

Les machines agricoles

Conduite et entretien

3^e édition

Chez le même éditeur

Index des prix et des normes agricoles 2014-2015

École d'Ingénieurs de Purpan, 25^e édition, 2014

Les filières animales françaises – Caractéristiques, enjeux et perspectives

M.-P. Ellies, Bordeaux Sciences Agro, 2014

Les filières animales françaises – Chiffres-clés (édition 2014)

M.-P. Ellies, S. Papillon, Bordeaux Sciences Agro, 2014

Produits de protection des plantes – Innovation et sécurité pour une agriculture durable

C. Renault-Roger, 2014

Le guide de l'éleveur de chèvres – De la maîtrise à l'optimisation du système de production

M. Pradal, 2014

La transformation fromagère caprine fermière – Bien fabriquer pour mieux valoriser son fromage de chèvre

M. Pradal, 2012

Semences et plants

J. Maciejewski, 2^e édition, 2013

Multiplication des plantes horticoles

D. Bouthrin, G. Bron, 3^e édition, 2013

Méthodes expérimentales en agronomie – Pratique et analyse

M. Vilain, 2^e édition, 2012

Gestion de l'exploitation agricole – Éléments pour la prise de décision à partir de l'étude de cas concrets

M. Gaudin, C. Jaffrès, A. Rethore, 3^e édition, 2011

Zootecnie générale

J.-P. Barret, 3^e édition, 2011

La production en pépinière

P. Michelot, 2010

La production sous serres

L. Urban, I. Urban, 2^e édition, 2010



Les machines agricoles

Conduite et entretien

3^e édition

Philippe Lerat

Ingénieur des Travaux agricoles

Inspecteur pédagogique en Sciences et Techniques des Agroéquipements

Professeur certifié de Machinisme agricole au Lycée d'enseignement général
et technologique agricole Étienne-Munier, Vesoul

Direction éditoriale : Fabienne Roulleaux

Édition : Brigitte Peyrot

Fabrication : Estelle Perez-Le Du

Composition et couverture : Patrick Leleux PAO, Caen

Impression et brochage : Laballery, Clamecy

© 2015, Lavoisier, Paris
ISBN : 978-2-7430-1572-5

Table des matières

Introduction	XV
--------------------	----

Partie 1

Technologie générale

Chapitre 1

Électricité – Électronique

1. Définition – Caractéristiques du courant	3
2. Effets du courant électrique	4
3. Production du courant électrique	5
4. Circuit électrique : principe de base	6
5. Dipôles en courant continu	6
5.1. Résistance	7
5.2. Rhéostat	8
5.3. Potentiomètre	8
5.4. Condensateur	8
5.5. Solénoïde	9
5.6. Transformateur	9
6. Circuit électronique	9
6.1. Diode	10
6.2. Diode Zener	13
6.3. Diode électroluminescente	13
6.4. Transistor	13
6.5. Thyristor	14
6.6. Diac	14
6.7. Triac	14
7. Capteurs électroniques	14
7.1. Interrupteur mécanique	15
7.2. Interrupteur à lame souple (ILS)	16
7.3. Capteur inductif à réluctance variable (résistance et inductance variable)	16
7.4. Capteur inductif à courant de Foucault	16
7.5. Capteur à effet Hall	17
7.6. Capteur à quartz piézo-électrique	18
7.7. Capteur de niveau à bille	18
7.8. Potentiomètre linéaire ou rotatif	18

7.9. Capteur de position à magnéto-résistance	18
7.10. Capteur à jauge de contrainte	20
7.11. Capteur de position inductif	21
7.12. Capteur d'effort	22
7.13. Radar	22
7.14. Thermocouple	22
7.15. Débitmètre	23
7.16. Capteur optique	23
7.17. Capteur capacitif	23
8. Courant alternatif	23
9. Réseau EDF	27
10. Installations électriques : dispositifs de sécurité	28
10.1. Cartouche fusible	28
10.2. Disjoncteur thermique	28
10.3. Dispositif différentiel et prise de terre	31
11. Composition d'une installation électrique	32
12. Moteur électrique en courant alternatif	37

Chapitre 2

Circuit hydraulique

1. Réservoir d'huile	44
2. Pompe	44
2.1. Pompe à engrenage (à denture extérieure)	44
2.2. Pompe à pistons radiaux	46
2.3. Pompe à pistons axiaux	48
3. Distributeur	49
4. Récepteurs	51
5. Autres éléments du circuit	54

Chapitre 3

Soudage

1. Introduction, classification	63
2. Soudage à l'arc électrique	64
2.1. Électrodes enrobées	65
2.2. Poste de soudage	67
2.3. Réglage du poste à souder	69
2.4. Principales positions de soudage	70
2.5. Protection et équipement du soudeur	72
3. Soudage semi-automatique	73
4. Soudage oxyacétylénique	75
4.1. Bouteille de gaz	75
4.2. Manodétendeurs	77
4.3. Canalisations	77
4.4. Chalumeaux soudeurs	78
4.5. Utilisation et réglage de la flamme	79

4.6. Mode opératoire en soudage autogène	81
4.7. Mode opératoire en soudo-brasage (soudage hétérogène)	81
4.8. Mode opératoire en brasage	82

Chapitre 4

Résistance des matériaux

1. Traction	83
1.1. Classification des métaux	84
1.2. Classes de boulonnerie	85
1.3. Coefficient de sécurité	86
2. Compression	86
3. Cisaillement	87
4. Torsion	88
5. Flexion	90

Chapitre 5

Boulonnerie

Chapitre 6

Chaîne cinématique

1. Transmission par pignons	99
2. Transmission par chaîne	100
3. Transmission par courroies	101
4. Transmission par cardan	102

Partie 2

Le tracteur

Chapitre 7

Moteur 4 temps

1. Composition du moteur	109
1.1. Bloc-moteur	109
1.2. Pistons	109
1.3. Bielles	112
1.4. Vilebrequin	112
1.5. Arbre à cames	113
1.6. Culasse	113
1.7. Carter	113
1.8. Volant moteur et masses d'équilibrage	114
2. Caractéristiques du moteur	115
3. Fonctionnement du moteur à 4 temps	116
3.1. Admission	116

3.2. Compression	117
3.3. Explosion-détente	117
3.4. Échappement	118
4. Distribution	119
5. Graissage du moteur	121
6. Injection Diesel	125
6.1. Circuit à basse pression	127
6.2. Circuit à haute pression	129
7. Systèmes d'aide au démarrage	141
8. Refroidissement du moteur	143
8.1. Refroidissement liquide	143
8.2. Refroidissement par air	149
9. Turbocompresseur	150
10. Batterie	152
10.1. Description	152
10.2. Caractéristiques d'une batterie	152
10.3. Polarité d'une batterie et branchement	152
10.4. Utilisation	155
11. Circuit de démarrage	156
12. Circuit de charge	158
13. Performances du moteur	163
14. Équipements moteur antipollution	166
14.1. Normes d'émissions polluantes	166
14.2. Injection haute pression	167
14.3. Turbocompresseur à géométrie variable	168
14.4. Système EGR (Exhaust Gaz Recirculation)	170
14.5. Filtre à particules	171
14.6. Pot d'échappement catalytique	171
14.7. Gazole non routier	173
14.8. SCR (Selectiv Catalytic Reduction)	173
14.9. Solutions des constructeurs	174

Chapitre 8

Transmissions

1. Transmissions mécaniques	177
1.1. Embrayage	177
1.2. Boîte de vitesse	184
1.3. Boîtes de vitesse à variation continue	192
1.4. Couple conique	194
1.5. Différentiel	194
1.6. Réductions finales	197
2. Transmissions hydrauliques	199
2.1. Coupleur hydrocinétique	200
2.2. Convertisseur de couple	201
2.3. Transmission hydrostatique	202

*Chapitre 9***Relevage hydraulique**

1. Présentation – Types de circuit	207
2. Relevage mécanique	211
3. Relevage électronique	215

*Chapitre 10***Prises de puissances**

1. Prises hydrauliques	219
2. Prises de force	219

*Chapitre 11***Freins**

1. Frein à sangle	223
2. Frein à billes	223
3. Freins à tambour	225
4. Frein à disque	226

*Chapitre 12***Pont avant***Chapitre 13***Pneumatiques**

1. Marquage du pneu	231
2. Dimensions et caractéristiques d'un pneumatique	234

*Chapitre 14***Climatisation**

1. Compresseur	243
2. Condenseur	243
3. Filtre déshydrateur	243
4. Soupape de détente ou valve d'expansion	244
5. Évaporateur	244
6. Thermostat	244

*Chapitre 15***Lubrifiants**

1. Viscosité	247
2. Niveau de performance	248
3. Lubrifiants moteur	248
3.1. Viscosité des lubrifiants moteur	248

3.2. Niveau de performances	249
4. Lubrifiants pour transmission mécanique	252
4.1. Viscosité des huiles pour transmissions	252
4.2. Niveau de performances (tableau 15-VI)	252
5. Lubrifiants pour transmission hydraulique	252
5.1. Viscosité (tableau 15-VII)	254
5.2. Niveau de performance (tableau 15-VIII)	254
6. Graisses	255

Partie 3

Machine agricole

Chapitre 16

Charrues

1. Labour avec charrue à socs	259
2. Principales pièces de la charrue	260
3. Classification des charrues	264
4. Réglages de la charrue	268
5. Sécurités	270
6. Évolutions des charrues	273

Chapitre 17

Outils de travail du sol

1. Classification	277
2. Outils à dents	277
2.1. Sous-soleuse	277
2.2. Décompacteur	278
2.3. Chisel	279
2.4. Cultivateur	279
2.5. Herses	281
3. Outils animés par la prise de force	282
3.1. Herse rotative	282
3.2. Herse alternative	286
3.3. Cultivateur à axe horizontal	288
4. Pulvérisateur à disques	289
5. Rouleaux	291
6. Équipements complémentaires du tracteur	293

Chapitre 18

Semoirs

1. Semoirs en ligne mécanique	298
1.1. Trémie	298

1.2. Système de distribution	299
1.3. Système de transport et d'enterrage	302
1.4. Système de recouvrement	302
1.5. Équipements optionnels	302
1.6. Réglage du semoir	303
2. Semoirs en ligne pneumatiques	306
2.1. Semoirs pneumatiques à distribution centralisée	306
2.2. Semoirs pneumatiques à multidistribution	309
3. Semoirs monograines	310
3.1. Trémie	311
3.2. Distribution	312
3.3. Organes d'enterrage	318
3.4. Autres équipements complémentaires	319

Chapitre 19

Épandeurs d'engrais

1. Épandeurs par gravité	322
1.1. Épandeurs en nappe ou à coffre	322
1.2. Épandeurs à vis sans fin	324
2. Épandeurs centrifuges	325
2.1. Épandeurs centrifuges à tube oscillant	325
2.2. Épandeurs centrifuges à disques	326
2.3. Réglage des épandeurs centrifuges	327
3. Épandeurs pneumatiques	330

Chapitre 20

Pulvérisateur à jets projetés

1. Cuve	335
2. Filtres	336
3. Pompes	336
3.1. Pompes à membrane	337
3.2. Pompes à pistons	337
3.3. Pompes à piston-membrane	340
3.4. Pompes centrifuges	340
4. Distributeurs et vannes	341
5. Buses	343
6. Régulation	346
6.1. Pulvérisateurs DC (débit constant)	346
6.2. Pulvérisateur DPM (débit proportionnel au régime moteur)	348
6.3. Pulvérisateurs DPA (débit proportionnel à la vitesse d'avancement)	349
7. Manomètre	352
8. Rampes	353
9. Réglage du pulvérisateur	356
10. Lutte antidérive	358
11. Évolution des pulvérisateurs	363

Chapitre 21

Moissonneuse-batteuse

1. Organes de coupe	365
2. Organes de battage	367
3. Organes de séparation	368
4. Organes de nettoyage	369
5. Trémie	371
6. Moteur	371
7. Transmission	372
8. Circuit hydraulique	374
9. Équipements électroniques	374
10. Évolution de la moissonneuse-batteuse : les modèles non conventionnels	381
10.1. Séparateur rotatif (New Holland, Deutz Fahr...)	382
10.2. Modèle à séparation rotative à double flux : série TF (twin-flow) de New Holland	382
10.3. Modèle à cylindres multiples (CS Claas)	382
10.4. Modèle à battage et séparation axiale	382
10.5. Modèle à séparation axiale	385
11. Adaptation aux récoltes	387
11.1. Céréales à paille	389
11.2. Colza	390
11.3. Maïs	390
11.4. Tournesol	392
11.5. Soja	394

Chapitre 22

Liaison tracteur-outil

1. Rappels : notions de statique	395
1.1. Système	395
1.2. Force	395
1.3. Moment	396
1.4. Équilibre d'un système	396
2. Équilibre du tracteur seul	396
3. Équilibre du tracteur avec masses avant	398
4. Équilibre du tracteur avec outil porté en position haute	399
5. Équilibre du tracteur avec remorque semi-portée	400
6. Équilibre du tracteur avec effort horizontal	400
7. Équilibre du tracteur avec effort oblique	402
7.1. Outil utilisé en contrôle de position ou contrôle d'effort	402
7.2. Outil utilisé avec le relevage en position flottante	406
8. Adhérence et effort de traction	408
8.1. Notion d'adhérence sur sol dur indéformable	408
8.2. Effort de traction	408
9. Utilisation de la puissance	410
9.1. Puissance perdue par roulement	410

9.2. Puissance à la barre	411
9.3. Puissance perdue par glissement	411
9.4. Puissance à la roue	412
10. Optimisation de la puissance	412
Conclusion	415
Bibliographie	417
Index	419

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) car détaxé pour des utilisations agricoles. Le moteur est dit à combustion interne car la combustion du carburant a lieu dans le moteur lui-même.

1. Composition du moteur (figure 7-1)

1.1. Bloc-moteur

C'est la pièce centrale du moteur. Elle est fabriquée d'une seule pièce en fonderie (coulée dans un moule) puis usinée 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 essieux avant et arrière et supporte donc des efforts importants. Quelques constructeurs installent un châssis sur lequel le moteur est fixé au moyen de « *silents blocs* » (comme une automobile). Il comporte des galeries où circulent le liquide de refroidissement et l'huile du moteur.

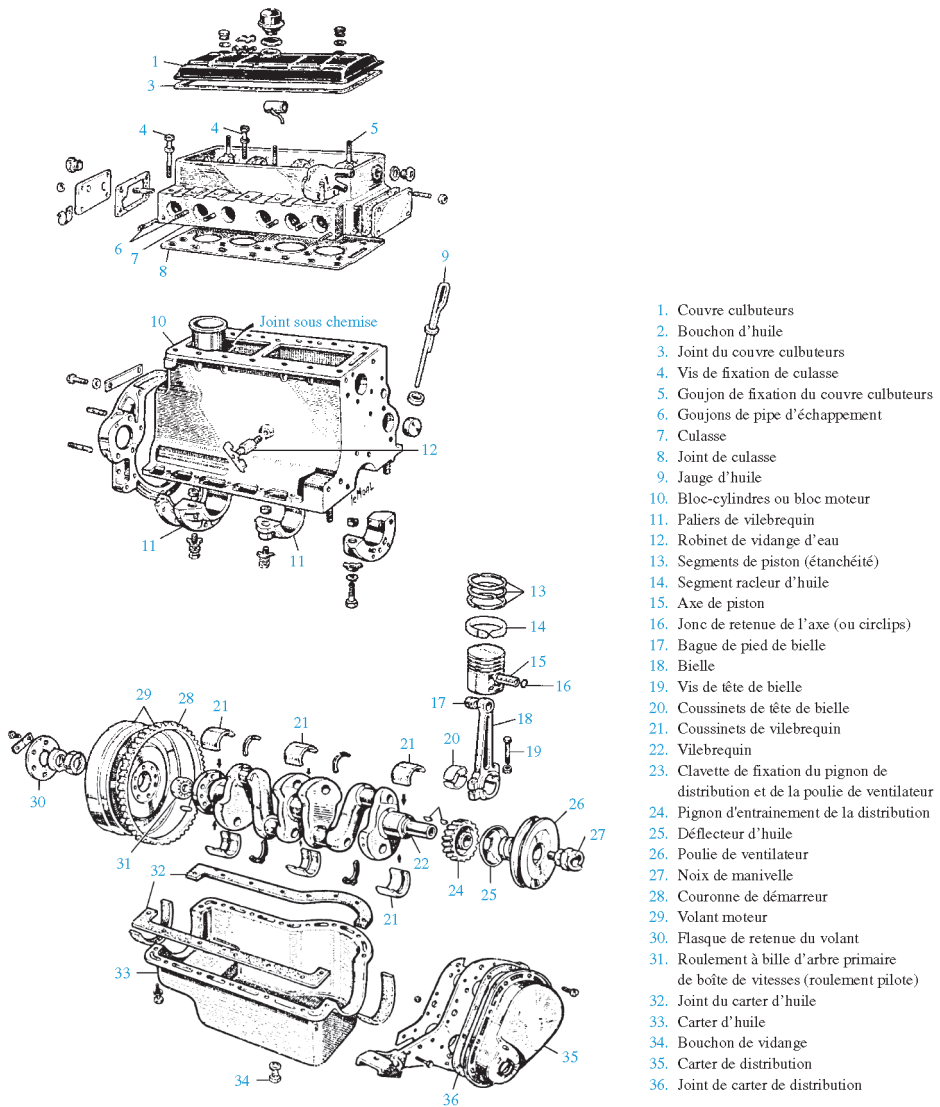
1.2. Pistons

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 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

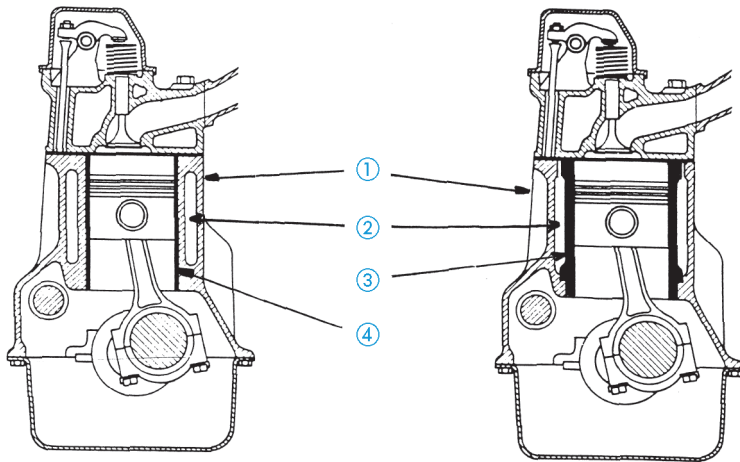
fuites. En revanche, en cas d'usure il est nécessaire de changer le bloc-moteur car le réalésage n'est pas toujours possible et souvent onéreux ;

- le bloc peut être alésé à un diamètre supérieur à celui du piston (de plusieurs millimètres) afin de pouvoir introduire une pièce cylindrique d'usure appelée chemise sèche (figure 7-2). 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 7-1 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.



- ① Bloc moteur
- ② Passage de liquide de refroidissement

- ③ Chemise humide
- ④ Chemise sèche

Détail des joints d'embase de chemise humide

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

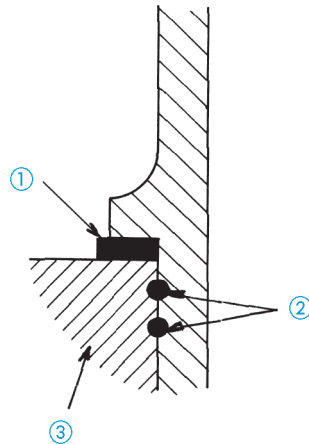


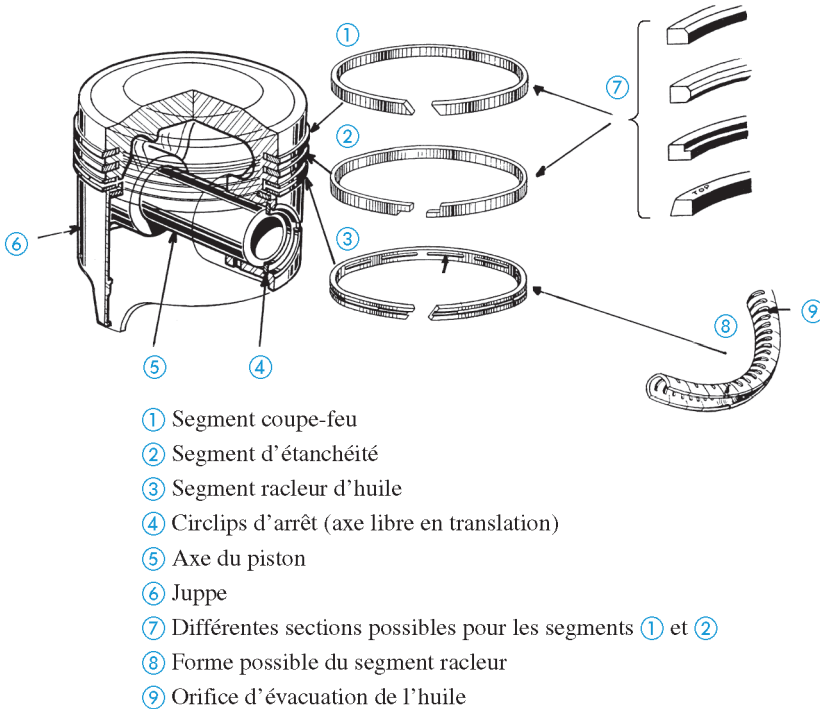
Figure 7-2 Les deux types de chemise.

– 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'embase (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 7-3) : 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.



Source : Technologie moteur Foucher.

Figure 7-3 Vue en coupe d'un piston.

1.3. 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.

1.4. 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 antifricction 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).

1.5. Arbre à cames (figure 7-4)

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...

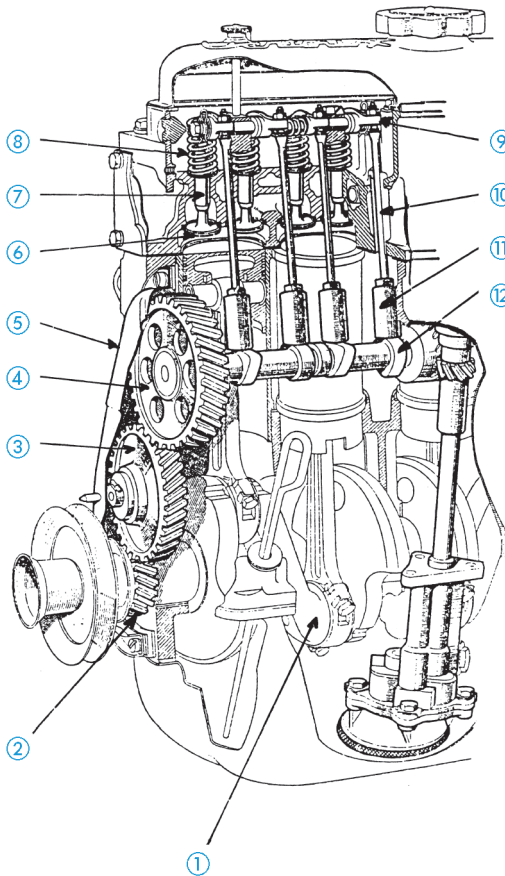
1.6. Culasse

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.

1.7. 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 Poussoir |
| ⑥ Soupape | ⑫ Came |

Source : Technologie moteur Foucher.

Figure 7-4 Vue d'un arbre à cames latéral et son entraînement.

1.8. 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).

2. Caractéristiques du moteur (figure 7-5)

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 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 $\frac{V + v}{v}$.

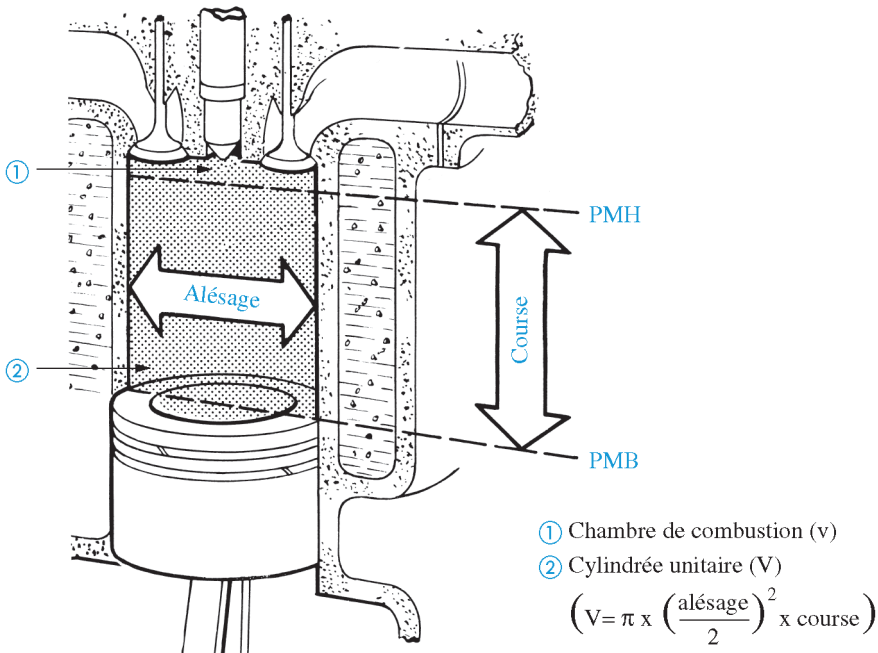


Figure 7-5 Les caractéristiques du moteur.

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.

3. **Fonctionnement du moteur à 4 temps** (figure 7-6)

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

3.1. **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 entraîné par l'énergie cinétique du volant moteur.

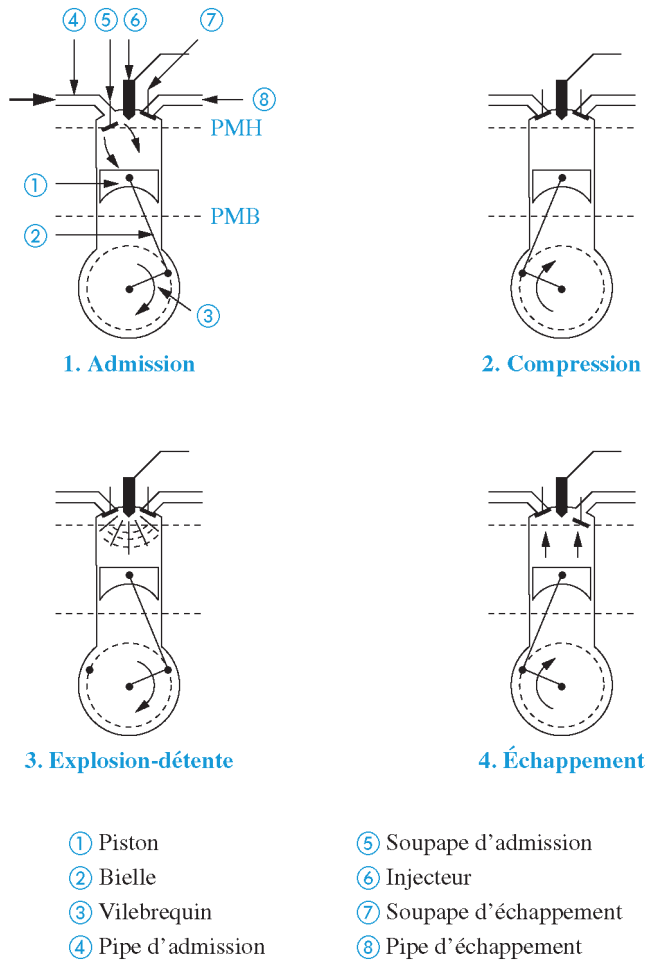


Figure 7-6 Le moteur à 4 temps.

3.2. 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.

3.3. 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).

3.4. 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/mon, 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 7-7).

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

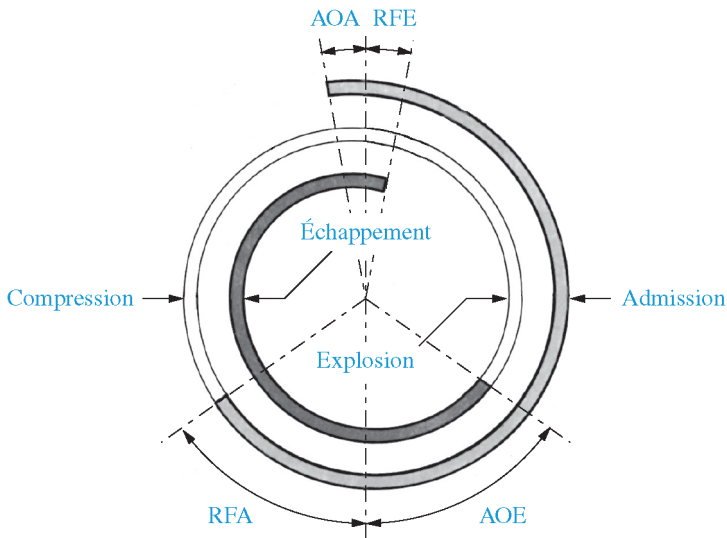


Figure 7-7 Exemple d'épure de distribution.

4. 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.

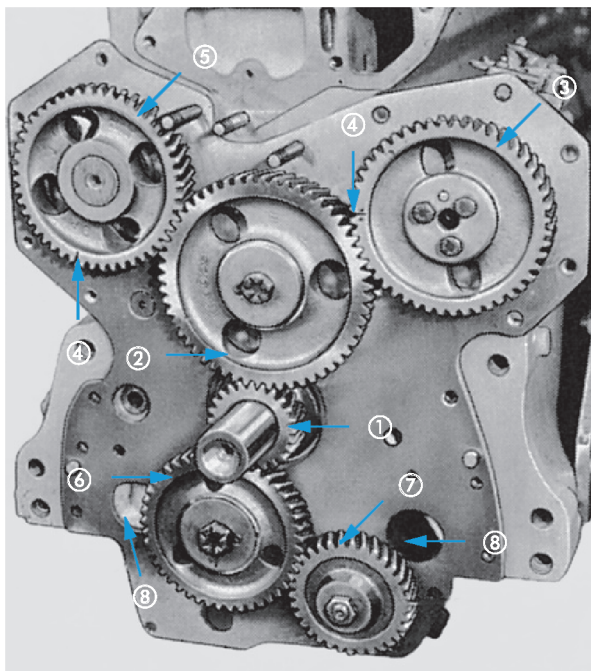
Le calage de la distribution consiste à synchroniser les mouvements des pistons et des soupapes les uns par rapport aux autres, tout simplement en positionnant le pignon du vilebrequin par rapport à celui de l'arbre à cames. Il suffit par exemple de :

- 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 7-8 et 7-9) sur le vilebrequin, le volant ou le bloc-moteur et sur les pignons (ex. : encoches, ergots, perçage pour introduction d'une pige...). 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.

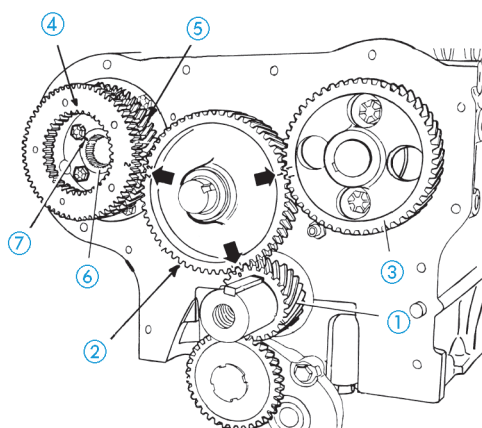


- ① Pignon du vilebrequin
- ② Pignon intermédiaire supérieur
- ③ Pignon de la pompe d'injection
- ④ Repères de calage
- ⑤ Pignon de l'arbre à cames
- ⑥ Pignon intermédiaire inférieur
- ⑦ Pignon de la pompe à huile
- ⑧ Emplacement des arbres d'équilibrage (non présents sur la photo)

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.

Figure 7-8 Repérage d'une distribution à pignons sur moteur John Deere (distribution avec couvercle enlevé).



- ① Pignon du vilebrequin
- ② Pignon intermédiaire
- ③ Pignon d'arbre à cames
- ④ Pignon d'entraînement de la pompe hydraulique
- ⑤ Pignon d'entraînement de la pompe d'injection
- ⑥ Manchon d'accouplement sur la pompe d'injection
- ⑦ Repère d'accouplement de ④ et ⑥

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

Figure 7-9 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.

5. Graissage du moteur

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

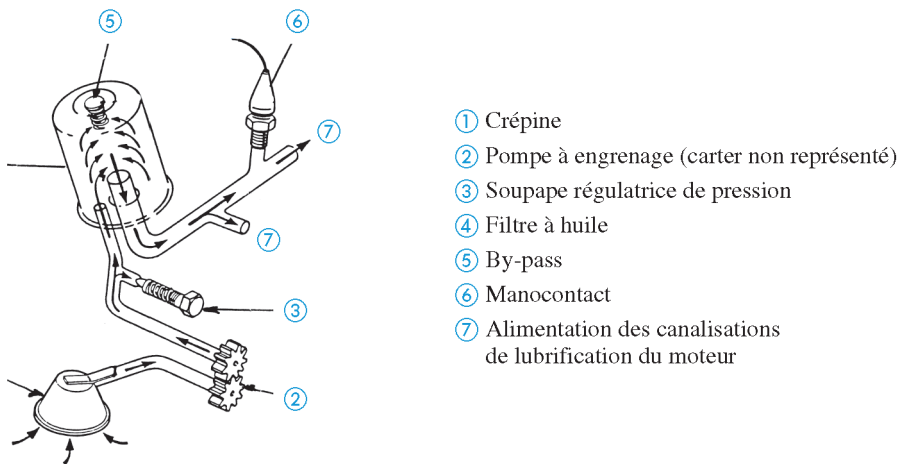
- lubrifier les pièces en mouvement en les enveloppant d'un film d'huile (couche d'huile de faible épaisseur) afin d'éviter tout contact métal sur métal ;
- refroidir les pièces en mouvement en évacuant les calories lorsque l'huile est en contact avec la pièce. Certains moteurs peuvent être équipés d'un 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 7-10).

- **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.
- **Une pompe à engrenage (figure 7-11)** : 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 Manocontact
- ⑦ Alimentation des canalisations de lubrification du moteur

Source : John Derre.

Figure 7-10 Schéma de principe du circuit de lubrification du moteur.

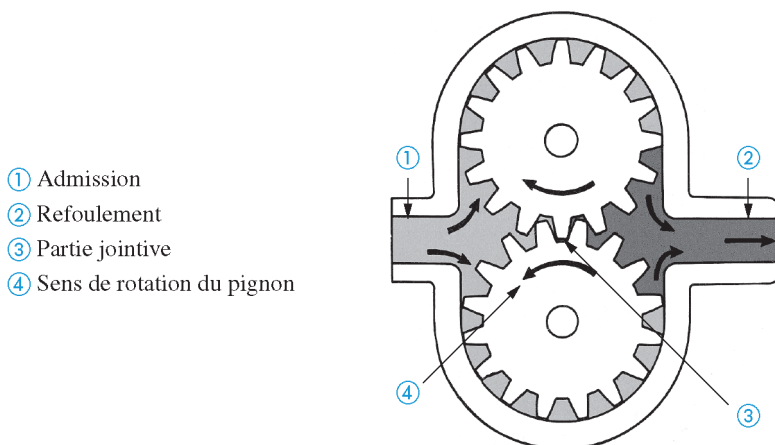


Figure 7-11 Principe de fonctionnement d'une pompe à huile à engrenage.

- **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 court-circuite le filtre. Cela permet une continuité du graissage lorsque le filtre est bouché ;

- **Le manocontact (figure 7-12)** : 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.

Le manocontact est fixé sur la canalisation principale le plus près possible de la sortie de la pompe. Au démarrage, dès que le voyant s'éteint, le chauffeur est

informé que la pompe à huile débite. Mais cela ne veut pas dire, bien au contraire, qu'à cet instant tous les organes du moteur sont lubrifiés. Par temps froid, il faut atteindre quelques dizaines de secondes pour que toute la circulation soit établie et démarrer en accélérant modérément (la pompe tournera plus vite et le circuit s'établira plus vite).

Il ne faut jamais utiliser un véhicule si le voyant d'huile ne s'allume pas en mettant le contact ou ne s'éteint pas après le démarrage du moteur. Dans ce cas le chauffeur ne pourra pas être informé d'un défaut de graissage ultérieur s'il se produit.

Pour connaître l'origine du défaut (imputable soit au circuit électrique soit au manoccontact lui-même) il suffit de débrancher le fil électrique d'arrivée au manoccontact et de le faire toucher la masse (après avoir mis le contact).

Certains véhicules sont équipés au tableau de bord d'un indicateur de pression à aiguille. Dans ce cas le manoccontact est remplacé par un capteur de pression. L'indicateur à aiguille est alors un milliampèremètre gradué en bars et non en ampère (après étalonnage) (figure 7-13).

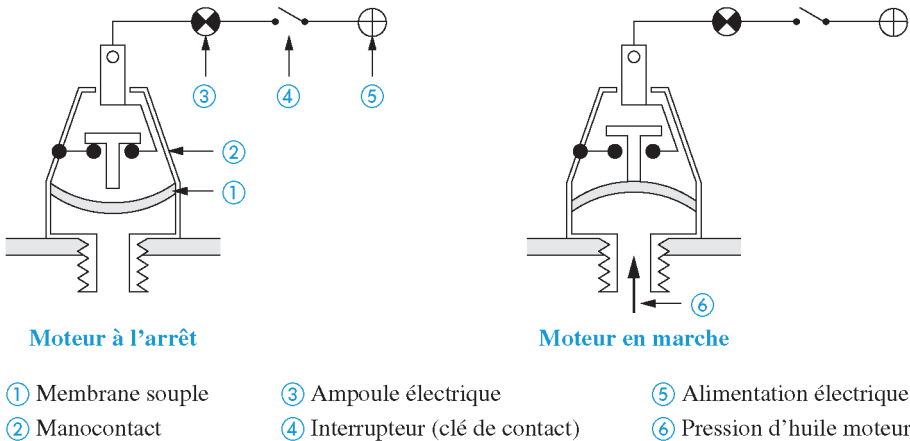


Figure 7-12 Principe de fonctionnement du manoccontact.

Avec indicateur à aiguille

- ① Capteur de pression
- ② Milliampèremètre (gradué en bars)
- ③ Orifice d'entrée d'huile
- ④ Interrupteur (clé de contact)
- ⑤ Alimentation électrique

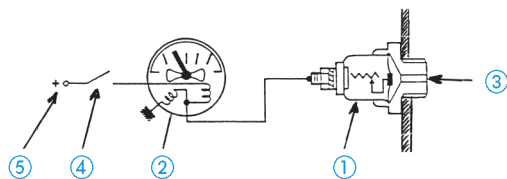


Figure 7-13 Dispositifs d'indication de la pression d'huile.

- *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).

6. Injection Diesel

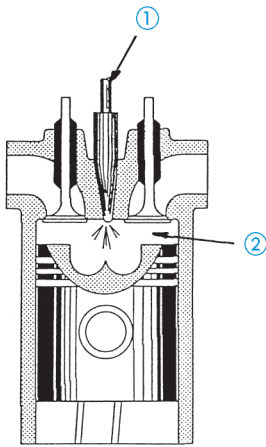
Sur les moteurs Diesel (contrairement au moteur essence), le gasoil n'est pas mélangé à l'air. Le gasoil est injecté en très fines gouttelettes (ou pulvérisé) dans le cylindre au moment même où il doit brûler, appelé « point d'injection ». Ce point d'injection est repéré par un angle d'avance à l'injection 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 (figure 7-14).

- *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 :

- 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 ;
- le moteur est bruyant car la combustion, donc la montée en pression, est très rapide ;
- 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 7-27).

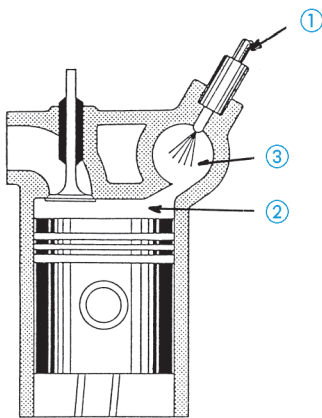
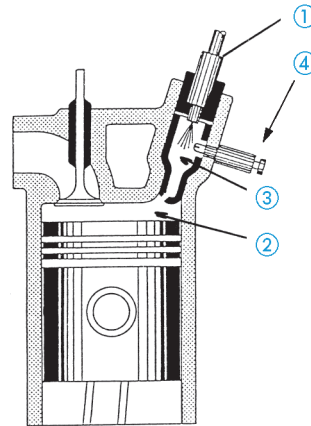
L'injection directe a toujours équipé les moteurs de tracteurs pour lesquels les conditions d'utilisation varient peu. Un tracteur travaille toujours avec un régime proche du régime maximal et très peu de variations. L'injection directe sur les moteurs automobile ne fut mise au point que très récemment 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 précompression creusée dans la culasse. La combustion est plus étalée



Injection directe

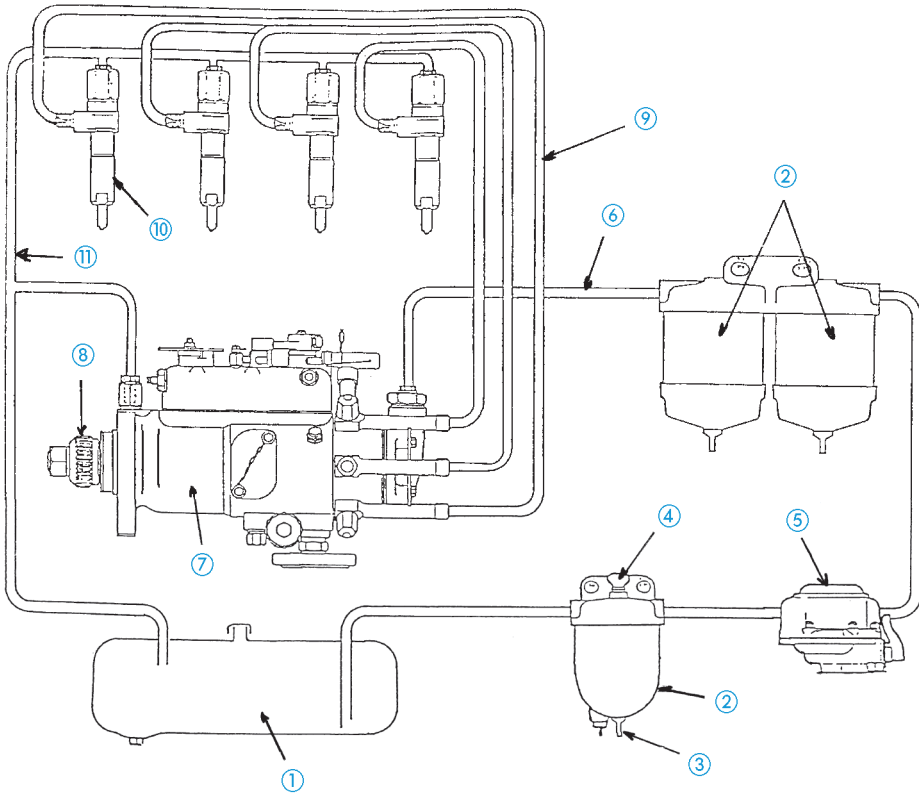
- ① Injecteur
- ② Chambre de combustion
- ③ Préchambre
- ④ Bougie de chauffe

Injection indirecte
avec préchambre de turbulenceInjection indirecte
avec préchambre de combustion**Figure 7-14** Les types d'injection Diesel.

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 7-15) :

- un circuit dit à basse pression (quelques bars) dû à la pompe à membrane ;
- 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 7-15 Le circuit de gasoil (pour moteur 4 cylindres).

6.1. 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 7-16). 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

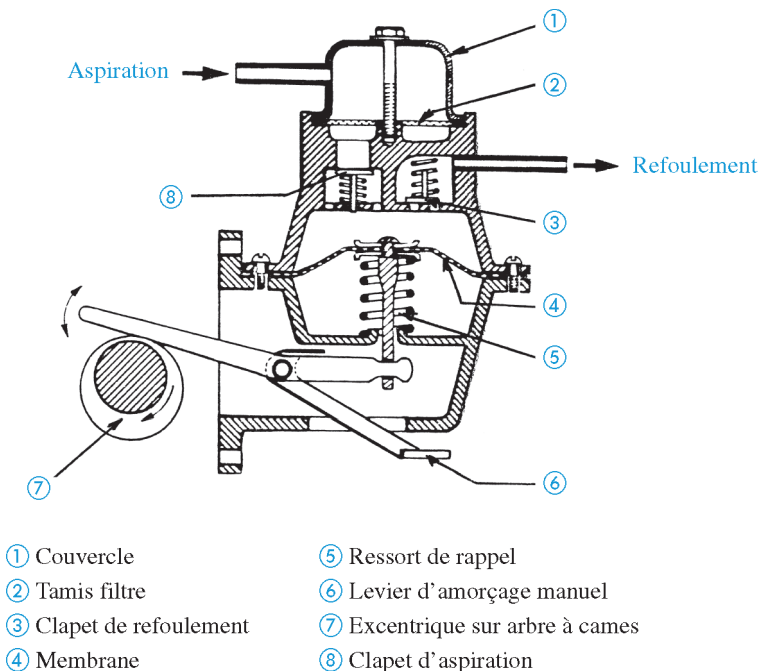


Figure 7-16 Pompe d'alimentation à membrane.

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.

6.2. Circuit à haute pression

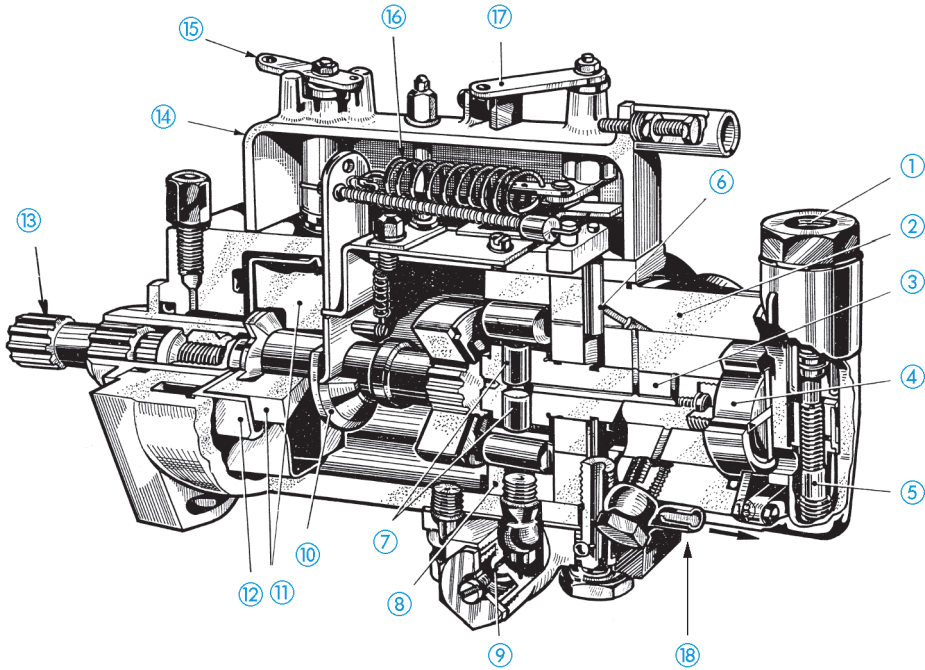
Il comprend une pompe d'injection alimentée en gasoil par le circuit basse pression. Son rôle est de doser la quantité de gasoil nécessaire à une explosion puis de distribuer les doses aux cylindres, au bon moment et dans le bon ordre (c'est-à-dire l'ordre d'allumage). La haute pression du gasoil à la 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 7-17 et 7-18) 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.

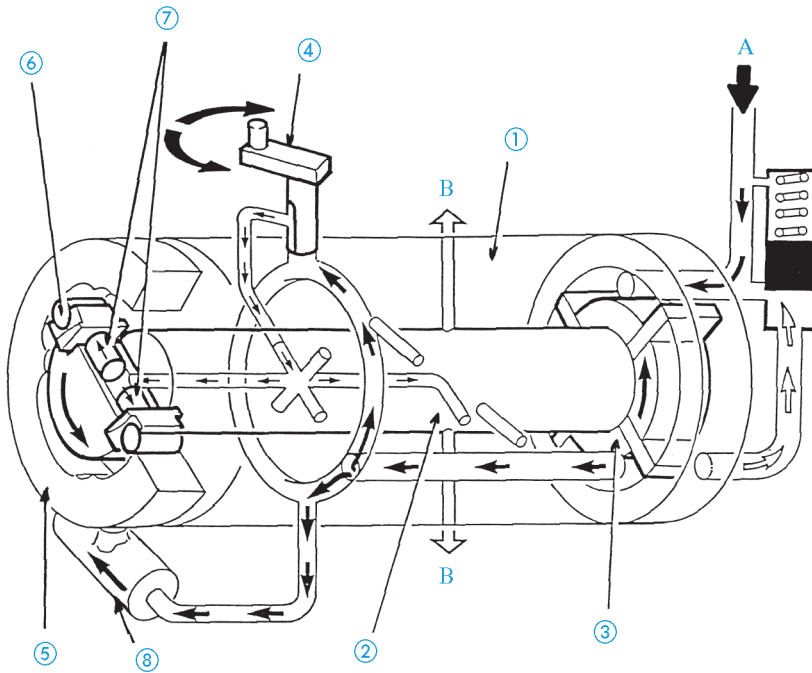
Le gasoil sous pression (pression de transfert) alimente un vérin situé en partie inférieure. L'avancement de la tige contrôlé par un ressort interne fait tourner l'anneau à cames. Cela permet de rapprocher les bossages de l'anneau à cames par rapport aux pistons donc d'avancer le moment où le gasoil 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 7-17 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 7-18 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 bielles et ressorts ([figure 7-19](#)) sur lequel interviennent :

- 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) ;
- 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 bielle. 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...).