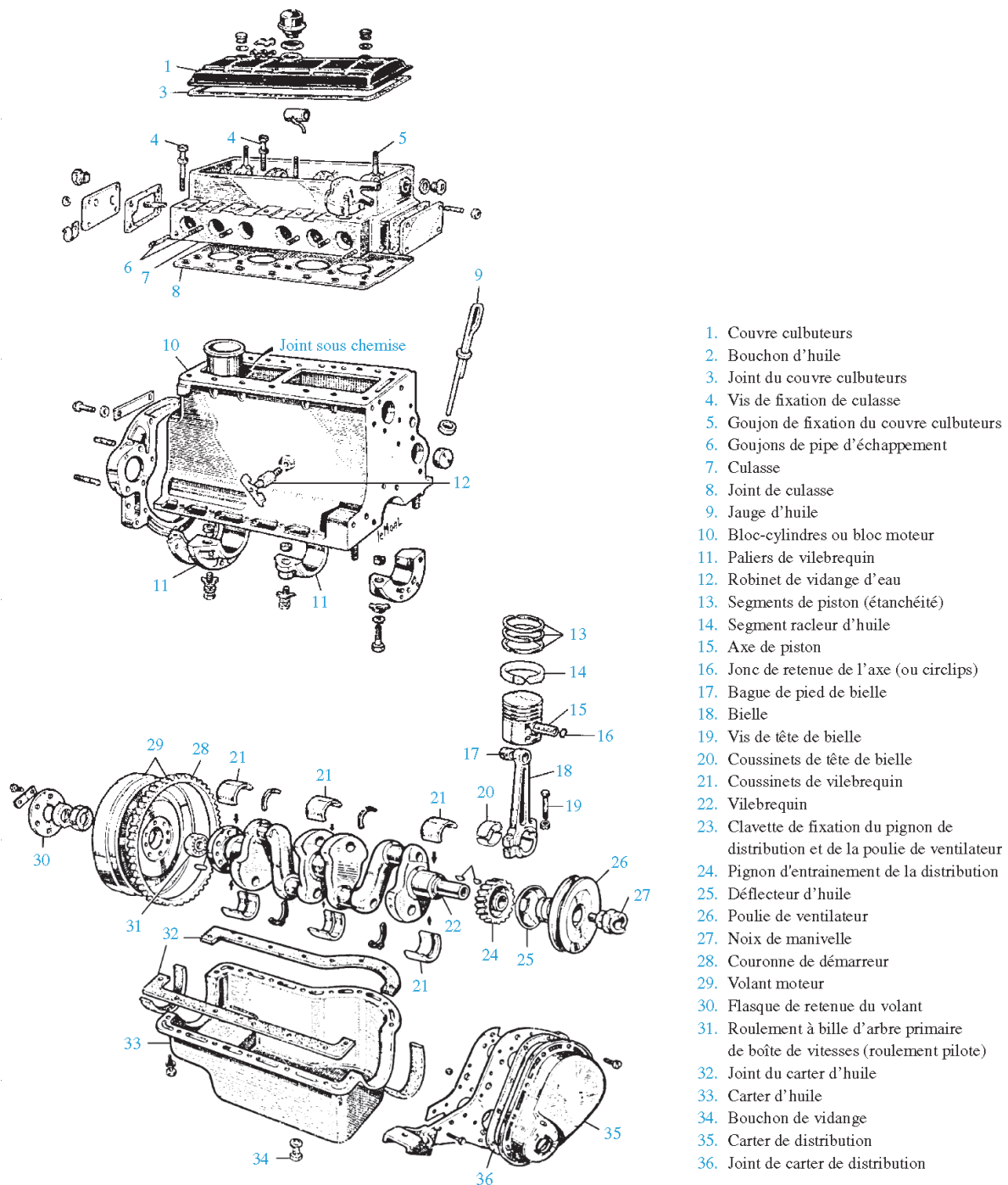
- S'ils sont **disposés directement dans des alésages (ajustages) usinés dans le bloc on parle alors de « bloc alésé »**. Ce montage de plus en plus fréquent permet de diminuer le nombre de pièces donc le coût de fabrication. Le liquide de refroidissement circule dans des canalisations du bloc ; il n'y a donc pas de risques de

¹ Longues pièces placées transversalement sous la caisse d'une voiture et dont les extrémités (□ **Fusée**) entrent dans les moyeux des roues.

² Petit bloc en caoutchouc traité et comprimé, interposé entre des pièces dont le mouvement relatif est très faible, pour absorber les bruits, les vibrations. (Bloc silencieux).

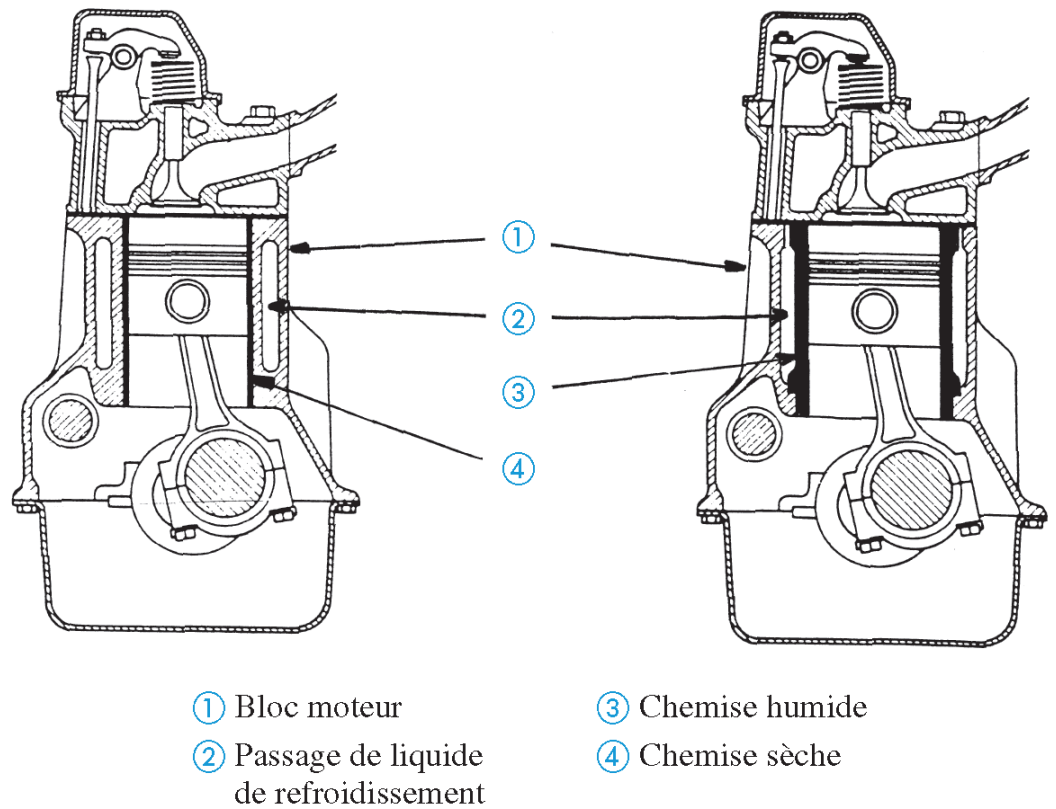
fuites. En revanche, en cas d'usure il est nécessaire de changer le bloc-moteur car le réalésage n'est pas toujours possible et souvent onéreux ;

- Le bloc peut être alésé (ajusté) à un diamètre supérieur à celui du piston (de plusieurs millimètres) afin de pouvoir introduire une pièce cylindrique d'usure appelée chemise sèche (fig. 2). Elle n'est pas en contact avec le liquide de refroidissement mais avec une paroi du bloc. Pour un bon refroidissement le contact avec la paroi doit être parfait. Cela nécessite une précision d'usinage et un montage « à force ». La chemise sèche sera remplacée en cas d'usure ce qui permet de conserver le bloc-moteur ;



Source : ETAL.

Figure 1 : Vue éclatée d'un moteur classique : 4 temps, 4 cylindres en ligne avec bloc cylindre chemisé, arbre à cames latéral avec soupape en tête commandées par culbuteurs.



Détail des joints d'embase de chemise humide

- ① Joint à section rectangulaire
- ② Joints thoriques
- ③ Bloc-moteur

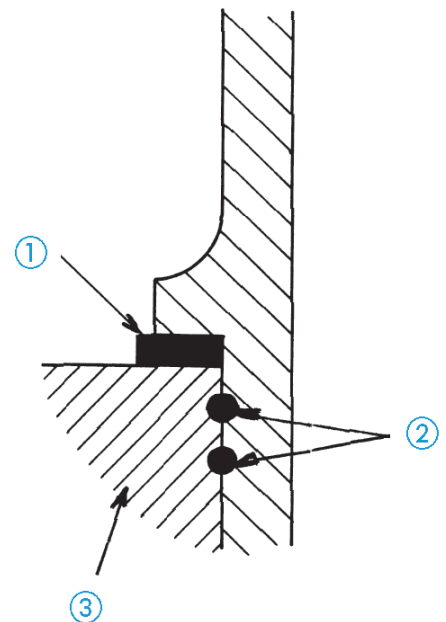


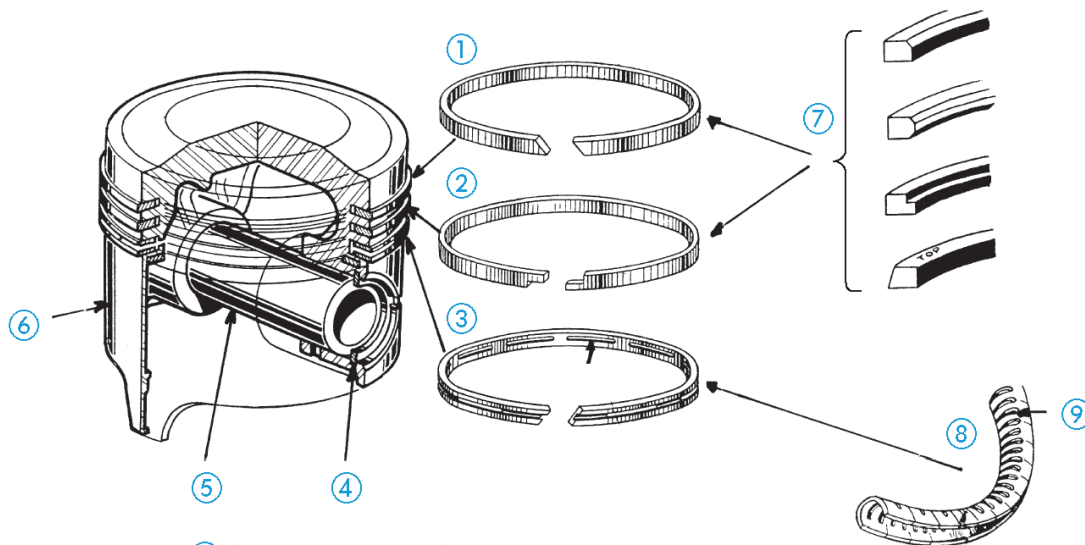
Figure 2 : Les deux types de chemise.

- Le bloc n'est constitué que de parois extérieures. Le piston est alors guidé dans un **cylindre amovible appelé chemise humide car en contact avec le liquide de refroidissement**. Ce montage favorise les échanges thermiques donc le refroidissement mais nécessite une très bonne étanchéité pour éviter toute fuite. La

base de la chemise est donc munie de joints dits d'embase³ (joint à section carrée et joints toriques). L'étanchéité en haut des chemises est assurée par le joint de culasse.

Chaque constructeur choisit généralement l'un de ces trois montages pour tous les modèles de sa gamme. Les blocs alésés ont tendance à se généraliser à cause de leur moindre coût. L'efficacité de chaque montage dépend surtout des matériaux utilisés et de la qualité de montage.

L'étanchéité entre le piston et le bloc (ou la chemise) est assurée par trois segments (figure 3) : un segment dit « coup de feu », un segment d'étanchéité puis un segment dit « racleur d'huile ». Un nombre plus important de segments augmenterait la longévité du moteur mais aussi les frottements. Cela serait obtenu au détriment de la « nervosité » du moteur.



- ① Segment coupe-feu
- ② Segment d'étanchéité
- ③ Segment racleur d'huile
- ④ Circlips d'arrêt (axe libre en translation)
- ⑤ Axe du piston
- ⑥ Juppe
- ⑦ Différentes sections possibles pour les segments ① et ②
- ⑧ Forme possible du segment racleur
- ⑨ Orifice d'évacuation de l'huile

Source : Technologie moteur Foucher.

Figure 3 : Vue en coupe d'un piston.

Bielles

Elles relient le piston au vilebrequin donc transforment le mouvement alternatif du piston en mouvement circulaire. Le pied de bielle est relié au piston par un axe et la tête de bielle est reliée au vilebrequin.

³ **Techn.** Partie, élément (d'un instrument, d'une pièce, etc.) servant de base, de support.

Vilebrequin

Il peut être réalisé d'une seule pièce en fonderie ou par forgeage puis usiné et équilibré. Les paliers de fixation appelés tourillons sont situés sur l'axe de rotation. Les manetons correspondent aux endroits où sont fixées les bielles. Pour diminuer les frottements les manetons et tourillons sont montés sur deux demi- coussinets : ce sont des languettes en forme d'arc de cercle sur 180° chacune et revêtues de régule (alliage antifriction à base d'étain). La forme du vilebrequin dépend de l'ordre d'allumage du moteur. Il comporte des masses métalliques permettant de l'équilibrer statiquement et dynamiquement. La précision d'usinage est de l'ordre du centième de millimètre. Le vilebrequin ne tolère pas de déformation sinon il doit être rectifié ou changé (c'est une des pièces les plus onéreuses du moteur).

Arbre à cames (figure 4)

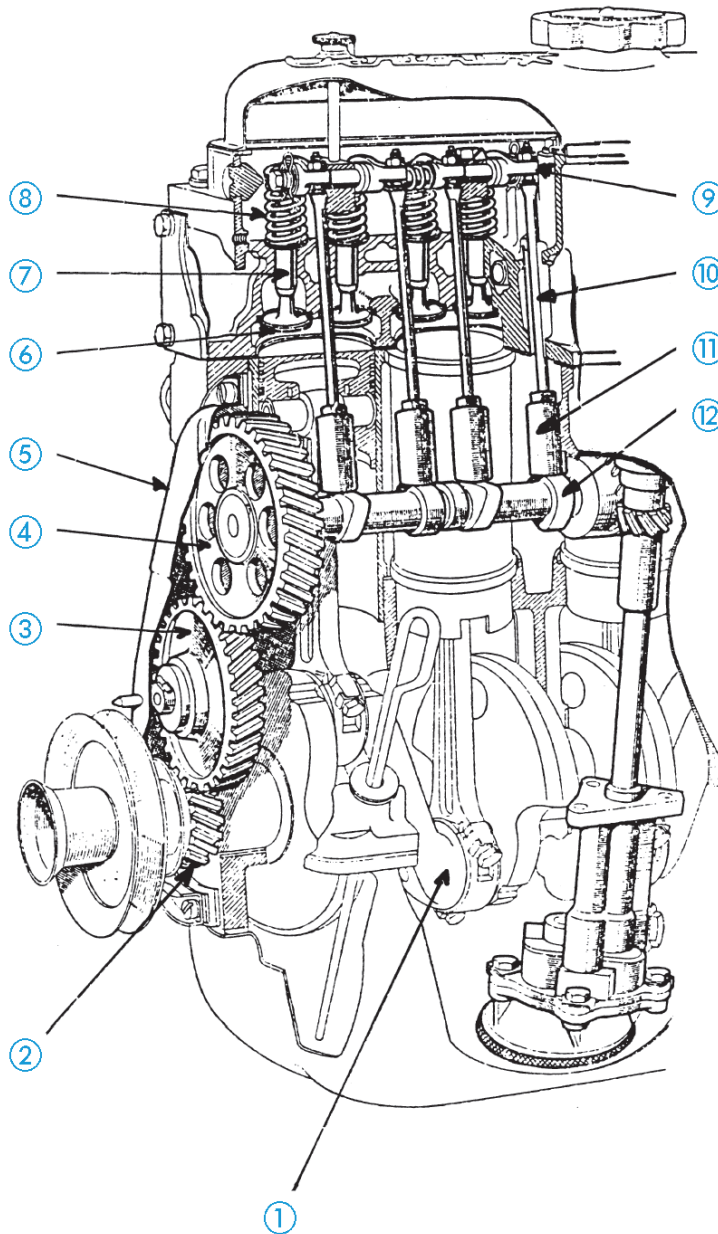
Il est situé sur le côté du moteur, à mi-hauteur, d'où son nom d'arbre à cames latéral. Il est directement installé dans un alésage du bloc (dépourvu de bague ou coussinet). Il est équipé de plusieurs bossages permettant les ouvertures des soupapes par l'intermédiaire des poussoirs, tige de culbuteur et culbuteurs. Les moteurs de tracteurs disposent de deux soupapes par cylindre (une d'admission et une, d'échappement). Il faut donc deux cames sur l'arbre par cylindre du moteur. Il entraîne généralement d'autres équipements annexes tels que la pompe à gasoil, la pompe à huile moteur...

Culasse

Cette pièce est coulée d'une seule pièce en fonderie. Elle ferme le bloc-moteur à sa partie supérieure. L'étanchéité des cylindres est due à sa précision d'usinage et à la présence du joint de culasse. Sa réalisation est compliquée car elle nécessite de nombreux usinages pour y installer les soupapes (deux par cylindre), les culbuteurs, les tiges de culbuteurs, les passages de liquide de refroidissement, les injecteurs (pour un moteur Diesel), les vis de fixation sur le bloc, les chambres de combustion, les passages d'huile (pour le graissage des culbuteurs). La surface inférieure doit être plane pour une bonne étanchéité. En cas de faibles déformations (en général quelques centièmes de millimètres), la culasse peut être rectifiée (si cela est prévu d'origine). Cela se produit généralement lors d'une surchauffe du moteur. Pour des déformations plus importantes dépassant la « cote de déformation » donnée par le constructeur, elle doit être remplacée par une neuve.

Carter

Le carter ferme le moteur en partie inférieure et contient l'huile nécessaire à sa lubrification. Un joint de carter évite toute fuite d'huile. Le carter contient la pompe à huile fixée sur le bloc et entraînée par la distribution ou par l'arbre à cames. L'étanchéité du vilebrequin à chaque sortie du bloc est assurée par deux joints à lèvres appelés joints de palier avant et arrière du vilebrequin. Ils sont montés serrés entre le bloc et le carter. Toute fuite du joint de palier avant est facilement repérable au niveau de la poulie du vilebrequin. En revanche, une fuite au joint de palier arrière sera masquée par le volant moteur et la cloche d'embrayage. Elle n'est détectée bien souvent que par la défectuosité de l'embrayage : le disque est alors enduit d'huile et l'embrayage « patine ».



- | | |
|--|----------------------|
| ① Vilebrequin | ⑦ Guide de soupape |
| ② Pignon du vilebrequin | ⑧ Ressort de soupape |
| ③ Pignon intermédiaire de distribution | ⑨ Culbuteur |
| ④ Pignon de l'arbre à cames | ⑩ Tige de culbuteur |
| ⑤ Carter de distribution | ⑪ Pousoir |
| ⑥ Soupape | ⑫ Came |

Source : Technologie moteur Foucher.

Figure 4 : Vue d'un arbre à cames latéral et son entraînement.

Volant moteur et masses d'équilibrage

Bien que les explosions de tous les cylindres soient décalées dans le temps, le mouvement du vilebrequin n'est pas parfaitement régulier. Pour atténuer et réduire au maximum les

vibrations, les constructeurs fixent sur le vilebrequin à la sortie du moteur un disque métallique appelé volant moteur. L'énergie cinétique lorsqu'il est en rotation en régularise la vitesse. Pour être efficace le volant doit être équilibré et sa position repérée par rapport au vilebrequin (souvent grâce à un pion de centrage). D'autres constructeurs rajoutent (sur des moteurs 3 et 4 cylindres) deux arbres d'équilibrage parallèles, tournant en sens inverse et positionnés parallèlement au vilebrequin de chaque côté. Leurs masselottes excentrées réduisent ainsi les vibrations à condition de respecter leur calage (positionnement par rapport au vilebrequin).

Caractéristiques du moteur (figure 5)

Le point mort haut ou **PMH** correspond à la position la plus haute du piston. Le point mort bas ou **PMB** correspond à la position la plus basse du piston. **La course est la distance entre le PMB et le PMH.** C'est aussi la longueur de déplacement du piston ou le diamètre du vilebrequin. **L'alésage est le diamètre intérieur du cylindre.**

Le volume intérieur du cylindre entre le PMH et le PMB est appelé cylindrée unitaire (V). Il correspond au volume de déplacement du piston. La cylindrée totale du moteur est égale à la cylindrée unitaire multipliée par le nombre de cylindres.

La chambre de combustion (v) est le volume du cylindre situé au-dessus du PMH.

Le taux de compression ou rapport volumétrique est donné par un rapport sur un sans unité. C'est le rapport entre le volume d'air entrant dans le cylindre à chaque cycle (V + v) par rapport au volume restant en fin de compression (v) soit ϵ égale $\frac{V+v}{v}$. Ce rapport est sans unité.

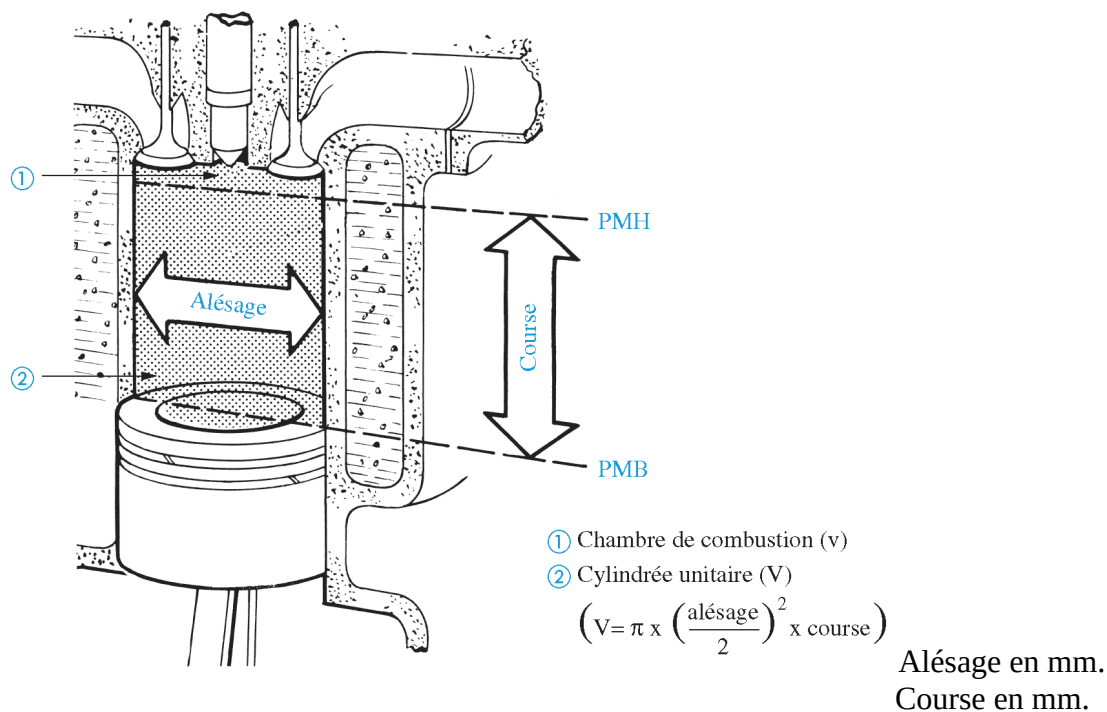


Figure 5 : Les caractéristiques du moteur.

La cylindrée est le volume balayé par les pistons d'un moteur durant un tour de vilebrequin. Généralement, en l'absence de suralimentation (turbocompresseur⁴ ou compresseur), plus le moteur a une cylindrée importante, plus il a du couple⁵ et la consommation est plus importante. La cylindrée unitaire (Vu) est le volume balayé par le piston pendant un cycle dans un seul cylindre, elle est calculée à l'aide de la formule ci-dessus. Pour connaître la cylindrée totale (Vt), il suffit de multiplier la cylindrée unitaire par le nombre de cylindre.

Les moteurs Diesel ont un rapport volumétrique de l'ordre de 15/1 à 25/1, donc relativement élevé à cause du principe même de la combustion.

La pression en fin de compression est la pression existante dans le cylindre lorsque le piston est au PMH en fin de compression (les deux soupapes sont fermées).

Cette pression est en général donnée en bars par le constructeur pour un moteur tournant à 400 tours/min de régime (soit moteur tournant avec le démarreur mais sans démarrer).

Le régime moteur indiqué par le compte-tours indique la vitesse de rotation du vilebrequin (700 à 800 tours/min pour le régime ralenti et 2 000 à 2 200 tours/min pour le régime maxi).

Les moteurs de tracteur disposent de 3 à 6 cylindres en ligne (parallèles) suivant leur puissance :

- 3 cylindres : 40 à 60 chevaux
- 4 cylindres : 60 à 100 chevaux
- 5 cylindres : quelques tracteurs de 90 chevaux (abandonné pour des raisons d'équilibrage)
- 6 cylindres : 100 chevaux et plus.

Certains engins automoteurs de fortes puissances (150 à 200 chevaux et plus) sont équipés de moteurs en V, soit V6 soit V8 moins encombrants. En effet les cylindres sont disposés alternativement sur deux rangées réalisant entre elles un angle de 40 à 90°.

Pour le sens de rotation d'un moteur il n'y a pas de règle générale car chaque constructeur choisit son propre sens de rotation dont dépendront ensuite les autres organes du moteur (démarreur, alternateur) et la transmission. De même le cylindre numéro un (utilisé pour de nombreux réglages) peut se situer côté volant-moteur ou côté radiateur c'est-à-dire de l'un ou de l'autre côté du moteur (suivant le choix du constructeur).

Toutes les caractéristiques sont propres à chaque moteur : on peut les trouver sur la fiche technique du constructeur ou sur des revues techniques.

Fonctionnement du moteur à 4 temps (figure 6)

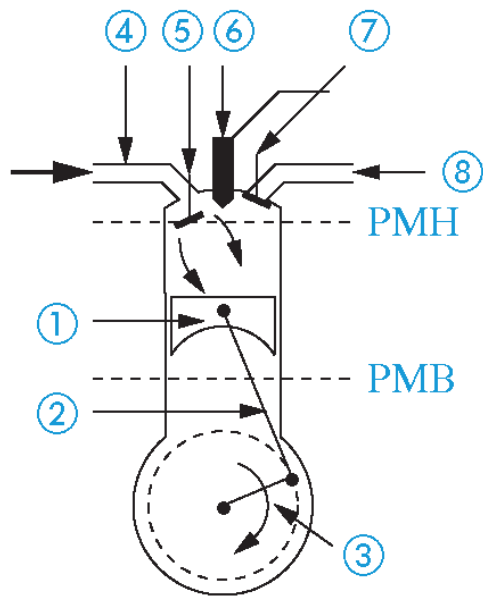
Le fonctionnement se déroule sur un cycle de **quatre phases successives, ou quatre temps**.

Admission

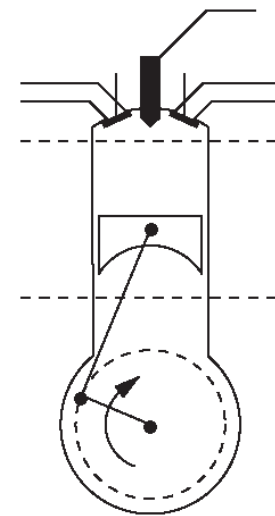
Le piston descend du PMH au PMB. **La soupape d'admission s'ouvre quand le piston est au PMH.** La descente crée une dépression dans le cylindre qui aspire l'air extérieur après passage dans le filtre à air. Lorsque le piston arrive au PMB la soupape d'admission se ferme. Le piston descend car il est entraîné par le vilebrequin lui-même est entraîné par l'énergie cinétique du volant moteur.

⁴ Le turbocompresseur permet d'accroître le rendement d'un moteur. Entraîné par les gaz d'échappement, il comprime l'air nécessaire à la combustion du carburant, afin d'en admettre davantage dans les cylindres.

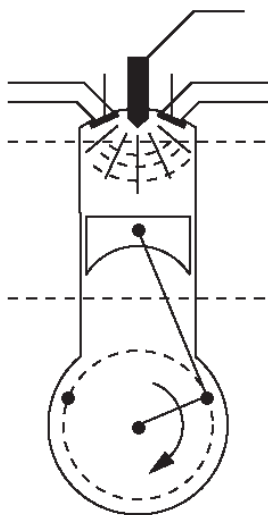
⁵ Force instantanée qu'exerce un moteur à la sortie de son vilebrequin, par son mouvement de rotation.



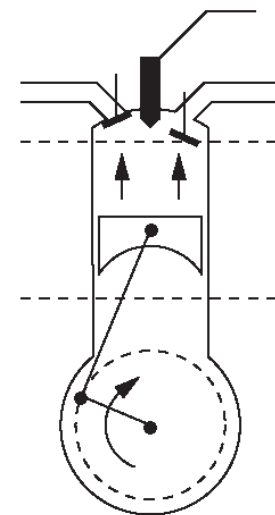
1. Admission



2. Compression



3. Explosion-détente



4. Échappement

- ① Piston
- ② Bielle
- ③ Vilebrequin
- ④ Pipe d'admission

- ⑤ Soupape d'admission
- ⑥ Injecteur
- ⑦ Soupape d'échappement
- ⑧ Pipe d'échappement

Figure 6 : Le moteur à 4 temps.

Compression

Les deux soupapes sont fermées. Le piston remonte du PMB vers le PMH. L'air précédemment admis est comprimé dans le volume de la chambre de combustion.

À cause du taux de compression élevé il se produit un échauffement important de l'air.

Explosion-détente

Lorsque le piston est au PMH, un injecteur pulvérise, dans l'air chaud et comprimé, du gasoil en fines gouttelettes. La combustion se déclenche sans étincelle : c'est une réaction chimique exothermique c'est-à-dire avec dégagement de chaleur.

Les gaz s'échauffent dans le volume de la chambre de combustion c'est-à-dire dans un volume déterminé. Il s'ensuit une montée des gaz en pression qui refoule le piston vers le bas jusqu'au PMB. C'est le seul temps moteur qui permet au volant d'emmagasiner de l'énergie cinétique et d'assurer ainsi sa rotation pendant les trois temps suivants.

En réalité pour obtenir une pression maximale sur le piston en tenant compte du délai d'inflammation du carburant, le début d'injection doit se produire avant le PMH. C'est le point d'injection repéré par un angle d'avance à l'injection sur le vilebrequin (par rapport au PMH fin compression).

Échappement

La soupape d'échappement s'ouvre quand le piston est au PMB. Le piston remonte et chasse les gaz d'échappement ou gaz brûlés vers l'extérieur. La soupape d'échappement se ferme au PMH et un nouveau cycle peut commencer.

Chaque temps moteur correspond à une montée ou une descente du piston. Les quatre temps se déroulent donc sur 2 tours du vilebrequin. Sur un cycle de quatre temps chaque soupape s'est ouverte une fois. Comme l'arbre à cames ne possède qu'une came par poussoir, il doit donc tourner d'un tour. On dit que l'arbre à cames tourne à mi-vitesse du vilebrequin. Si un moteur tourne à un régime de 2 000 tr/minute, il se produit 1 000 explosions par minute et par cylindre.

En réalité les ouvertures et les fermetures de soupape ne se produisent pas au PMB ou PMH pour plusieurs raisons :

- La combustion n'est jamais instantanée (elle dure environ 1 à 2 ms) ;
- Les gaz ont une certaine inertie et ne se mettent pas immédiatement en mouvement ;
- L'ouverture et la fermeture ne sont pas instantanées ;
- En fin de détente la pression est encore élevée : il y a donc une contre-pression à l'échappement s'opposant à la remontée du piston.

Pour toutes ces raisons la soupape d'admission s'ouvre avant que le piston atteigne le PMH (d'où l'angle d'avance à l'ouverture de la soupape d'admission : AOA) et se ferme après que le piston ait dépassé le PMB (d'où l'angle de retard à la fermeture de la soupape d'admission : RFA).

De même la soupape d'échappement s'ouvre en avance par rapport au PMB (AOE = avance à l'ouverture de l'échappement) et se ferme en retard par rapport au PMH (RFE = retard à la fermeture de l'échappement). Ces quatre angles constituent l'épure de distribution et sont caractéristiques de chaque moteur (figure 7).

Un cycle quatre temps se déroule sur 2 tours de vilebrequin et un tour d'arbre à cames.

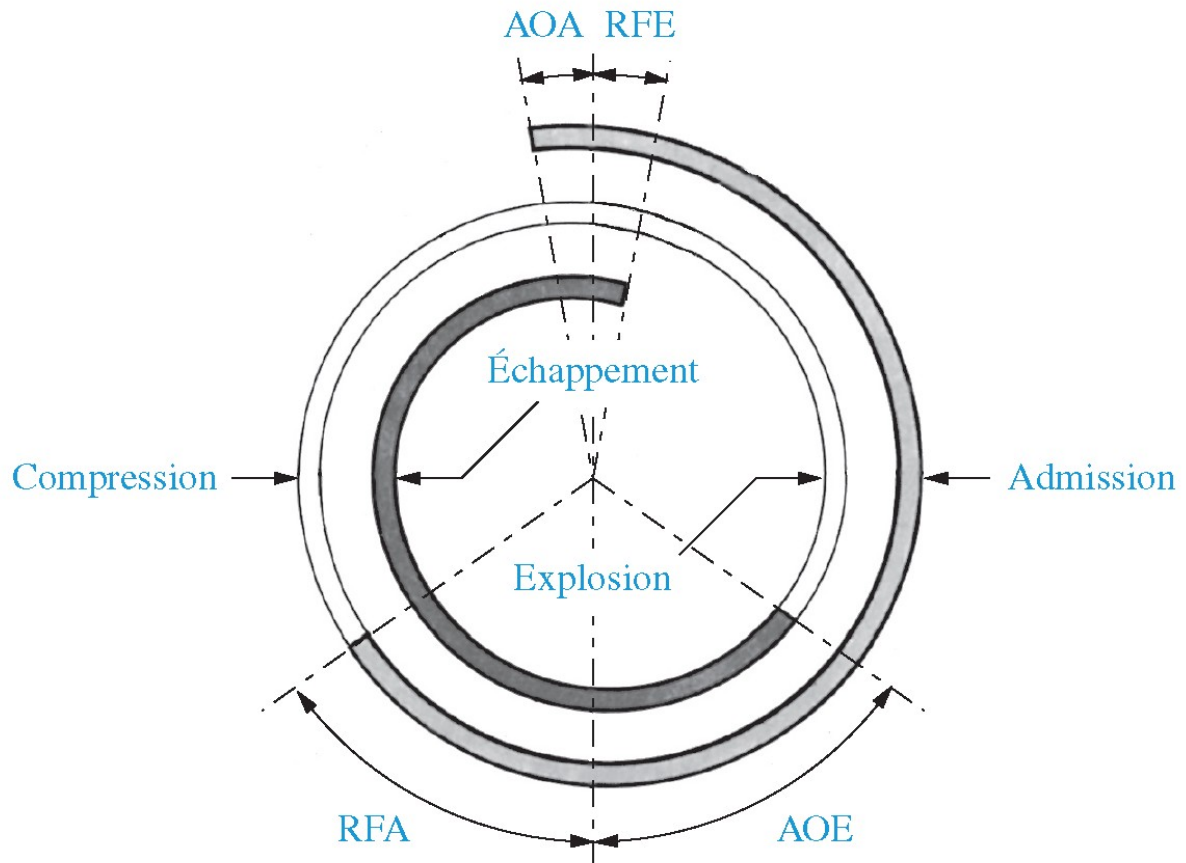


Figure 7 : Exemple d'épure de distribution.

Distribution

La distribution réside dans l'entraînement de l'arbre à cames à partir du vilebrequin.

Sur les moteurs Diesel utilisés en agriculture elle est assurée par une cascade de trois pignons :

- Un pignon monté généralement à force sur le vilebrequin ;
- Un pignon intermédiaire monté libre en rotation sur un axe démontable ;
- Un pignon monté serré sur l'arbre à cames.

La distribution à pignons a été choisie pour plusieurs raisons :

- Elle allie solidité et fiabilité car les pignons sont surdimensionnés ;
- Le bruit au niveau des dents n'est pas gênant sur un tracteur ;
- Le graissage indispensable qui nécessite un couvercle avec un joint d'étanchéité occasionne un surcoût relativement faible par rapport au prix de la machine ;

- Le jeu au niveau des dents est peu important comparativement aux vitesses de rotation faibles (2 000 à 2 500 tours/min maxi) du moteur ; le poids des pignons est un avantage pour un tracteur.

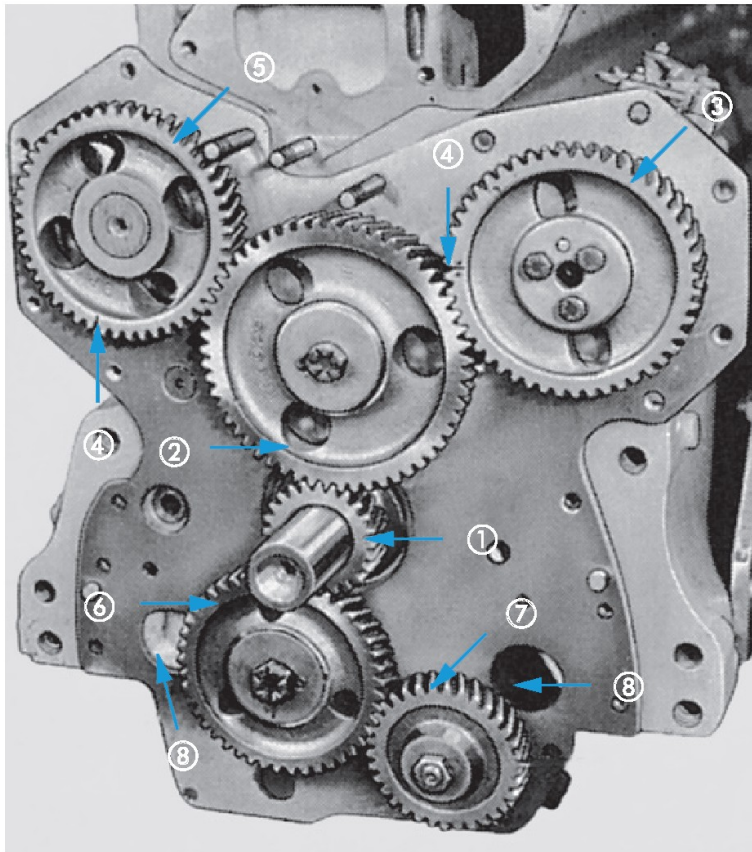
Le calage de la distribution consiste à synchroniser les mouvements des pistons et des soupapes les uns par rapport aux autres, tout simplement en positionnant le pignon du vilebrequin par rapport à celui de l'arbre à cames. Il suffit par exemple de :

- Mettre le cylindre n° 1 au PMH fin échappement puis tourner le vilebrequin en sens inverse du sens de marche normale d'un angle égal à l'angle d'avance à l'ouverture de la soupape d'admission ;
- Tourner l'arbre à cames dans son sens de rotation normale jusqu'au début d'ouverture de la soupape d'admission (repérable avec un comparateur) ;
- Remettre en place le pignon intermédiaire.

Pour éviter de réaliser ces opérations compliquées le constructeur dispose des repères (figures 8 et 9) sur le vilebrequin, le volant ou le bloc-moteur et sur les pignons (ex. : encoches, ergots, perçage pour introduction d'une pège...). Pour caler la distribution il suffit alors de connaître ces repères et de les disposer de la façon dont le constructeur les a prévus. Dans le cas d'un décalage d'une dent de pignon, le piston en remontant peut toucher les soupapes ouvertes : le moteur se bloque.

Le choc déforme les pièces au-delà de leur cote réparation et nécessite leur remplacement systématique. Par précaution il faut effectuer deux tours de vilebrequin à la main (soit un cycle) avant de démarrer le moteur pour s'assurer qu'il n'y a pas de blocage.

D'autres pignons supplémentaires peuvent être rajoutés à la distribution pour entraîner par exemple la pompe à huile du moteur située dans le carter, les arbres d'équilibrage du vilebrequin situés parallèlement à celui-ci, la pompe d'injection sur les moteurs Diesel.

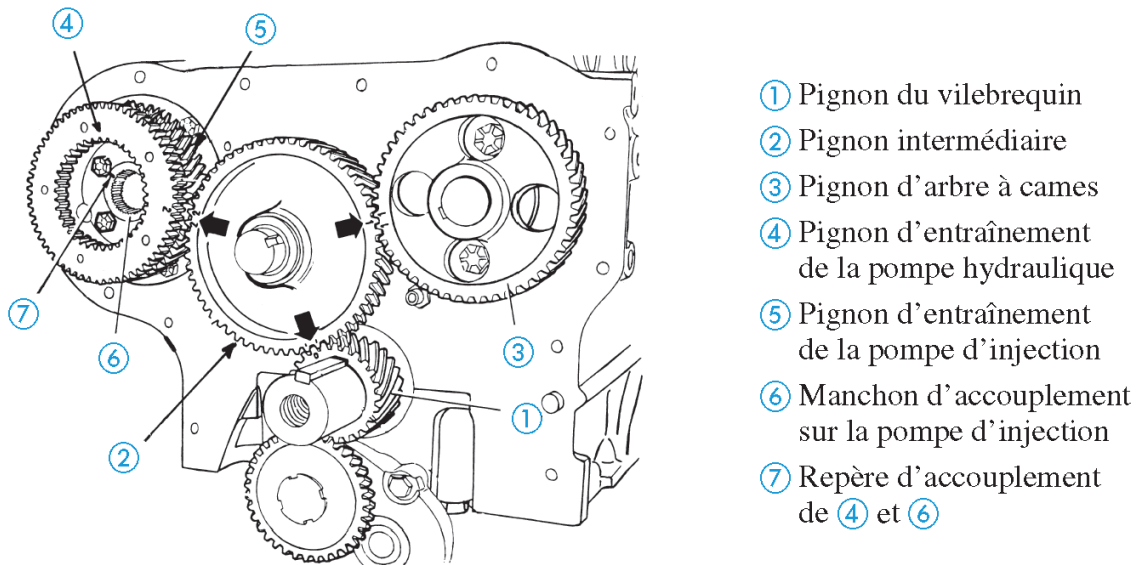


- ① Pignon du vilebrequin
- ② Pignon intermédiaire supérieur
- ③ Pignon de la pompe d'injection
- ④ Repères de calage
- ⑤ Pignon de l'arbre à cames
- ⑥ Pignon intermédiaire inférieur
- ⑦ Pignon de la pompe à huile
- ⑧ Emplacement des arbres d'équilibrage (non présents sur la photo)

Figure 8 Repérage d'une distribution à pignons sur moteur John Deere (distribution avec couvercle enlevé).

Méthode pour un moteur 4 cylindres :

- Mettre le cylindre n° 1 au PMH fin compression ;
- Disposer le repère 4 du pignon 3 dans l'axe des pignons 1 et 3 ;
- Disposer le repère 4 du pignon 4 dans l'axe des pignons 1 et 4 ;
- Remettre le pignon intermédiaire 2.



Méthode : les 3 flèches désignent les repères qui doivent être alignés.

Figure 9 : Repérage d'une distribution à pignons sur moteur Fiat.

Deux autres types de distribution existent (mais non utilisés sur les tracteurs) :

- Par chaîne : ce moyen est utilisé sur les véhicules automobiles à cause de sa solidité (en général pas de préconisation de remplacement périodique). En revanche elle nécessite un tendeur et un graissage par l'huile moteur (donc un couvercle étanche). Le coût d'installation élevé ainsi que les vibrations et le bruit de la chaîne explique un abandon progressif ;
- Par courroie plate crantée : elle présente des avantages et inconvénients opposés à la chaîne de distribution. Elle est plus légère, silencieuse. Elle ne nécessite pas de graissage et provoque très peu de vibrations. En revanche la longévité dépend de la résistance des brins internes constituant son armature qu'il est impossible de contrôler visuellement. C'est pourquoi il faut la changer (avec le tendeur) périodiquement suivant les préconisations du constructeur (tous les 60 000 à 80 000 km par exemple pour les véhicules automobiles).

Principalement à cause de son coût réduit elle est encore très utilisée sur les véhicules automobiles.

Graissage du moteur

L'huile stockée dans le carter moteur a plusieurs rôles :

- Lubrifier les pièces en mouvement en les enveloppant d'un film d'huile (couche d'huile de faible épaisseur) afin d'éviter tout contact métal sur métal ;
- Refroidir les pièces en mouvement en évacuant les calories lorsque l'huile est en contact avec la pièce. Certains moteurs peuvent être équipés d'un radiateur d'huile où cette dernière se refroidit ;
- Nettoyer le moteur de toutes les impuretés provenant de la combustion et assurer la longévité des pièces.

Pour cela l'huile doit circuler dans le moteur pour atteindre toutes les pièces en mouvement. Des canalisations d'huile sont donc usinées dans le bloc-moteur.

Comme dans tous les circuits, on trouve dans l'ordre de circulation les éléments suivants (figure 10).

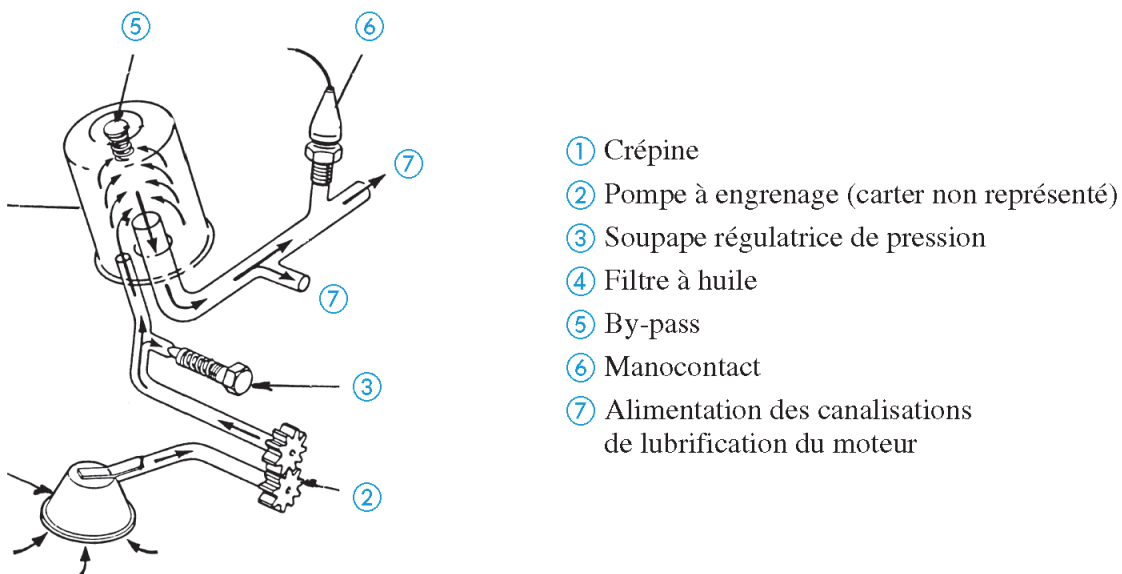
- i. Une *crépine d'aspiration (tamis métallique)* : elle est située dans le point le plus bas du carter. Elle retient les plus grosses impuretés. Son emplacement et la forme du carter moteur sont déterminants lors d'un travail sur un sol en pente. Les carters à fond plat sont à proscrire car la crépine risque de ne plus être dans l'huile dans une montée ou une descente importante. Il faut préférer un carter avec un fond en forme de V.
- ii. Une *pompe à engrenage (figure 11)* : elle assure l'aspiration et le refoulement de l'huile. Comme toute pompe elle fournit un débit. La pression dans le circuit résulte de la résistance à l'écoulement de l'huile. Elle est choisie pour sa simplicité et sa fiabilité.

Elle est constituée de deux pignons (surdimensionnés) s'engrenant mutuellement.

Le flux d'huile aspiré se divise en deux en remplissant les creux de dents, contourne chaque pignon avant d'être refoulé. Le contrôle visuel de cette pompe est difficilement réalisable. Bien que souvent rien ne soit cassé, les sommets des dents et les flasques s'usent. La pompe aura des fuites et son débit va diminuer. Pour contrôler efficacement la pompe il faudrait pouvoir fixer à sa sortie un manomètre, relever la pression d'huile à différents régimes moteur et vérifier si elle correspond aux données du constructeur.

La pompe à huile située dans le carter est généralement située à l'avant car entraînée par la distribution. Elle tourne donc en permanence avec le moteur. La longévité est équivalente à celle du moteur, voire supérieure. Elle ne nécessite aucun entretien.

En cas de remise à neuf d'un moteur, pour éviter tout risque il est préférable de la remplacer par une neuve et cela d'autant plus que son coût est faible par rapport aux autres pièces (sauf avis contraire du constructeur ou du concessionnaire).



- ① Crépine
- ② Pompe à engrenage (carter non représenté)
- ③ Soupape régulatrice de pression
- ④ Filtre à huile
- ⑤ By-pass
- ⑥ Manomètre
- ⑦ Alimentation des canalisations de lubrification du moteur

Source : John Derre.

Figure 10 : Schéma de principe du circuit de lubrification du moteur.

- ① Admission
- ② Refoulement
- ③ Partie jointive
- ④ Sens de rotation du pignon

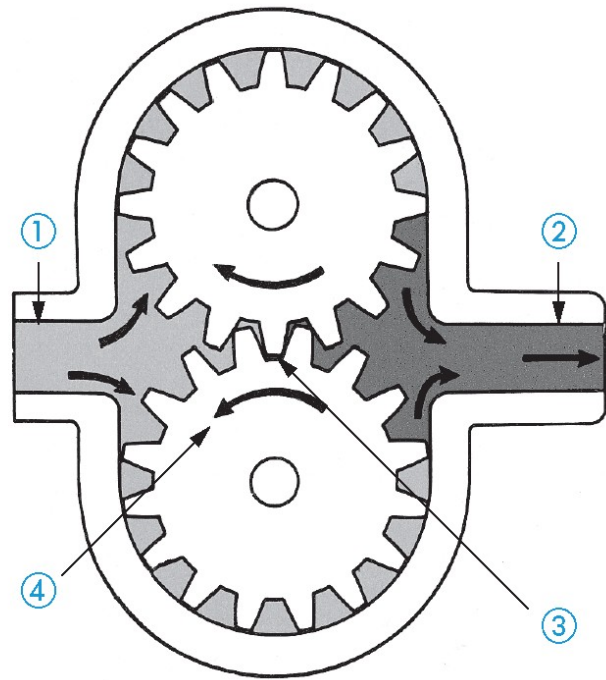


Figure 11 : Principe de fonctionnement d'une pompe à huile à engrenage.

- *La soupape régulatrice de pression* : elle est composée d'un pointeau maintenu sur un siège par un ressort de longueur réglable (soit par une vis filetée ou un emplacement de rondelles minces). En cas de colmatage du circuit la montée en pression qui en résulte soulève le pointeau. L'huile retourne directement au carter et la pompe est protégée. Pendant la marche normale du moteur elle sert à maintenir sous pression le circuit afin d'amener une circulation jusqu'à tous les points de graissage. Une pression insuffisante d'huile donc un mauvais graissage peut provenir de cette soupape. Elle doit être contrôlée si nécessaire et dans le cas de la remise à neuf du moteur (en branchant un manomètre sur la conduite d'huile).
- *Le filtre à huile* : il est chargé de retenir les impuretés contenues dans l'huile. Il doit être changé généralement à chaque vidange moteur (toutes les 200 à 400 heures suivant les préconisations). Il doit être serré à la main après avoir huilé son joint (le visser en butée puis tourner d'un demi à trois quarts de tour suivant les modèles).

Certains filtres possèdent un by-pass (clapet fermé normalement par un ressort) qui s'ouvre en cas de surpression et permet un passage direct de l'huile qui courtcircuite le filtre. Cela permet une continuité du graissage lorsque le filtre est bouché ;

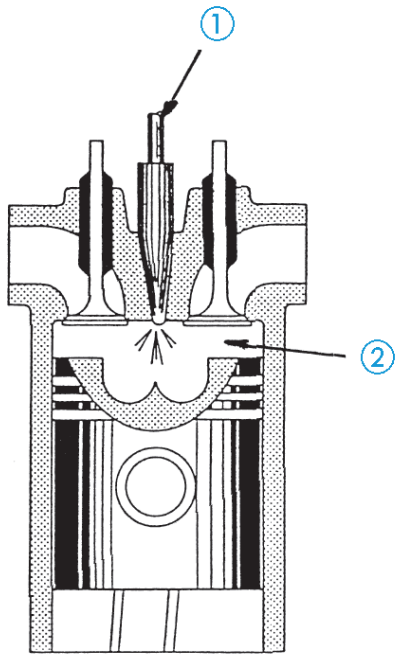
- *Le manocontact (figure 12)* : c'est un élément de sécurité indispensable. Il allume une lampe témoin de pression d'huile au tableau de bord lorsqu'il n'y a pas de pression (ou moteur à l'arrêt) et l'éteint lorsque l'huile est sous pression (moteur en marche). C'est en fait un interrupteur de mise à la masse de l'ampoule. Il est fermé en l'absence de pression et s'ouvre grâce à la pression d'huile (qui pousse une membrane souple). Si le manocontact a une seule borne de raccordement cela signifie que le deuxième pôle de l'interrupteur est relié à la masse (par le filetage).

D'autres manocontacts possèdent deux bornes correspondant aux deux pôles de l'interrupteur.

- *Des canalisations usinées dans le bloc-moteur* : elles conduisent l'huile aux points de graissage : paliers de vilebrequin, arbre à cames, culbuteurs, distribution... Pour graisser les têtes de bielle, l'huile passe dans des canalisations percées dans le vilebrequin à partir des paliers du vilebrequin. Les conduits doivent rester propres et ne pas se colmater : c'est pour cela qu'il faut choisir l'huile préconisée par le constructeur. Le retour de l'huile depuis le haut du moteur s'effectue par le logement des tiges de culbuteurs (par gravité).

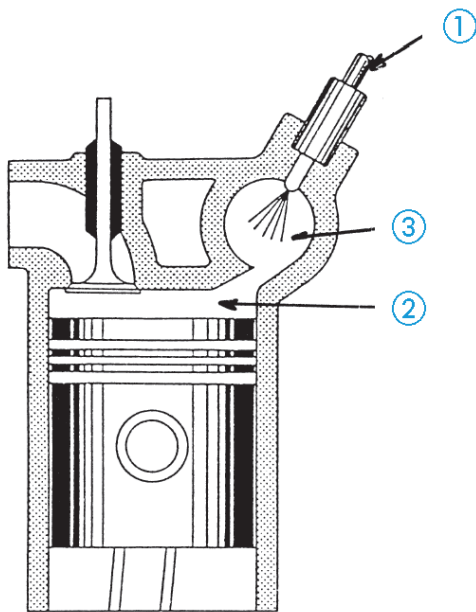
Injection diesel

Sur les moteurs Diesel (contrairement au moteur essence), le gasoil n'est pas mélangé à l'air. Le gasoil est injecté en très fines gouttelettes (ou pulvérisé) dans le cylindre au moment même où il doit brûler, appelé « point d'injection ». Ce point d'injection est repéré par un angle d'avance à l'injection en degrés (sous-entendu par rapport au PMH du piston fin compression). La combustion a lieu sans étincelle car le gasoil est pulvérisé dans de l'air suffisamment comprimé et chaud. On parle d'auto-allumage par compression. Suivant l'endroit où est pulvérisé le gasoil on distingue deux types d'injection (figure14).

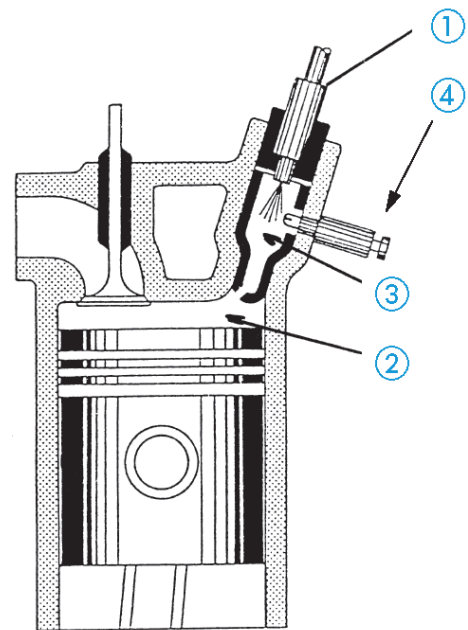


- ① Injecteur
- ② Chambre de combustion
- ③ Préchambre
- ④ Bougie de chauffe

Injection directe



**Injection indirecte
avec préchambre de turbulence**



**Injection indirecte
avec préchambre de combustion**

Figure 14 : Les types d'injection Diesel.

- *L'injection directe* : le gasoil est pulvérisé directement dans le cylindre par l'injecteur. La partie supérieure du piston a une forme particulière afin d'augmenter la turbulence de l'air, donc de favoriser le contact air-gasoil pour une combustion la plus complète possible. L'injection directe est utilisée sur les moteurs Diesel de machines agricoles, camions et automobiles TDI. Elle présente plusieurs particularités :

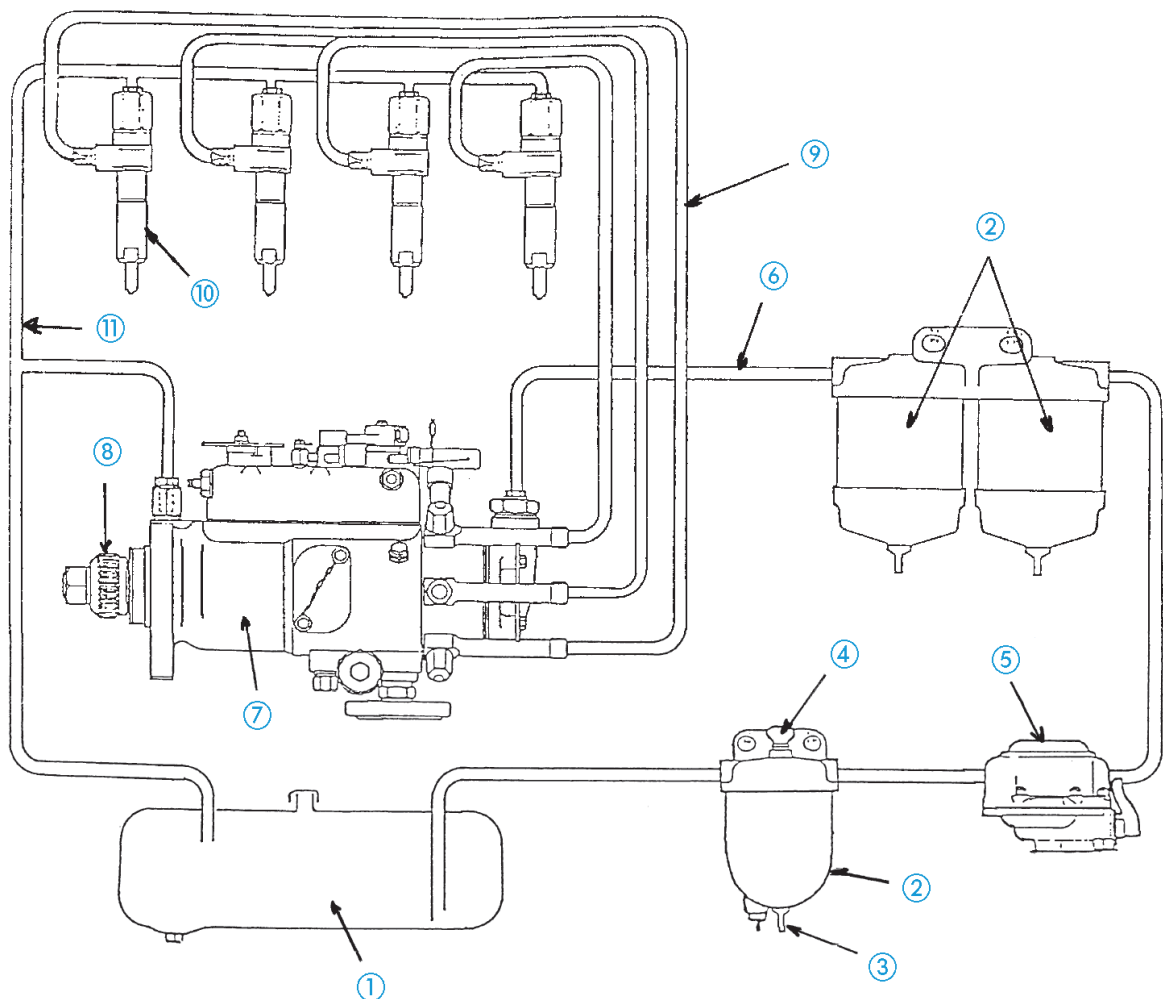
- i. À cause de la forme compacte du volume de la chambre de combustion, cette combustion a un bon rendement et la consommation en carburant est moindre ;
- ii. Le moteur est bruyant car la combustion, donc la montée en pression, est très rapide ;
- iii. Le démarrage à froid est facilité par la surface réduite de la chambre de combustion (un minimum de surface froide). Ces moteurs ne disposent (pour les moteurs de tracteur) que d'une bougie de chauffe (résistance chauffante) dans la pipe d'admission avec une arrivée de gasoil (*voir plus loin* thermostat, figure 27).

L'injection directe a toujours équipé les moteurs de tracteurs pour lesquels les conditions d'utilisation varient peu. Un tracteur travaille toujours avec un régime proche du régime maximal et très peu de variations. L'injection directe sur les moteurs automobiles ne fut mise au point que très récemment car le moteur doit être puissant, nerveux, économe en carburant, peu polluant, fiable... et cela sur une plage de régime environ deux à trois fois plus grande.

- *L'injection indirecte* : le gasoil est injecté dans une préchambre dite de turbulence ou de pré-compression creusée dans la culasse. La combustion est plus étalée dans le temps car elle commence dans la préchambre pour se poursuivre dans la chambre de combustion. La montée en pression est moins brutale et le moteur moins bruyant. En revanche la combustion est moins complète et la consommation du moteur est supérieure à l'injection directe. Le démarrage du moteur à froid est plus difficile car l'air est en contact avec une surface froide plus importante. Cela nécessite une bougie de préchauffage par cylindre dont l'extrémité est positionnée à proximité du jet de gasoil. Ce type d'injection est surtout répandu sur les véhicules automobiles à cause d'un bruit moindre.

Le circuit de gasoil se divise en deux (figure 15) :

1. un circuit dit à basse pression (quelques bars) dû à la pompe à membrane ;
2. un circuit dit à haute pression (environ 200 bars et plus) alimenté par une pompe d'injection.



- | | | |
|----------------------|-------------------------------------|---------------------------|
| ① Réservoir | ⑤ Pompe d'amorçage à membrane | ⑨ Conduite haute pression |
| ② Filtre à gasoil | ⑥ Conduite basse pression | ⑩ Injecteur |
| ③ Vis de purge d'eau | ⑦ Pompe d'injection rotative | ⑪ Retour de fuites |
| ④ Vis de purge d'air | ⑧ Pignon d'entraînement de la pompe | |

Figure 15 : Le circuit de gasoil (pour moteur 4 cylindres).

Circuit à basse pression

Il comprend :

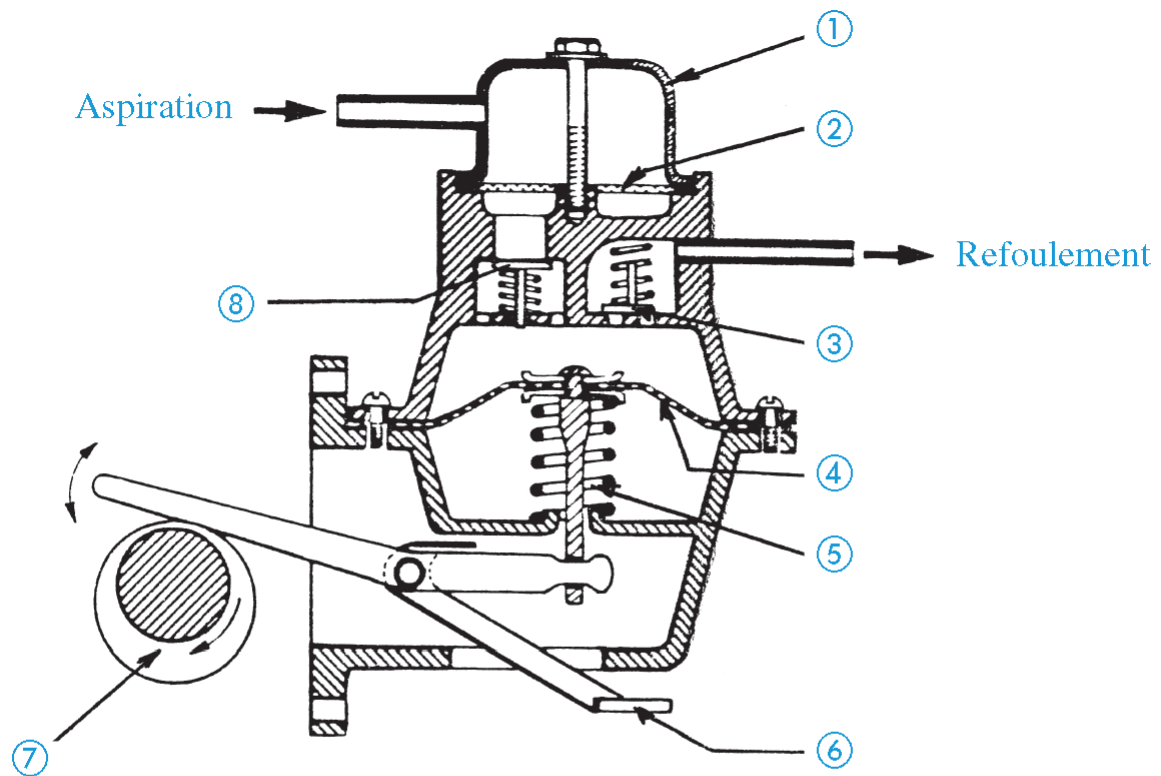
- *Le réservoir de gasoil* : initialement fabriqué en tôle d'acier, il est de plus en plus souvent constitué en matière plastique dont la température varie moins, réduisant ainsi les phénomènes de condensation. Pour la même raison un réservoir doit toujours être rempli au maximum (pour contenir un minimum d'air chargé de vapeur d'eau). Le chauffeur doit donc effectuer le plein en fin de journée plutôt que le matin avant de partir (la condensation est plus importante la nuit quand la température diminue). À la sortie le réservoir est équipé d'un filtre et d'un robinet de fermeture. Le bouchon comporte un orifice de mise à l'air (vérifier en cas de problème qu'il n'est pas colmaté) ;

- *Une pompe d'alimentation (figure 16).* Un bossage supplémentaire sur l'arbre à cames entraîne par l'intermédiaire d'un levier une membrane. Lorsque la membrane descend grâce au levier la pompe aspire du carburant au travers du clapet d'aspiration. Un ressort de rappel pousse la membrane vers le haut et refoule le carburant au travers du clapet de refoulement. Si le circuit en aval ne consomme pas de gasoil la membrane reste en position basse bien que le levier soit toujours actionné (cela est possible grâce à la forme particulière de l'extrémité du levier).

La membrane refoule, sous l'effet du ressort, une quantité égale à celle consommée par le circuit en aval puis redescend grâce au levier et ainsi de suite. Ce montage particulier permet à la pompe d'avoir un débit égal à la consommation du moteur quel que soit son régime de rotation.

La pompe dispose d'un levier d'amorçage manuel permettant la purge du circuit en cas de panne « sèche » et de changement de filtres. Il peut arriver que la membrane se fissure. Dans ce cas le circuit n'est plus alimenté et le moteur s'arrête. Le gasoil peut aussi traverser la membrane puis tomber dans le carter moteur après être passé par le logement de l'arbre à cames. Le niveau d'huile moteur monte anormalement.

- *Deux filtres à gasoil (ou de plus en plus un seul).* Il s'agit généralement de deux filtres identiques pour raison économique comprenant chacun une cartouche avec des empilements de papier comme élément filtrant. Ils sont munis d'une vis de purge en partie inférieure pour éliminer l'eau qui s'y accumule (l'eau est plus dense que le gasoil) et d'une deuxième vis de purge en partie haute pour éliminer l'air qui pourrait se trouver dans le circuit (lors d'un remplacement des filtres ou d'une panne « sèche »). Les constructeurs préconisent un changement des filtres toutes les 800 à 1 000 heures.



- | | |
|-------------------------|---------------------------------|
| ① Couvercle | ⑤ Ressort de rappel |
| ② Tamis filtre | ⑥ Levier d'amorçage manuel |
| ③ Clapet de refoulement | ⑦ Excentrique sur arbre à cames |
| ④ Membrane | ⑧ Clapet d'aspiration |

Figure 16 : Pompe d'alimentation à membrane.

Circuit à haute pression

Il comprend une pompe d'injection alimentée en gasoil par le circuit basse pression.

Son rôle est de doser la quantité de gasoil nécessaire à une explosion puis de distribuer les doses aux cylindres, au bon moment et dans le bon ordre (c'est-à-dire l'ordre d'allumage).

La haute pression du gasoil à la sortie de la pompe est due aux injecteurs.

La pompe d'injection est entraînée par un pignon qui s'engrène sur le pignon intermédiaire de distributeur. Quel que soit le modèle de pompe, une rotation d'un tour permet de doser et distribuer une dose de carburant pour chaque cylindre du moteur. Les pompes d'injection dites en lignes sont les plus anciennes et sont surtout utilisées par quelques constructeurs (principalement les constructeurs allemands car la marque Bosch est aussi d'origine allemande). Les pompes d'injection rotatives sont utilisées pour les tracteurs de faible et moyenne puissance. Ces deux types de pompe ont un niveau de fiabilité similaire. Le choix de l'un ou de l'autre des deux types est fait par le constructeur. Il existe principalement deux

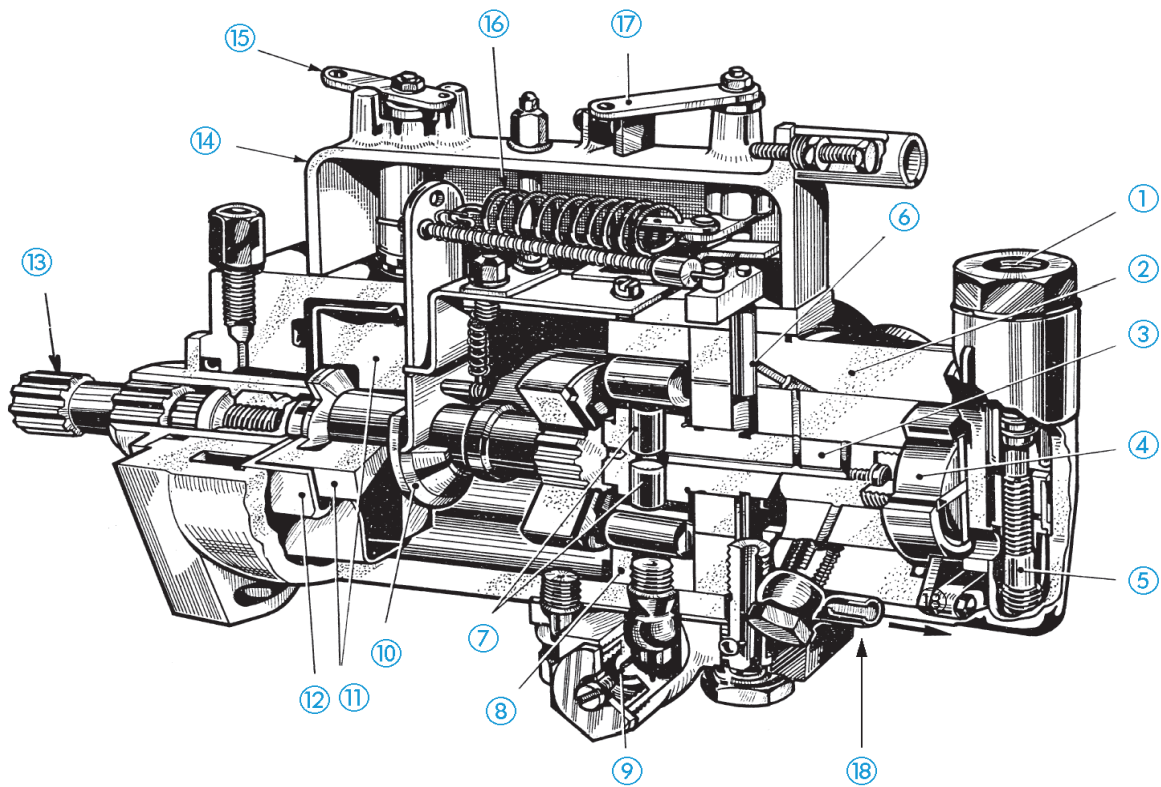
fabricants de pompe d'injection : Bosch d'origine allemande (pour les deux types) et Lucas-Cav. Roto Diesel d'origine franco-anglaise (fabriquant de pompes rotatives).

Les pompes d'injection rotatives Roto-Diesel (figures 17 et 18) sont constituées d'un corps de pompe cylindrique, à l'intérieur duquel tourne un rotor. Le pignon d'entraînement est fixé à l'avant du rotor. L'arrivée du gasoil s'effectue en partie arrière. Une pompe de transfert à palettes assure une alimentation régulière, la mise en pression interne grâce à la présence d'une soupape régulatrice et le remplissage du corps de pompe. Toutes les pièces entraînées sont immergées dans du gasoil ce qui assure leur lubrification. Pendant la phase de remplissage, le gasoil sous pression (pression de transfert due à la pompe à palettes) passe dans la rainure de la soupape de dosage puis remplit l'intérieur du rotor. Il refoule les deux pistons vers l'extérieur. La rotation de la soupape de dosage permet d'augmenter ou diminuer la section de passage du carburant au niveau de la rainure donc le débit de gasoil et par conséquent le volume de gasoil que pourront refouler les pistons.

Pendant cette phase le rotor et les galets tournent. Lorsque ces derniers arrivent sur un bossage de l'anneau à cames, les deux pistons se rapprochent et refoulent le volume de gasoil précédemment admis (bien que leur course soit constante).

Le rotor ayant tourné, sa canalisation centrale se trouve en face d'une sortie et la dose de gasoil alimente un injecteur.

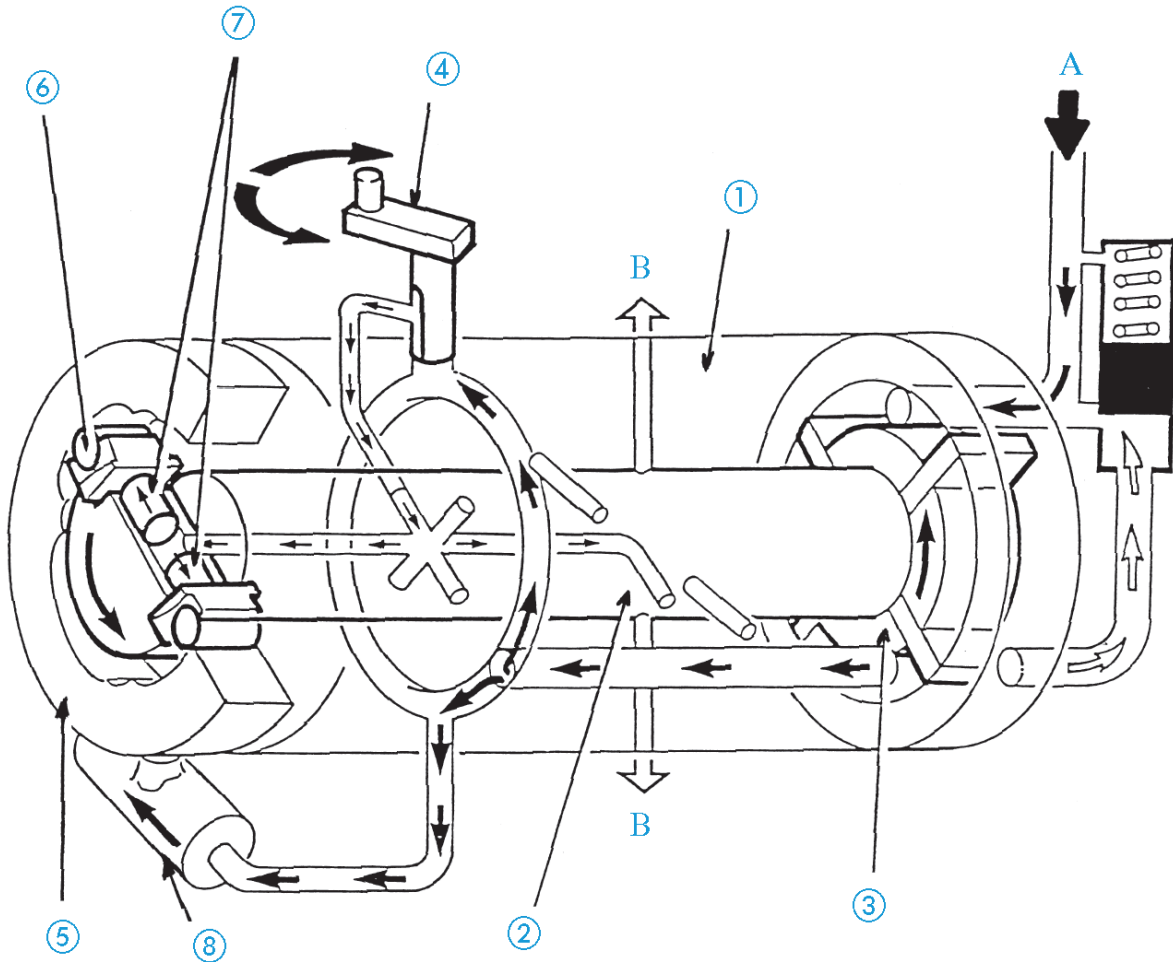
Le gasoil sous pression (pression de transfert) alimente un vérin situé en partie inférieure. L'avancement de la tige contrôlé par un ressort interne fait tourner l'anneau à cames. Cela permet de rapprocher les bossages de l'anneau à cames par rapport aux pistons donc d'avancer le moment où le gasoil est refoulé. C'est donc un correcteur d'avance à l'injection qui modifie le point d'injection proportionnellement à la pression de transfert, c'est-à-dire proportionnellement au régime moteur.



- ① Arrivée du gasoil (circuit basse pression)
- ② Tête hydraulique
- ③ Rotor
- ④ Pompe de transfert à palettes
- ⑤ Soupape régulatrice
- ⑥ Soupape de dosage
- ⑦ Piston
- ⑧ Anneau à cames
- ⑨ Dispositif correcteur d'avance à l'injection
- ⑩ Manchon (déplacé en translation par les masselottes)
- ⑪ Masselottes
- ⑫ Cage support des masselottes
- ⑬ Support de fixation du pignon d'entraînement (non représenté)
- ⑭ Capot
- ⑮ Levier de stop
- ⑯ Ressort de régulation
- ⑰ Levier d'accélérateur
- ⑱ Sortie haute pression vers un injecteur

Source : Technologie moteur Foucher.

Figure 17 : Vue en coupe d'une pompe d'injection rotative Roto-Diesel.



- | | |
|--|-----------------------|
| ① Tête hydraulique (ou corps de pompe) | ⑤ Anneau à cames |
| ② Rotor | ⑥ Galet |
| ③ Pompe de transfert à palettes | ⑦ Piston |
| ④ Soupape de dosage | ⑧ Correction d'avance |
- A : Arrivée de gasoil
B : Sortie de gasoil

Figure 18 : Principe d'une pompe d'injection rotative Roto-Diesel (en phase alimentation).

La position de la soupape de dosage détermine le débit du gasoil donc le volume de la dose qui sera refoulé par les deux pistons, puis injecté dans le cylindre. Elle est commandée par un système de biellettes et ressorts sur lequel intervient :

1. Le levier ou la pédale d'accélérateur : lorsque l'on accélère on exerce une traction sur le ressort qui ouvre d'avantage la soupape et augmente le débit de gasoil (le moteur tournera plus vite) ;
2. Un régulateur à masselottes solidaire du rotor (il tourne donc comme le rotor à mi-régime du moteur). Lorsque le moteur s'accélère suite au déplacement de la manette d'accélérateur l'augmentation de la force centrifuge sur les masselottes les éloigne de

leur axe et referme la soupape. Une situation d'équilibre est trouvée grâce au système ressort et biellette. Le régime moteur est donc constant.

En l'absence de régulateur, avec une commande directe de la soupape, toute accélération du chauffeur se traduirait par un emballement infini du moteur (les doses augmentent, le moteur tourne plus vite, le rotor tourne plus vite, les explosions sont de plus en plus rapprochées dans le cylindre...).

Bonus : Illustrations des Outils (disponible dans le PDF)

- Charrue à disques
- Houe vs daba
- Pulvérisateur à pression préalable
- Moissonneuse-batteuse

TP proposé : Identification des Outils et Simulation d'Utilisation

Objectifs pédagogiques :

- Identifier des outils agricoles locaux.
- Proposer leur usage par culture et par saison.

Activités :

1. Présentation de 10 outils (réels ou en photo).
2. Questionnaires : nommer, décrire l'usage, indiquer la culture associée.
3. Atelier de démonstration : sarclage à la houe, semis au plantoir.

Documents disponibles sur demande :

- PDF illustré imprimable du cours
- Fiche de synthèse par module
- Diaporama PowerPoint
- TP/TD de terrain à imprimer