

Technologie des machines agricoles et de chantier



CREME - COMMISSION ROMANDE
D'ÉVALUATION DES MOYENS
D'ENSEIGNEMENT





Série de publications spécialisées de la maison d'édition Europa-Lehrmittel sur la technologie des véhicules à moteur

Technologie des machines agricoles et de chantier

1^{ère} édition française

Édité par des enseignants d'écoles professionnelles,
des ingénieurs et des maîtres

Éditeur de matériel pédagogique :
VERLAG EUROPA-LEHRMITTEL · Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG
Düsselderger Straße 23 · 42781 Haan-Gruiten, Allemagne

N° de la maison d'édition : 23797

Titre original : Fachkunde Land- und Baumaschinentechnik, 1^{ère} édition, 3^{ème} quota d'impression

Auteurs de la *Technologie des machines agricoles et de chantier* :

Fehr, Andreas	Professeur diplômé de lycée professionnel	Breisach
Fleischlin, Stefan	Maître professionnel avec diplôme fédéral	Sempach, Suisse
Friese-Tapmeyer, Joachim	Professeur supérieur de lycée hors classe	Hildesheim
Friske, Richard	Professeur supérieur de lycée	Hanovre
Ganzmann, Herbert	Ingénieur diplômé	Häusern au sud de la Forêt Noire
Petersen, Malte	Professeur supérieur de lycée	Jübek
Huber, Georg	Enseignant spécialisé	Klosterbeuren
Mann, Jochen	Professeur diplômé de lycée professionnel, directeur des études	Schorndorf – Stuttgart
Keil, Wolfgang	Directeur supérieur des études	Munich
van Huet, Achim	Ingénieur diplômé, professeur supérieur de lycée	Oberhausen – Essen
Lohuis, Rainer	Ingénieur diplômé, professeur supérieur de lycée	Hückelhoven – Cologne
Wimmer, Alois	Professeur supérieur de lycée hors classe	Berghülen
Fischer, Richard	Directeur des études	Polling – Munich
Gscheidle, Rolf	Directeur des études hors classe	Winnenden – Stuttgart
Gscheidle, Tobias	Professeur diplômé de lycée professionnel, directeur supérieur des études	Stuttgart-Sindelfingen
Heider, Uwe	Maître électricien en automobile, entraîneur Audi SA	Neckarsulm-Oedheim
Hohmann, Berthold	Directeur des études	Eversberg-Meschede
Schlögl, Bernd	Professeur diplômé de lycée professionnel, directeur des études	Rastatt-Gaggenau

Direction du groupe de travail et correction-révision :
Alois Wimmer, Berghülen, Allemagne

Traitement de l'image:
Bureau de dessin de la maison d'édition Europa-Lehrmittel, Ostfildern, Allemagne

Traduction française:
SemioticTransfer AG, Baden, Suisse

Toutes les indications figurant dans le présent ouvrage sont basées sur l'état actuel de la technologie. Tous les travaux de contrôle, de mesure ou de réparation réalisés sur les véhicules doivent être effectués conformément aux indications des fabricants respectifs. Toute exécution des travaux décrits se fait aux risques et périls de la personne qui les réalise. Toute action en responsabilité intentée contre les auteurs ou la maison d'édition est exclue.

1^{ère} édition française 2019

Impression 5 4 3 2 1

Tous les tirages de la même édition peuvent être utilisés parallèlement étant donné qu'à part la correction d'éventuelles erreurs d'impression, ils sont identiques.

ISBN 978-3-8085-2379-7

Tous droits réservés. L'œuvre est protégée par le droit d'auteur dès sa création. Toute exploitation en dehors des cas réglés par la loi doit être acceptée par écrit par la maison d'édition.

© 2019 by Verlag Europa-Lehrmittel, Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG, 42781 Haan-Gruiten, Allemagne
<http://www.europa-lehrmittel.de>

Composition : Satz+Layout Werkstatt Kluth GmbH, 50374 Ertstadt-Lechenich, Allemagne
Conception graphique de la couverture : braunwerbeagentur, 42477 Radevormwald, Allemagne
Images de titre : Liebherr-International Deutschland GmbH, Biberach,
und CLAAS KGaA mbH, Harsewinkel, Allemagne
Impression : UAB BALTO print, Vilnius 08217, Lituanie

Préface de la 1^{ère} édition

La *Technologie des machines agricoles et de chantier* vise à aider l'apprenti à comprendre les procédures techniques et les interdépendances du système. Ce livre permet d'apprendre les connaissances théoriques nécessaires aux compétences pratiques. Les normes les plus récentes ont été intégrées là où il était nécessaire. Cependant, les fiches DIN font foi.

Cet ouvrage standard de technologie des machines agricoles et de chantier est divisé en 28 chapitres. Les contenus d'apprentissage sélectionnés sont axés sur la profession de mécatronicien/ne en technologie des machines agricoles et de chantier.

Ce livre est destiné à servir d'ouvrage de référence à l'ouvrier, au maître, au technicien et à l'apprenti en technologie des machines agricoles et de chantier ainsi qu'à leur fournir des informations et à compléter leurs compétences techniques. Cet ouvrage permet à toutes les personnes intéressées par la technologie des machines agricoles et de chantier d'élargir leurs connaissances techniques par étude individuelle.

Les thèmes principaux abordés sont la protection de l'environnement, la technique de production, l'étude des matériaux, les bases de l'hydraulique, la technique des machines de travail, les systèmes d'injection Diesel et la réduction des substances nocives. Dans la technologie des machines agricoles, les domaines principaux sont le travail du sol, la technique de culture, la protection phytosanitaire, la technique de récolte, et dans la technologie des machines de chantier, il s'agit de la technique de terrassement et de transport. Dans le domaine sylvicole, sont décrits les appareils mobiles de travail pour la récolte du bois et l'usinage. Dans le domaine communal, les appareils de nettoyage ainsi que les balayeuses et chasse-neiges font partie des thèmes principaux abordés.

La technologie des machines agricoles et de chantier forme une unité avec les autres livres du domaine « technologie des véhicules ».

L'ouvrage élaboré en collaboration étroite avec l'artisanat et l'industrie a été mis au point par une équipe de professeurs techniques, ingénieurs et maîtres expérimentés. Les auteurs et la maison d'édition sont ouverts à toutes les remarques et critiques (lektorat@europa-lehrmittel.de).

Nous remercions toutes les entreprises et organisations pour leur aimable soutien, notamment pour les images et les documents techniques qu'ils ont fournis.

Nos remerciements vont également à Messieurs Bovey Roland, Cloux Jacky et Echenard Jacques, tous trois maîtres professionnels avec diplôme fédéral, qui ont œuvré pour la relecture et les corrections techniques de cette version française. Sans oublier le CREME pour son apport logistique et son expérience.

Août 2019

Les entreprises mentionnées ci-dessous ont apporté leur soutien sous forme d'informations et d'illustrations. Nous les remercions très sincèrement.

Aebi + Co. AG Maschinenfabrik
Burgdorf, Suisse

AEBI Schmidt Deutschland GmbH
St. Blasien

AGCO GmbH (Fendt)
Marktoberdorf

Agrifac Machinery B.V.
Steenwijk, Pays-Bas

Agrotop GmbH
Obertraubling

Allison
Sliedrecht, Pays-Bas

Altek GmbH
Rotenburg

Amazonen-Werke
H. Dreyer GmbH & Co. KG
Hasbergen-Gaste

Aral AG
Bochum

Atlas Copco (Suisse) SA
Studen, Suisse

Autokabel
Hausen

G. Auwärter GmbH & Co. (Neoplan)
Stuttgart

Baumann
Cavaion, Italie

Basrijs, BV,
Rijsbergen, Pays-Bas

Bayer CropScience
Langenfeld

Behr Hella Service GmbH
Schwäbisch Hall

BEHR GmbH & Co.
Stuttgart

bema GmbH
Vollage-Weese

BLACK HAWK
Kehl

Bomag
Boppard am Rhein

Robert Bosch GmbH
Stuttgart

Bosch Rexroth AG
Lohr am Main

Bostik GmbH
Oberursel/Taunus

Bressel und Lade Maschinenbau GmbH
Visselhövede OT. Schwitschen

Christiansen's Bioland-Hof
Esperstoft-Feld

CLAAS KGaA mbH
Harsewinkel

CNH Industrial Österreich GmbH
St. Valentin, Autriche

Continental Teves AG & Co. OHG
Francfort

Celette GmbH
Kehl

Herbert Dammann GmbH
Buxtehude-Hedendorf

Dataliner Richtsysteme
Ahlerstedt

Deutsche BP AG
Hambourg

Deutz AG
Cologne-Porz

Dieci
Montecchio Emilia, Italie

Dipl.-Ing. Tietjen GmbH
Bücken

DUNLOP GmbH & Co. KG
Hanau/Main

J. Eberspächer
Esslingen

Elbe Holding GmbH & Co. KG
Bietigheim-Bissingen

EMM Motoren Service
Lindau

ESSO AG
Hambourg

Fonds der chemischen Industrie im Verband der chemischen Industrie e.V.

Carl Freudenberg
Weinheim/Bergstraße

Carl Geringhoff GmbH
Ahlen

Getrag Getriebe- und Zahnradfabrik
Ludwigsbourg

Girling-Bremsen GmbH
Coblence

Glasurit GmbH
Münster/Westphalie

Globaljig Deutschland GmbH
Cloppenburg

Glyco-Metall-Werke B.V. & Co. KG
Wiesbaden/Schierstein

GKN Land Systems
Lohmar

Goetze AG
Burscheid

Grau-Bremse
Heidelberg

Grimme GmbH & Co. KG
Damme

Growi Maschinenbau
Oberthingau

GVS Agrar AG
Schaffhouse, Suisse

Hazet-Werk, Hermann Zerver
Remscheid

HAMEG GmbH
Francfort/Main

Hella KGaA, Hueck & Co.
Lippstadt

Hengst Filterwerke
Nienkamp

Hetronic Swiss AG
Härkingen, Suisse

Fiedler Maschinenbau
Schmölln-Putzkau

Flötzinger Gerätetechnik GmbH
Polling

HAMM AG
Tirschenreuth

HARDI GmbH
Wedemark-Mellendorf

Ernst Herbst Prüftechnik e.K.
Hirschbach

Fritz Hintermayr
Bing-Vergaser-Fabrik
Nuremberg

HORSCH Maschinen GmbH
Schwandorf

Hotel Hirsch
Fellbach-Schmidlen

Hunger Maschinenfabrik GmbH
Munich et Kaufering

Hydac
Sierning, Autriche

Hydraulik Nord Fluidtechnik GmbH & Co. KG
Parchim

IBM Deutschland
Böblingen

IVECO-Magirus AG
Neu-Ulm

IXION Maschinenfabrik
Otto Häfner GmbH & Co.
Hamburg-Wandsbek

John Deere GmbH & Co. KG
Bruchsal

Johnson Controls
Autobatterie GmbH & Co. KG
Hanovre

Jungheinrich AG
Hirschthal, Suisse

Julius Kühn Institut
Quedlinburg

Jurid-Werke
Essen

Alfred Kärcher GmbH & Co. KG
Winnenden

Kemper GmbH
Stadtlohn

Kfz-tech.de

Knecht Filterwerke GmbH
Stuttgart

- Knorr-Bremse GmbH**
Munich
- Knott GmbH**
Eggstädt
- Kolbenschmidt AG**
Neckarsulm
- Komatsu**
Hanovre
- Komatsu Forest GmbH**
Vöhringen
- Krone Maschinenfabrik**
Spelle
- Kronos**
Kronoby, Finlande
- KS Gleitlager GmbH**
St. Leon-Rot
- Kühnle, Kopp und Kausch AG**
Frankenthal/Palatinat
- Kuhn Maschinen-Vertrieb GmbH**
Genthin-Schopisdorf
- Kuratorium für Waldarbeit und Forsttechnik e.V.**
Groß-Umstadt
- Kverneland Group Deutschland GmbH**
Soest
- Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg**
Außenstelle Stuttgart
- Lechler GmbH**
Metzingen
- Lemmerz-Werke**
Königswinter
- Lemken GmbH & Co. KG**
Alpes
- Lely International N.V.**
Maassluis, Pays-Bas
- Liebherr-Baumaschinen AG**
Reiden, Suisse
- Liebherr Lagerungen**
Nussbaumen, Suisse
- Liebherr – Werk Biberach GmbH**
Biberach an der Riss
- Liebherr – Werk Ehingen GmbH**
Ehingen
- Liebherr – Werk Telfs GmbH**
Telfs, Autriche
- LuK Schaeffler Automotiv**
Bühl/Baden
- MAHLE GmbH**
Stuttgart
- Mahler AG**
Obfelden, Suisse
- Mannesmann Sachs AG**
Schweinfurt
- Mann und Hummel, Filterwerke**
Ludwigsbourg
- MAN Maschinenfabrik**
Munich
- Maschinenfabrik Schmotzer GmbH**
Bad Windsheim
- Menzi Muck AG**
Widnau, Suisse
- Mercedes Benz**
Stuttgart
- Metzeler Reifen GmbH**
Munich
- Michelin Reifenwerke KGaA**
Karlsruhe
- Mitsubishi Electric Europe B.V.**
Ratingen
- Mitsubishi MMC**
Trebun
- MOBIL OIL AG**
Hambourg
- NGK/NTK Europe GmbH**
Ratingen
- NH Agriculture**
Niederwenigen, Suisse
- New Holland, MBA AG**
Baumaschinen
Basserdorf, Suisse
- NovoNox**
Markröningen
- OSRAM AG**
Munich
- OMV AG**
Vienne, Autriche
- Pfanzelt Maschinenbau GmbH**
Rettenbach a. Auerberg
- Pierburg GmbH**
Neuss
- Pirelli AG**
Höchst im Odenwald
- Potain Manitowoc**
Liesaint, France
- Pöttinger Maschinenfabrik**
Grieskirchen, Autriche
- Rapid Technic AG**
Killwangen, Suisse
- Reform Werke**
Wels, Autriche
- SATA Farbspritztechnik GmbH & Co.**
Kornwestheim
- SCANIA Deutschland GmbH**
Coblence
- Scharmüller GmbH & Co. KG**
Fornach, Autriche
- Schäffler Automotive**
Langen
- SEKURIT SAINT-GOBAIN Deutschland GmbH**
Aachen
- SKF Kugellagerfabriken GmbH**
Schweinfurt
- SOLO Kleinmotoren GmbH**
Sindelfingen
- Stahlwille E. Wille**
Wuppertal
- Stihl AG & Co. KG**
Waiblingen
- Steyr-Daimler-Puch AG**
Graz, Autriche
- Stirimann AG**
Olten
- Suco, Robert Scheuffele GmbH**
Bietigheim
- SUN Elektrik Deutschland**
Mettmann
- Suva**
Lucerne, Suisse
- Technikvertrieb GmbH**
Schmölln-Putzkau
- TeeJet Technologies**
Ludwigsbourg
- Telma Retarder Deutschland GmbH**
Ludwigsbourg
- UNIWHEELS GmbH**
Bad Dürkheim
- VARTA Autobatterien GmbH**
Hanovre
- Vereinigte Motor-Verlage GmbH & Co. KG**
Stuttgart
- Vogel & Noot Landmaschinen GmbH & Co. KG**
Wartberg, Autriche
- Joseph Vögele AG**
Ludwigshafen
- Voith GmbH & Co KG**
Heidenheim
- Volvo Deutschland GmbH**
Brühl
- Wabco Westinghouse GmbH**
Hanovre
- Wacker Neuson Linz GmbH**
Hörsching, Autriche
- Webasto GmbH**
Stockdorf
- Welte Fahrzeugbau GmbH**
Umkirch
- Wirtgen GmbH**
Windhagen
- WMS Wagner GmbH**
Wallersdorf
- ZF Getriebe GmbH**
Sarrebruck
- ZF Sachs AG**
Schweinfurt
- ZF Zahnradfabrik Friedrichshafen AG**
Friedrichshafen/Schwäbisch Gmünd
- Zeppelin Baumaschinen GmbH**
Garching à Munich

1 Machines de travail mobiles et engins

1.1	Machines de travail mobiles	11
1.2	Engins	11
1.3	Maintenance et entretien	12
1.4	Filtres : montage et maintenance	14
1.4.1	Filtres à air	14
1.4.2	Filtres à carburant	15
1.4.3	Filtres à huile	16
1.4.4	Filtres hydrauliques	16
1.4.5	Filtres pour cabines	16
1.4.6	Maintenance	16
1.5	Carburants, produits consommables auxiliaires	17
1.5.1	Carburants	17
1.5.2	Carburants de moteurs à essence	19
1.5.3	Carburants Diesel	20
1.5.4	Carburants à base végétale	21
1.5.5	Mélange deux temps	23
1.5.6	Essence alkylate	23
1.5.7	Huiles de lubrification et lubrifiants	23
1.5.8	Produits antigel	28
1.5.9	Réfrigérants	29
1.5.10	Liquides de frein	29

2 Protection de l'environnement et sécurité au travail

2.1	Protection de l'environnement au travail	30
2.1.1	Pollutions	30
2.1.2	Élimination	30
2.2	Sécurité au travail et prévention des accidents	34
2.2.1	Principes de la sécurité au travail	34
2.2.2	Évaluation des risques	34
2.2.3	Mesures de sécurité	37
2.2.4	Signaux de sécurité	37
2.2.5	Phrases H et P*	38
2.2.6	Institutions impliquées dans la sécurité au travail	39

3 Techniques de commande et de régulation

3.1	Principes de base	40
3.1.1	Systèmes de commande	40
3.1.2	Systèmes de régulation	40
3.2	Structure des dispositifs de commande et de régulation	42
3.2.1	Signaux	42
3.2.2	Systèmes numériques	43
3.2.3	Commandes logiques	44
3.2.4	Commandes séquentielles	44
3.3	Formes d'énergie	46
3.3.1	Énergie mécanique	46
3.3.2	Énergie hydraulique	46
3.3.3	Énergie pneumatique	47
3.3.4	Énergie électrique	50

4 Techniques de contrôle

4.1	Notions de base de métrologie	51
4.1.1	Types de contrôle	51
4.1.2	Instruments de contrôle	51
4.1.3	Unités de la valeur mesurée	52
4.1.4	Erreurs de mesure	52
4.1.5	Méthodes de mesure	53
4.2	Les instruments de mesure	53
4.2.1	Identification de la mesure	54
4.2.2	Pied à coulisse	54
4.2.3	Les micromètres	56

4.2.4	Comparateur	57
4.2.5	Rapporteur d'angle	57
4.3	Calibres	58
4.3.1	Calibres simples	58
4.3.2	Calibres de forme	58
4.3.3	Calibres à tolérance	58
4.4	Tolérances et ajustements	59
4.4.1	But de la normalisation	59
4.4.2	Termes techniques	59
4.4.3	Domaines d'application	60
4.4.4	Ajustement	60
4.4.5	Indication de tolérance	61
4.4.6	Système d'ajustement	61
4.5	Traçage	62

5 Technique de fabrication

5.1	Organisation des procédés de fabrication	63
5.1.1	Principaux groupes de procédés de fabrication	63
5.1.2	Distinction des groupes principaux	63
5.2	Moulage	65
5.2.1	Coulée	65
5.2.2	Frittage	66
5.3	Formage	68
5.3.1	Formage par pliage	69
5.3.2	Formage par compression et traction	70
5.3.3	Formage sous pression	71
5.3.4	Dressage	73
5.3.5	Procédé de formage des tôles	73
5.4	Usinage par enlèvement de copeaux	77
5.4.1	Principes de la séparation par enlèvement de copeaux	77
5.4.2	Usinage manuel	77
5.4.3	Principes de la séparation par enlèvement de copeaux avec des machines-outils	84
5.5	Séparation sans enlèvement de copeaux	93
5.5.1	Cisaillage	93
5.6	Assemblage	94
5.6.1	Classifications des assemblages	94
5.6.2	Filetage	95
5.6.3	Assemblages vissés	96
5.6.4	Assemblages par goupilles	101
5.6.5	Assemblages par rivets	102
5.6.6	Clinchage (assemblage par enchevêtrement)	103
5.6.7	Assemblages arbre-moyeu	104
5.6.8	Assemblage par pression (frettage)	105
5.6.9	Assemblages par encliquetage	105
5.6.10	Brasage	106
5.6.11	Soudage	107
5.6.12	Collage	114
5.7	Traitement des surfaces	115
5.8	Protection contre la corrosion	117
5.9	Peinture de véhicules	118

6 Technologie des matières premières

6.1	Propriétés des matières premières	122
6.1.1	Propriétés physiques	122
6.1.2	Propriétés techniques	124
6.1.3	Propriétés chimiques	124
6.2	Classification des matériaux	126
6.3	Structure des matériaux métalliques	127
6.3.1	Réseaux cristallins des métaux purs	128
6.3.2	Réseaux cristallins des alliages métalliques	128
6.4	Métaux ferreux	129
6.4.1	Acier	129

6.4.2	Matériaux ferreux de fonderie	129	10.4	Test de compression	179
6.4.3	Influence des éléments d'alliages sur les matériaux ferreux	131	10.5	Suralimentation moteur	183
6.4.4	Désignation des métaux ferreux	131	10.5.1	Turbocompresseur	183
6.4.5	Classification et utilisation des aciers	133	10.5.2	Refroidissement de l'air de suralimentation	185
6.4.6	Commercialisation des aciers	135	10.6	Lubrification du moteur	185
6.4.7	Traitement thermique des matériaux ferreux	135	10.7	Système de refroidissement	187
6.5	Métaux non ferreux	139	11 Formation du mélange		
6.5.1	Désignation des métaux non ferreux	139	11.1	Formation du mélange des moteurs Otto	190
6.5.2	Métaux non ferreux lourds	140	11.1.1	Notions de base	190
6.5.3	Métaux non ferreux légers	140	11.1.2	Adaptation du mélange aux états de fonctionnement du moteur	191
6.6	Matières plastiques	141	11.2	Carburateur	192
6.6.1	Thermoplastes	141	11.2.1	Principes de fonctionnement	192
6.6.2	Duroplastiques	142	11.3	Types de carburateur	192
6.6.3	Elastomères	143	11.3.1	Carburateur simple corps	193
6.7	Matériaux composites	144	11.3.2	Carburateur à boisseau	194
6.7.1	Matériaux composites renforcés de particules	144	11.3.3	Carburateur à membranes	195
6.7.2	Matériaux composites renforcés de fibres	144	12 Formation du mélange dans un moteur Diesel		
7 Forces, lubrification, paliers, joints			12.1	Répartition du mélange / valeur lambda dans un moteur Diesel	197
7.1	Forces lors du frottement	145	12.2	Processus de combustion d'un moteur Diesel	198
7.2	Lubrification	146	12.3	Préinjection, injection principale, postinjection	198
7.3	Paliers	147	12.4	Types de combustion	199
7.4	Joints	150	12.5	Procédé d'injection Diesel	199
8 Structure et fonctionnement du moteur à quatre temps			12.5.1	Diagramme de travail	200
8.1	Moteur Otto à quatre temps	151	12.5.2	Travail utile, pression de travail moyenne	200
8.1.1	Mode de fonctionnement du moteur Otto à quatre temps	152	12.6	Dispositif d'aide au démarrage	201
8.1.2	Caractéristiques du moteur Otto	153	12.6.1	Bougie-crayon	201
8.1.3	Processus de combustion d'un moteur à essence	153	12.6.2	Bride de chauffage	203
8.2	Moteur Diesel	154	12.6.3	Dispositif de préchauffage à flamme	203
8.2.1	Caractéristiques du moteur Diesel	154	12.7	Dispositifs d'injection des moteurs Diesel	204
8.2.2	Mode de fonctionnement du moteur Diesel	155	12.7.1	Contrôle électronique de l'injection Diesel (EDC)	204
8.2.3	Processus de combustion dans le moteur Diesel	156	12.7.2	Systèmes Common-Rail	206
8.3	Caractéristiques des moteurs à quatre temps	156	12.8	Pompe-conduite-injecteur (UPS)	216
8.4	Diagramme de travail	158	12.9	Système injecteur-pompe	217
8.5	Diagramme de distribution	160	12.10	Pompe rotative distributrice à piston axial (VE)	221
8.6	Numérotation des cylindres, ordres d'allumage	160	12.10.1	VE à commande mécanique	221
8.7	Moteur 4-mix	162	12.10.2	VE à commande électronique (VE-EDC)	224
8.8	Courbes caractéristiques du moteur	164	12.11	Pompe rotative distributrice à pistons radiaux (VP44)	225
8.9	Rapport course/alésage, puissance/cylindrée, masse/puissance	165	12.12	Système d'injection avec pompe d'injection en ligne	227
9 Moteur essence à deux temps			12.13	Système injecteur-pompe électro-hydraulique (HEUI)	233
9.1	Moteur à deux temps	166	12.14	Injecteurs	234
9.1.1	Structure	166	13 Réduction de la pollution		
9.1.2	Fonctionnement	166	13.1	Composition des gaz d'échappement	236
9.1.3	Types de commande	169	13.2	Limitation des émissions	239
9.1.4	Particularités de construction	170	13.2.1	Mesures de protection de l'air	239
9.1.5	Utilisation de moteurs à deux temps	172	13.2.2	Valeurs limites des émissions (Stage/TIER)	239
10 Moteurs pour machines de travail mobiles			13.3	Mesures pour réduire les polluants	240
10.1	Types de construction des moteurs	173	13.3.1	Mesures prises au niveau du moteur	241
10.2	Structure du moteur Diesel	173	13.3.2	Post-traitement des gaz d'échappement	245
10.2.1	Bloc-moteur	173	14 Transmission		
10.2.2	Culasse	175	14.1	Concepts de transmission	257
10.2.3	Embiellage	175	14.1.1	Transmissions mécaniques	257
10.3	Distribution	178	14.1.2	Transmissions hydrostatiques	257
10.3.1	Disposition de l'arbre à cames	178	14.1.3	Transmissions combinées	258
10.3.2	Entraînement de l'arbre à cames	178	14.2	Notions d'accouplement	258
			14.3	Embrayages à friction	259
			14.3.1	Embrayages monodisques	259

14.3.2	Embrayages doubles	260	(système indépendant)	348	
14.3.3	Embrayages multidisques	261	15.7.7	ABS pour dispositifs de freinage à air comprimé	356
14.3.4	Embrayages centrifuges	262	16 Roues et pneus		
14.3.5	Forces sur l'embrayage	262	16.1	Exigences relatives au système roue-pneu	357
14.3.6	Disques d'embrayage	263	16.2	Structure des pneus, types de pneus	357
14.3.7	Commande d'embrayage	265	16.3	Dimensions des pneus, désignations des pneus	359
14.4	Arbres de transmission sur les véhicules	267	16.3.1	Pneu EM	361
14.4.1	Arbres de transmission	267	16.3.2	Pneus agricoles	364
14.4.2	Arbres de transmission avec joints homocinétiques ..	268	17 Electrotechnique		
14.5	Arbres de transmission entre les véhicules et les engins	270	17.1	Bases de l'électrotechnique	367
14.5.1	Fourches d'accouplement	270	17.1.1	Tension électrique	368
14.5.2	Cardans	270	17.1.2	Courant électrique	368
14.5.3	Profils coulissants	272	17.1.3	Résistance électrique	370
14.5.4	Dispositifs de protection sur les arbres de transmission	272	17.1.4	Loi d'Ohm	372
14.5.5	Dispositifs de sécurité sur les arbres de transmission	273	17.1.5	Puissance, travail, rendement	372
14.6	Boîtes de vitesses	274	17.1.6	Couplage des résistances	373
14.6.1	Boîtes de vitesses manuelles	274	17.1.7	Mesures dans un circuit électrique	374
14.6.2	Boîte à trains planétaires (trains épicycloïdaux)	279	17.1.8	Effets du courant électrique	382
14.6.3	Boîte de vitesses à changement sous charge	282	17.1.9	Protection contre les dangers du courant électrique ..	383
14.6.4	Boîte de vitesses à variation continue	291	17.1.10	Production de la tension électrique	385
14.6.5	Boîte de vitesses à partage de puissance	292	17.1.11	Tension alternative	387
14.6.6	Boîte de transfert	297	17.1.12	Production de tension et de courant triphasés	388
14.6.7	Essieux moteur	297	17.1.13	Magnétisme	388
14.6.8	Différentiel	300	17.1.14	Auto-induction ou self-induction	390
15 Véhicules automobiles agricoles ou forestiers			17.1.15	Condensateur	391
15.1	Répartition des véhicules automobiles agricoles ou forestiers	305	17.1.16	Electrochimie	391
15.2	Structure du tracteur	307	17.1.17	Composants électroniques	393
15.2.1	Cabine et technique de confort	308	17.2	Applications de l'électrotechnique	404
15.2.2	Conception de la structure porteuse	316	17.2.1	Schéma des circuits	404
15.2.3	Attelage outil – tracteur	317	17.2.2	Avertisseurs	409
15.3	Châssis	320	17.2.3	Equipements d'éclairage	410
15.3.1	Dynamique du véhicule	320	17.2.4	Alimentation électrique et réseau de bord	418
15.3.2	Essieux	321	17.2.5	Moteurs électriques	425
15.4	Géométrie de direction	322	17.2.6	Démarrateur	428
15.4.1	Empattement	322	17.2.7	Alternateur triphasé	435
15.4.2	Voie	322	17.2.8	Relais	445
15.4.3	Parallélisme	322	17.2.9	Electroaimants	448
15.4.4	Différence d'angle de braquage	322	17.2.10	Système d'allumage	451
15.4.5	Carrossage	323	17.2.11	Technique haute fréquence	463
15.4.6	Inclinaison de l'axe de pivot	323	17.2.12	Compatibilité électromagnétique (CEM)	468
15.4.7	Déport de l'axe de pivot	323	17.2.13	Capteurs	470
15.4.8	Chasse	324	17.3	Transmission des données	477
15.5	Bases de la direction	325	17.4	Mesure, tests, diagnostics	486
15.5.1	Direction à bogie (couronne)	325	18 Hydraulique		
15.5.2	Direction à fusée pivotante	325	18.1	Principes de base	490
15.5.3	Boîtier de direction	326	18.1.1	Grandeurs hydrauliques	490
15.5.4	Types de direction	327	18.1.2	Hydrostatique	491
15.5.5	Réglage de la géométrie	328	18.1.3	Hydrodynamique	492
15.6	Suspension	329	18.1.4	Friction et perte de pression dans les conduites	492
15.6.1	Fonction de la suspension	329	18.1.5	Types d'écoulement du fluide	492
15.6.2	Fonctionnement de la suspension	329	18.1.6	Différentes pressions dans une installation hydraulique	493
15.6.3	Types de ressort	333		Symboles de base	494
15.6.4	Amortisseurs	335	18.2	Groupes de composants et leur fonctions	494
15.7	Freins	337	18.2.1	Symboles de base	494
15.7.1	Processus de freinage	338	18.2.2	Symboles hydrauliques	495
15.7.2	Frein à tambour	338	18.2.3	Schémas hydrauliques	498
15.7.3	Frein à disque	339	18.3	Huiles hydrauliques	499
15.7.4	Freins à actionnement mécanique	342	18.4	Exigences des huiles hydrauliques	499
15.7.5	Frein hydraulique	343	18.4.1	Classification des fluides hydrauliques	499
15.7.6	Dispositif de freinage à air comprimé		18.4.2		

23 Récolte de grains

23.1	Moissonneuses-batteuses	703
23.1.1	Classification	703
23.1.2	Structure et fonctionnement	703
23.1.3	Barres de coupe	704
23.1.4	Convoyeur et bac à pierres	706
23.1.5	Systèmes de battage	707
23.1.6	Système de nettoyage	711
23.1.7	Trémie à grains	712
23.1.8	Andainage	712
23.1.9	Compensation de la pente	713
23.2	Distribution de puissance	715
23.3	Systèmes de transmission	715
23.4	Châssis	716
23.5	Automatisation	716
23.6	Réglage	718
23.7	Contrôle à distance	719

24 Récolte des plantes sarclées

24.1	Récolteuses de pommes de terre	720
24.2	Arracheuses de betteraves sucrières	723

25 Engins de terrassement

25.1	Classifications	726
25.2	Pelles hydrauliques	726
25.2.1	Structure de base	726
25.2.2	Ensembles d'une pelle hydraulique	727
25.2.3	Commande de la pelle	728
25.2.4	Ensembles du châssis porteur	728
25.2.5	Ensembles du châssis tournant	731
25.2.6	Outils portés	734
25.2.7	Courbes d'excavation	738
25.3	Chargeuses sur pneus	739
25.3.1	Autres chargeuses	744
25.4	Niveleuses	745
25.4.1	Bouteur (bulldozer)	745
25.4.2	Niveleuses automotrices (Grader)	748
25.5	Véhicules de transport	752
25.5.1	Tombereau (Dumper)	752
25.5.2	Tombereau articulé	753
25.5.3	Tombereau léger	754
25.6	Technique de compactage	755
25.6.1	Répartition des dispositifs de compactage	755
25.6.2	Pilonneuse	755
25.6.3	Plaques vibrantes	755
25.6.4	Rouleaux	756

26 Technique de transport

26.1	Grue à tour	758
26.1.1	Grue à partie tournante supérieure	758
26.1.2	Grue à partie tournante inférieure	758
26.1.3	Types de flèches	759
26.1.4	Dispositifs spéciaux	760
26.1.5	Fonctionnement des modules	760
26.1.6	Commande de la grue	762
26.1.7	Tableaux des charges	762
26.1.8	Dispositifs de sécurité	763
26.2	Grues mobiles	764
26.2.1	Types	764
26.2.2	Montage d'une grue tout-terrain	765
26.3	Chariots élévateurs (gerbeurs)	770
26.3.1	Chariot élévateur frontal	770

26.3.2	Chariot élévateur latéral	770
26.3.3	Mât de levage	771
26.3.4	Chariot télescopique	772
26.3.5	Entraînements	773
26.4	Finisseurs	774
26.4.1	Classification	774
26.4.2	Structure d'un finisseur	774
26.4.3	Fonctionnement	775
26.4.4	Table de pose	775
26.4.5	Dispositifs de nivellement	776
26.5	Fraiseuses à froid	777
26.5.1	Classification	777
26.5.2	Structure d'une fraiseuse à froid	777
26.5.3	Tambours de fraisage	778
26.5.4	Burin de fraisage	778
26.5.5	Porte-burins	779
26.5.6	Fonctionnement d'une fraise à froid avec châssis sur chenilles	779
26.6	Compresseurs de chantier	781

27 Engins de nettoyage

27.1	Balayeuses	784
27.1.1	Classification	784
27.1.2	Balayeuses latérales	784
27.1.3	Balayeuses tractées auto-aspirantes	784
27.1.4	Balayeuses portées (embarquées)	785
27.1.5	Balayeuses compactes auto-motrices	786
27.2	Chasse-neiges	787
27.2.1	Classification	787
27.2.2	Etraves	787
27.2.3	Lame à neige légère	787
27.2.4	Lame à neige multi-segments	787
27.2.5	Constructions spéciales	787
27.2.6	Bandes d'usure	788
27.2.7	Systèmes rapportés	788
27.3	Epanduses/saleuses	790
27.3.1	Classification	790
27.3.2	Epanduses avec barre d'épandage	790
27.3.3	Epanduses avec assiette d'épandage	790
27.4	Fraiseuses à neige	792
27.4.1	Turbine de déneigement	792
27.4.2	Fraiseuses à neige sans dispositif propulseur	792
27.4.3	Fraiseuses à neige avec dispositif propulseur	792
27.4.4	Balais à neige	793

28 Engins forestiers

28.1	Treuil forestiers	794
28.2	Scies à bois	797
28.2.1	Tronçonneuses	797
28.2.2	Scie circulaire sur table	804
28.2.3	Scie circulaire à bascule	804
28.2.4	Scie fendeuse	805
28.3	Fendeuses à bois	807
28.4	Abatteuses-ébrancheuses (Harvester)	808
28.5	Engins de débardage	811
28.6	Porteurs (Forwarder)	812
28.7	Remorques forestières	814

Index des mots-clés	816
---------------------	-----

Machines de travail mobiles et engins

1.1 Machines de travail mobiles

REMARQUE

Conformément à la directive 97/68/CE, les machines de travail mobiles sont « des engins mobiles, ou véhicules, pourvus ou non d'une carrosserie, non destinés au transport routier de passagers ou de marchandises et sur lesquels est installé un moteur à combustion ».

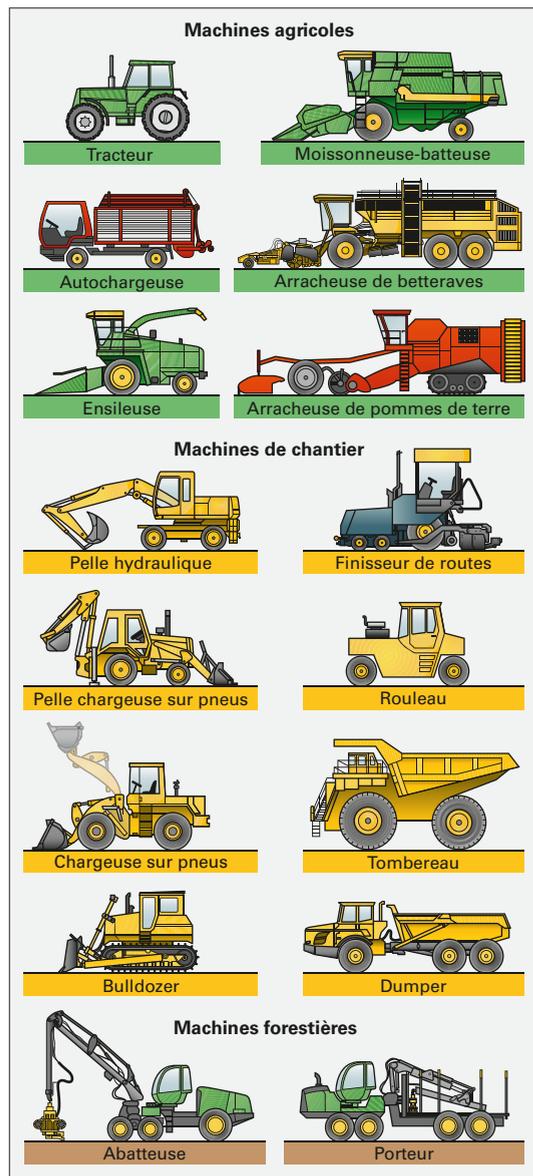


Illustration 1 : Classification des machines de travail mobiles

En fonction du secteur, il est possible de différencier les :

- Machines agricoles, par ex. tracteurs, moissonneuses, ensileuses
- Machines de chantier, par ex. pelles, chargeuses sur pneus, finisseurs de routes, niveleuses
- Machines forestières, par ex. abatteuses, porteurs
- Machines de levage et de transport, par ex. chariots élévateurs, grues mobiles.

1.2 Engins

REMARQUE

Les engins sont utilisés uniquement pour des tâches spécifiques.

Exemples d'engins pour l'agriculture, la construction et la gestion communale (ill. 2).

- Faucheuses
- Remorques
- Autochargeuses
- Épandeurs de fumier
- Débroussailluses
- Andaineurs
- Presses à balles
- Citernes à lisier
- Tondeuses
- Pompes à eau.



Illustration 2 : Engins

1.3 Maintenance et entretien

REMARQUE

La maintenance et l'entretien respectant les consignes du constructeur (par ex. en matière de service après-vente) s'avèrent indispensables pour assurer la sécurité d'exploitation d'un engin ainsi que pour préserver les droits de garantie.

Ces travaux sont définis par le constructeur dans des plans d'entretien et des catalogues de pièces de rechange. Des **instructions de réparation** sont également éditées. Elles sont disponibles sous forme de programmes informatiques (PC), par exemple.

Entretien. Pour les travaux d'entretien, il s'agit de :

- L'inspection, par ex. contrôles
- La maintenance, par ex. vidange d'huile, graissage, nettoyage
- La réparation, par ex. remise en état, échange.

Service après-vente. Les constructeurs d'engins et les ateliers offrent un service après-vente compétent. Par exemple, ils préparent la première mise en service d'un engin avant sa prise en charge par le client. En outre, le personnel qualifié exécute les travaux d'entretien que le propriétaire ne peut réaliser lui-même. Les mesures requises pour le fonctionnement et le maintien de la valeur de l'engin sont fixées par le constructeur dans des prescriptions d'entretien. Elles sont énumérées dans les plans de maintenance et d'entretien.

Les différents intervalles d'entretien sont les suivants :

- Intervalles d'entretien fixes (plan d'entretien)
- Intervalles d'entretien variables
- Stratégies de service en fonction des besoins.

REMARQUE

Les travaux d'entretien et d'inspection doivent être exécutés en conformité avec les plans fournis. La réalisation des travaux est établie dans le plan d'inspection et doit être attestée par la signature du mécanicien.

Plan d'entretien (ill. 1, page 13)

Il fournit des informations sur la périodicité des opérations d'entretien, resp. des services, par ex. si un grand service doit être effectué au bout de 400 heures de travail ou 12 mois de travail.

Plan d'inspection. Il précise l'importance prescrite de l'inspection à réaliser.

Intervalles des services variables

Les systèmes modernes de gestion du moteur permettent désormais d'adapter la périodicité des services en fonction des conditions d'utilisation des engins.

En plus des heures de travail, divers paramètres sont pris en compte pour calculer le temps restant jusqu'au prochain service. Une fois le délai atteint, le conducteur en est informé à temps grâce à un affichage lumineux (ill. 1). Les travaux pourront alors être exécutés en atelier suivant le plan d'entretien (ill. 1, page 13).

Intervalle de vidange d'huile. Il peut être déterminé de deux façons :

- Soit d'après une base de données virtuelles, c'est-à-dire en calculant les heures de travail, donc le carburant consommé et la valeur moyenne de la température de l'huile qui en résulte, pour déterminer l'indice d'usure de l'huile moteur
- Soit d'après l'état effectif de l'huile, c'est-à-dire en se basant sur un capteur qui indique le niveau de remplissage et la qualité de l'huile, fournissant ainsi des données qui sont comparées avec les heures de travail et les sollicitations du moteur.

Etat d'usure des garnitures de freins. L'usure des garnitures de freins est déterminée électriquement. Si celles-ci ont atteint la limite d'usure, un circuit s'établit au niveau de la garniture. La fréquence de freinage, la durée d'actionnement des freins ainsi que les heures de travail permettent de dégager théoriquement le temps restant. L'intervalle de changement des garnitures est indiqué au chauffeur.

Etat des filtres à air. Le calcul de la durée de vie restante du filtre à air et à pollen se base sur les données recueillies par des capteurs de température de l'air extérieur, de l'utilisation du chauffage, du réglage de la circulation d'air, de la vitesse de déplacement, du régime du ventilateur, des heures de service et de la date.

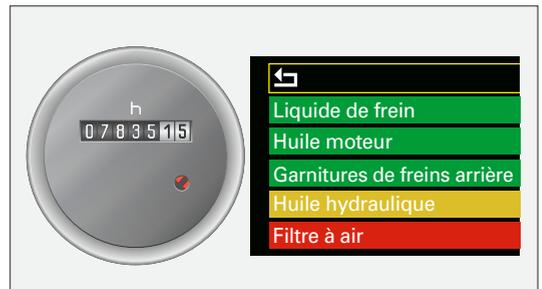


Illustration 1 : Compteur d'heures de fonctionnement – Indicateurs d'usure

L'huile hydraulique est vidangée, entre autres, en fonction du domaine d'application et des consignes du constructeur.

Les liquides tels que le liquide de refroidissement ou le liquide de frein sont changés en fonction de la durée de fonctionnement (par ex. tous les 2 ou 4 ans).

Stratégies de service adaptées au besoin

Les intervalles de service des engins agricoles et de chantier sont calculés sur la base des données recueillies telles que l'état réel des pièces d'usure et des heures de travail, ainsi que sur les conditions d'utilisation. Selon cette stratégie de maintenance axée sur les besoins, la maintenance est exécutée uniquement lorsque les composants sont usés ou les heures de travail atteintes.

L'ordinateur de bord transmet à l'utilisateur les données globales stockées et les services à effectuer.

L'atelier de maintenance a ainsi le temps de commander les éventuelles pièces de rechange, par ex. les filtres hydrauliques, et de convenir ensuite d'un rendez-vous avec le client.

Les réparations de pannes liées à une défaillance peuvent dès lors être évitées grâce à une détection précoce des problèmes. Les autres avantages sont :

- Les échéances planifiées avec exactitude
- L'absence de délai d'attente
- L'absence de la perte d'informations
- Les prestations de service flexibles.

Modules et travaux à exécuter Les travaux marqués par un « x » doivent être exécutés par le distributeur uniquement	Première inspection	Travaux de maintenance à exécuter par le client		Inspection selon le carnet d'entretien ou une fois par an		
		50 h	10 h	50 h	400 h	800 h
Moteur						
Vérification du niveau d'huile moteur	x	au quotidien		au quotidien		
Vidange d'huile moteur				•	•	•
Remplacement de(s) cartouche(s) de filtrage d'huile				•	•	•
...						
Circuit de carburant, filtre à air						
Remplacement de la cartouche de filtre à carburant	x			•	•	•
Remplacement de la cartouche de préfiltre à carburant	x			•	•	•
Lubrification du câble des gaz à main et pédale des gaz	x			x	x	x
Vérification et changement éventuel des injecteurs						x
...						
Système de refroidissement						
Vérification du niveau d'eau de refroidissement	x	au quotidien		au quotidien		
Nettoyage des lamelles du radiateur du moteur	vérifier	en fonction des besoins		en fonction des besoins		
...						
Transmission-essieu arrière-embrayage-frein-direction-prise de force avant						
Vérification du niveau d'huile de transmission	x	au quotidien		au quotidien		
Vidange de l'huile de transmission de la prise de force avant	x			x	x	x
Vérification du fonctionnement de la direction, du système hydraulique arrière, de l'attelage hitch	x			x	x	x
...						
Système électrique						
Vérification des broches de contact des connecteurs	x			x	x	x
Vérification / nettoyage des bornes de batterie	x			•	•	•
Vérification du fonctionnement de l'alternateur	x			x	x	x
...						
Divers						
Lubrification bras de relevage, bras d'attelage supérieur	x		•			
...						
Compléter et tamponner le carnet d'entretien	x			x	x	x

Illustration 1 : Plan d'entretien d'un tracteur – extrait

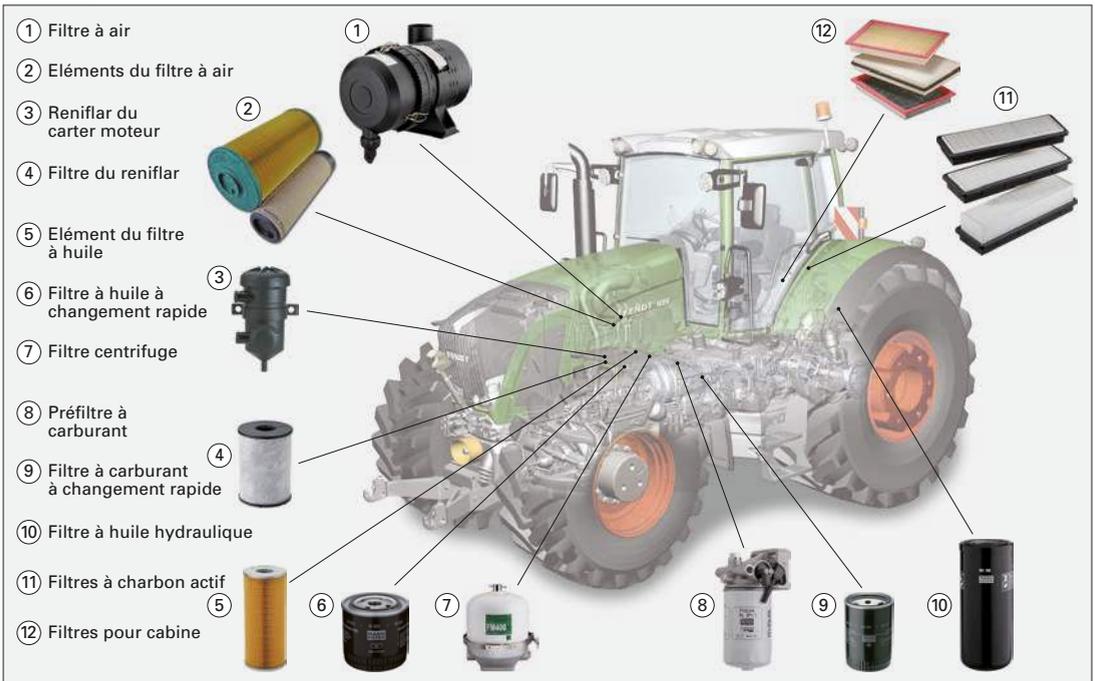


Illustration 1: Filtres des tracteurs

1.4 Filtres : montage et maintenance

REMARQUE

Dans un véhicule, les filtres ont pour fonction de préserver des impuretés le moteur, les composants et l'air respiré par les utilisateurs.

Dans un engin de travail mobile (ill. 1), les filtres peuvent être classés selon deux critères : le **principe d'action** et le **milieu** à filtrer.

Principes d'action. Les impuretés solides sont extraites des fluides, telles que par ex. l'air, l'huile, le carburant et l'eau par :

- Une action de tamis, par ex. filtre-tamis et filtre à fibres
- Une action d'adhérence, par ex. filtre humide
- Une action magnétique, par ex. séparateur magnétique
- Une action de force centrifuge, par ex. filtre à centrifugation.

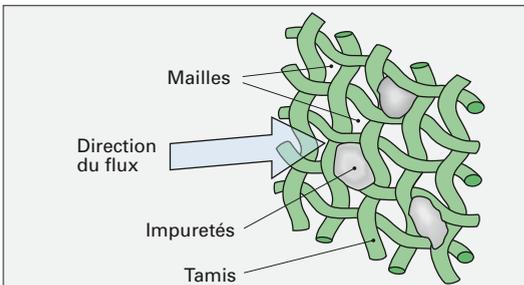


Illustration 2 : Fonctionnement d'un filtre-tamis

Filtres-tamis. L'action de filtrage est obtenue par les dimensions des mailles du filtre inférieures à la taille des impuretés (ill. 2).

Filtres à adhérence. Il s'agit principalement de filtres à air humides. Les impuretés telles que la poussière sont attirées par les surfaces huilées et y restent collées.

Filtres magnétiques. Les impuretés ferromagnétiques, par ex. celles qui proviennent du bouchon de vidange d'huile, sont extraites du milieu à filtrer.

Filtres à centrifugation. Le milieu à filtrer, par ex. de l'air, est déplacé par rotation. Les impuretés sont projetées sur les parois du filtre.

On distingue les divers filtres suivants :

- Les filtres à air et à gaz d'échappement
- Les filtres à carburant
- Les filtres à huile de lubrification
- Les filtres de cabine, par ex. filtre à pollen
- Les filtres hydrauliques.

1.4.1 Filtres à air

REMARQUE

La fonction des filtres à air est de purifier l'air d'aspiration et d'atténuer les bruits d'aspiration du moteur.

La poussière qui est dans l'air est composée de très petites particules (de 0,005 à 0,05 mm). Parfois l'air contient également du quartz. En fonction du lieu d'utilisation du véhicule (route, chantier), la quantité de poussière peut varier. Cette poussière, mélangée à l'huile moteur, risque de former une masse abrasive provoquant une usure importante, en particulier des cylindres, pistons et guides de soupapes.

Types de filtres à air

Les filtres à air suivants sont utilisés :

- Filtre à air sec
- Filtre à bain d'huile
- Filtre à air humide
- Séparateur cyclonique.

Filtres à air sec. Dans ce cas, la séparation des poussières est obtenue par des cartouches filtrantes interchangeables en papier plié en accordéon. Aujourd'hui, elles font partie de l'équipement de série des engins et véhicules. La longévité des cartouches filtrantes dépend de leur dimension et de la teneur en poussière de l'air. De grandes surfaces de filtrage sont requises, afin de réduire la résistance au flux. En outre, le filtre à air atténue également les bruits d'aspiration du moteur.

Si les filtres à air ne sont pas remplacés ou nettoyés à temps, la résistance au flux est accrue, avec pour conséquence des difficultés de formation du mélange, un remplissage incorrect des cylindres et donc une diminution de la puissance du moteur. Les poussières fines qui réussissent à passer par le filtre provoquent un épaissement de l'huile moteur, c'est pour cette raison que les filtres usagés doivent être changés.

Filtres à air humide. Ils sont toujours utilisés pour les petits moteurs. La cartouche filtrante est composée d'un tissu métallique ou d'une mousse synthétique qui est enduite d'huile. Le flux d'air aspiré vient en contact avec la grande surface couverte d'un film d'huile. Les poussières y restent collées. La durée de travail est limitée. Il faut ensuite nettoyer le filtre et à nouveau l'enduire d'huile.

Filtres à air à bain d'huile. Dans le carter du filtre se trouve un bain d'huile placé en dessous d'une cartouche filtrante en tissu métallique (ill. 1). Le flux d'air rencontre la surface du bain d'huile où la poussière reste collée. Les gouttelettes qui se détachent du bain d'huile se déposent sur le filtre métallique. De là, elles s'égouttent à nouveau et la poussière s'accumule dans le bain d'huile. Cet auto-nettoyage prolonge la durée d'utilisation.

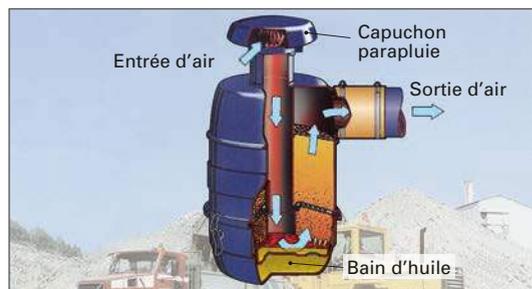


Illustration 1 : Filtre à bain d'huile

Les séparateurs cycloniques sont indispensables pour les moteurs fonctionnant en permanence dans une atmosphère chargée de poussière. Un mouvement de rotation rapide déplace l'air aspiré (ill. 2) et la poussière grossière est séparée par la force centrifuge (filtre grossier). La poussière fine restant dans l'air d'aspiration est ensuite filtrée, par ex. dans un filtre à air sec.

La combinaison de ces systèmes de filtres en augmente la longévité.

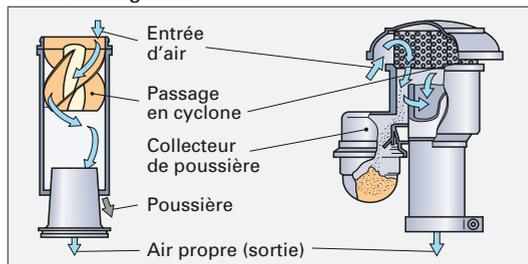


Illustration 2 : Séparateur cyclonique

1.4.2 Filtres à carburant

REMARQUE

Leur fonction est de retenir les impuretés contenues dans le carburant et, le cas échéant, de séparer l'eau du carburant.

On distingue :

- Filtres grossiers
- Filtres disposés dans le circuit
- Cartouches filtrantes
- Filtres interchangeables.

Filtres grossiers. Ce sont des préfiltres qui ont pour rôle de filtrer l'aspiration du carburant dans le réservoir. Il s'agit de tamis dont la largeur de mailles est d'environ 0,06 mm. Ils sont constitués d'un tissu ou d'une structure en polyamide à mailles serrées.

Filtres disposés dans le circuit carburant (filtres inline). Ils servent au filtrage fin. Des filtres en papier dont la taille des pores varie de 0,002 à 0,001 mm sont utilisés. Ils sont montés dans le circuit du carburant et doivent être remplacés dans leur ensemble au cours de la maintenance.

Cartouches filtrantes. Elles sont interchangeables et installées dans une cloche fixée contre le moteur ou le châssis du véhicule. Pour le filtrage fin, des éléments en papier ou en feutre sont utilisés.

Boîtiers filtres interchangeables (filtre-box) (ill. 3). Ils sont composés d'un boîtier à visser ainsi que d'une cartouche filtrante, et doivent être changés dans leur ensemble au cours de la maintenance.

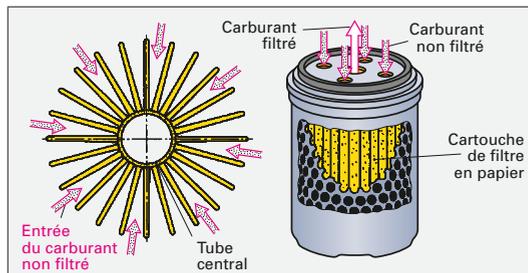


Illustration 3 : Filtre-box avec cartouche filtrante en étoile

Pour le filtrage fin, des éléments en papier ou en feutre sont utilisés. Dans la cartouche filtrante en étoile, le papier, plié en forme d'étoile, est placé autour d'un tube central perforé.

1

Les plis du papier sont fermés aux deux extrémités par une plaque de recouvrement. Le carburant passe par le filtre de l'extérieur vers l'intérieur (dans le sens radial). Les petites impuretés s'accrochent à la surface du filtre et tombent le cas échéant dans la partie inférieure du boîtier. L'eau ne peut pas traverser les pores fins du filtre et ruisselle vers le bas, hors du papier-filtre, en raison de sa densité plus élevée que celle du carburant. L'eau est accumulée dans le collecteur d'eau du boîtier du filtre. Le carburant filtré s'écoule vers l'intérieur à travers les perforations du tube central et est refoulé ensuite vers le haut du filtre.

Séparateurs d'eau (ill. 1). Ils servent à récupérer l'eau du carburant se trouvant en plus grandes quantités dans les engins de chantier ou agricoles équipés d'un moteur Diesel. Les filtres-box avec collecteur d'eau permettent d'observer l'eau accumulée à travers une cloche transparente ou de détecter l'eau à l'aide d'un capteur monté dans le filtre (sonde à conductivité électrique). Un bouchon de vidange placé sous le carter du filtre permet de vidanger l'eau accumulée.

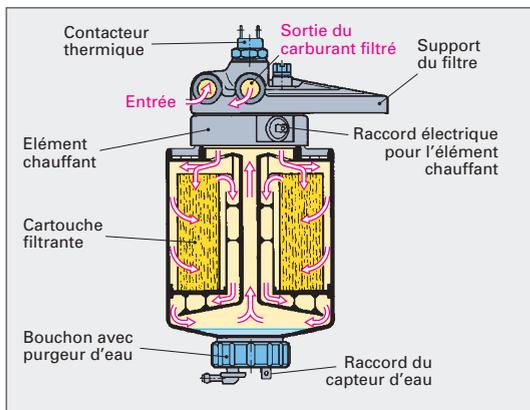


Illustration 1 : Filtre-box avec séparateur d'eau

1.4.3 Filtres à huile

REMARQUE

Ils empêchent toute altération prématurée de l'huile de lubrification en filtrant les impuretés accumulées.

Le montage et la fonction du filtre à huile sont identiques à ceux du boîtier filtre interchangeable (ill. 3, p. 15). Les cartouches filtrantes éliminent des particules d'impuretés d'une taille pouvant aller jusqu'à environ 10 µm. Les impuretés accumulées dans l'huile, telles que celles dues à l'abrasion du métal, la suie ou les particules de poussières, altèrent la qualité de l'huile et accélèrent l'usure. Les filtres à huile prolongent les intervalles de vidange et améliorent le refroidissement de l'huile. Ils ne peuvent cependant pas éliminer les impuretés liquides ou diluées dans l'huile et ils n'ont aucune influence sur les modifications chimiques ou physiques liées par ex. au vieillissement de l'huile moteur.

1.4.4 Filtres hydrauliques

Il s'agit de filtres à tamis qui permettent de nettoyer les fluides hydrauliques, comme par ex. l'hydraulique des engins de chantier ou agricole, les huiles de direction hydrostatique ainsi que les huiles de transmission.

Des tamis en matière synthétique ou métallique sont utilisés pour un filtrage grossier. Des matières synthétiques ou papiers sont utilisées pour des filtrage fins.

1.4.5 Filtres pour cabines

REMARQUE

Ils filtrent l'air respiré par les utilisateurs et les protègent ainsi de la poussière, des pollens et des gaz nocifs.

Filtres pour cabines (ill. 2). Ils se composent de trois à quatre couches. Le préfiltre retient les impuretés les plus grossières. Les impuretés les plus fines sont capturées par la charge électrostatique du non-tissé en microfibrilles de la couche intermédiaire. La troisième couche sert de support. La quatrième couche, avec charbon actif, capture les gaz nocifs tels que l'ozone ou les gaz d'échappement. Les substances malodorantes y sont également largement neutralisées.

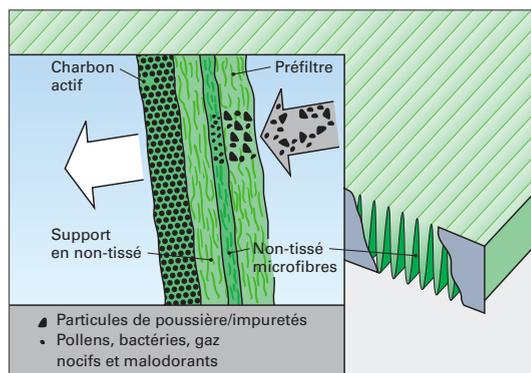


Illustration 2 : Conception d'un filtre pour cabine

1.4.6 Maintenance

CONSIGNES DE L'ATELIER

- Procéder au changement de filtres conformément aux consignes du constructeur (intervalles de temps, respectivement heures de travail).
- Les intervalles de temps sont définis dans les plans de maintenance et les changements de filtres dans les plans d'inspection (cf. chap. 1.3).
- Il faut remplacer les filtres en papier.
- Les filtres en mousse peuvent être nettoyés en utilisant de l'air comprimé, il faut souffler en sens inverse de l'admission du flux.
- Les mélanges eau-carburant qui sont récupérés dans les filtres à carburant doivent être éliminés conformément aux normes environnementales en vigueur.

1.5 Carburants, produits consommables auxiliaires

REMARQUE

Les carburants sont les produits requis pour l'utilisation d'un véhicule. Les produits consommables auxiliaires servent au nettoyage, à l'entretien et à la réparation du véhicule ainsi que des pièces.

Carburants

Carburants liquides et gazeux (par ex. essence, carburant Diesel, gaz naturel, hydrogène). L'énergie thermique dégagée par leur combustion dans le moteur est transformée en énergie cinétique.

Huiles de lubrification et les lubrifiants (par ex. les huiles pour moteurs, graisses de lubrification, graphite). Ils réduisent les frottements et l'usure des pièces mobiles en friction.

Liquides de refroidissement et les produits antigel (par ex. eau, glycol éthylnique, fluide frigorigène, glace carbonique, azote liquide). Ils protègent les moteurs contre la surchauffe et les dégâts liés au gel ou ils sont également utilisés pour la climatisation de la cabine.

Liquides de frein (par ex. l'éther glycol). Ils transmettent des grandes pressions aux systèmes hydrauliques de freinage ou de commande d'embrayage. Ils ne doivent pas se transformer en gaz avec l'élévation de la température ainsi générée.

Liquides pour la transmission des forces (par ex. huile pour transmission hydrostatique, huile silicone, huile hydraulique). Ils sont utilisés dans les convertisseurs de couple hydrodynamiques, les directions hydrostatiques, les embrayages visco-coupleur ou les systèmes de relevage hydrauliques.

Produits auxiliaires :

Les produits de nettoyage pour pièces de véhicules (par ex. essence de nettoyage, nettoyeur à froid, white spirit, produits de nettoyage pour matières plastiques).

Les produits de nettoyage et d'entretien pour véhicules (par ex. les produits de polissage pour laques, éléments en chrome et aluminium, produits de conservation, produits de nettoyage pour lave-glaces).

1.5.1 Carburants

Tous les carburants utilisés actuellement sont composés d'un mélange de différents composés hydrocarbures (ill. 1) ou d'hydrogène pur. Au cours de leur combustion, les atomes d'hydrogène et de carbone des molécules de carburant sont oxydés avec l'oxygène atmosphérique en H_2O et CO_2 . Uniquement une partie de l'énergie libérée par cette réaction chimique entraîne le moteur. Les moteurs Diesel peuvent actuellement utiliser au maximum environ 46 % comme énergie motrice, les moteurs à essence au maximum environ 35 %. Cela signifie que la principale partie de l'énergie libérée réchauffe l'environnement. Le CO_2 libéré au cours de la combustion d'hydrocarbures renforce, en tant que gaz à effet de serre, le réchauffement de l'atmosphère. C'est pourquoi des alternatives aux moteurs à combustion traditionnels sont de plus en plus recherchées.

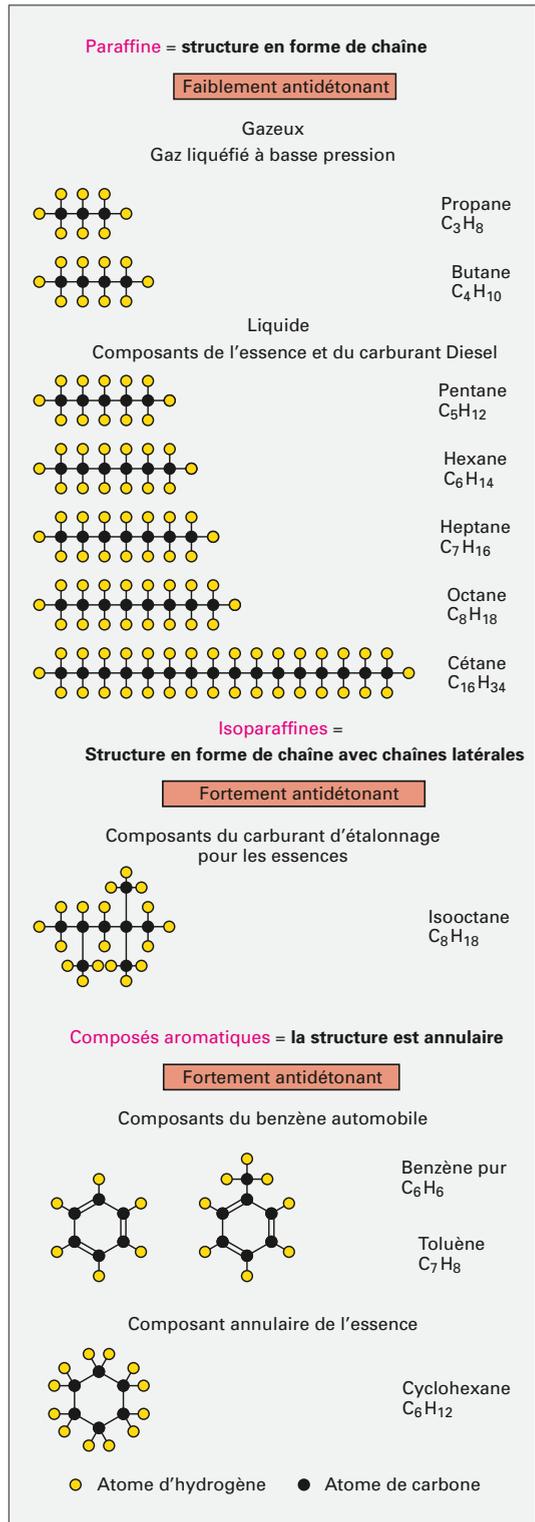


Illustration 1 : Structures des molécules d'hydrocarbures

1 Propriétés des hydrocarbures

REMARQUE

Les propriétés des hydrocarbures sont définies par la taille des molécules, le coefficient entre les nombres d'atomes de carbone et d'hydrogène et par leur structure (ill. 1, p. 17).

Alors que les substances composées de chaînes courtes (par ex. le propane C_3H_8) se présentent sous forme gazeuse, celles qui sont formées de chaînes longues (par ex. le cétane $C_{16}H_{34}$) sont liquides. La viscosité augmente avec le nombre d'atomes de C.

Les molécules d'hydrocarbures présentent des structures en forme de chaîne ou d'anneau.

La paraffine (ill. 1, p. 17) et les oléfines qui sont des paraffines à double liaison entre deux atomes de C, sont des molécules en forme de chaîne simple. Plus longue est la chaîne, plus l'inflammabilité augmente. Cette propriété en fait un carburant approprié aux moteurs Diesel, mais inapproprié aux moteurs Otto à allumage par étincelles car les chaînes de paraffine longues provoquent une combustion détonante.

Les molécules avec des chaînes latérales courtes (comme les isoparaffines) ou avec des molécules annulaires (comme les aromates ou les cycloparaffines) sont antidétonants, donc elles sont appropriées aux moteurs Otto, mais, à cause de leur faible inflammabilité, elles ne conviennent pas aux moteurs Diesel.

Les aromates extrêmement antidétonants (par ex. le benzène C_6H_6) sont cancérigènes. De ce fait, ils doivent être très peu ou pas du tout utilisés pour faire fonctionner des moteurs.

Tableau 1 : Hydrocarbures

Produit (sous forme liquide)	Masse volumique g/cm^3	Capacité antidétonante IOR
Butane C_4H_{10}	0,60	93,8
Pentane C_5H_{12}	0,63	61,7
Hexane C_6H_{14}	0,66	24,8
Heptane C_7H_{16}	0,68	0
Benzène C_6H_6	0,88	99,0

Production de carburant à partir du pétrole

La principale matière première pour la production de carburant reste le pétrole qui est composé d'un grand nombre de liaisons d'hydrocarbures. Sa composition diffère en fonction de sa provenance. En raison des variétés et propriétés différentes d'hydrocarbures, les composants individuels doivent être séparés les uns des autres. Les produits intermédiaires récupérés sont, pour une partie, transformés en carburants pour moteurs. Cela est nécessaire car le pétrole brut contient très peu de carburant de haute qualité.

Il existe deux façons de transformer le pétrole brut :

- **Par séparation**, par ex. filtrage, distillation, raffinage
- **Par transformation**, par ex. craquage, reformage, polymérisation.

Filtrage

Les impuretés grossières (sable, eau, sels) contenues dans le pétrole brut sont retirées avant de pouvoir commencer sa transformation.

Distillation

Distillation atmosphérique (ill. 1). Le pétrole est chauffé. A environ 20 °C déjà, le méthane et l'éthane se séparent (**LPG = Liquefied Petroleum Gas = désignation anglaise du gaz liquide, GPL en français**). Les carburants légers, principalement l'essence, sont issus de l'évaporation des vapeurs des composants exposés à une plage d'ébullition allant jusqu'à environ 180 °C. L'essence se compose de paraffines normales (chaînes sans embranchement) et de cycloparaffines (forme annulaire). La plage d'ébullition allant de 180 °C à environ 380 °C produit des carburants mi-lourds (carburants de turbines à gaz, kérosène, pétrole). La plage d'ébullition allant de 210 °C à environ 360 °C produit des carburants lourds pour les moteurs Diesel. Les résidus seront distillés sous vide.

Distillation sous vide (ill. 1). Dans ce cas, les résidus de distillation atmosphérique sont à nouveau chauffés, mais sous vide cette fois, ce qui abaisse leur plage d'ébullition et empêche les grosses molécules restantes de se subdiviser de manière incontrôlée. Avec ce procédé, on obtient du gasoil qui est principalement transformé en carburant Diesel, en huile de chauffage et en produits destinés à la fabrication d'huiles de lubrification.

REMARQUE

Cette production de carburants en fonction des plages d'ébullition se nomme distillation fractionnée (ill. 1).

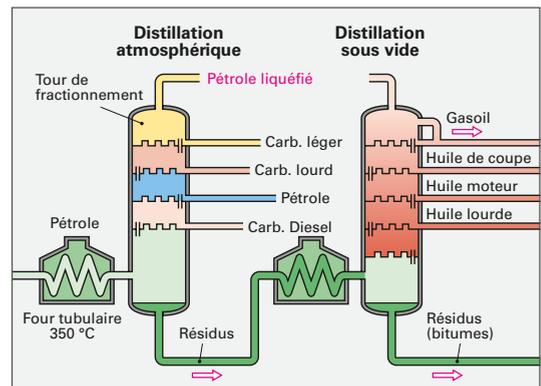


Illustration 1 : Distillation du pétrole brut