



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
Düsseldorf StraÙe 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 Erftstadt-Lechenich, Allemagne
Conception graphique de la couverture : braunwerbeagentur, 42477 Radevormwald, Allemagne
Images de titre : Liebherr-International Deutschland GmbH, Biberach,
und CLAAS KGaA mbH, Harzewinkel, 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
Rottenburg

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,
Rijnsbergen, 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
Frankfurt

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
Oberthuringau

GVS Agrar AG
Schaffhouse, Suisse

Hazet-Werk, Hermann Zerver
Remscheid

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

1	Machines de travail mobiles et engins	4.2.4	Comparateur.....	57
1.1	Machines de travail mobiles.....	4.2.5	Rapporteur d'angle.....	57
1.2	Engins.....	4.3	Calibres.....	58
1.3	Maintenance et entretien.....	4.3.1	Calibres simples.....	58
1.4	Filtres : montage et maintenance.....	4.3.2	Calibres de forme.....	58
1.4.1	Filtres à air.....	4.3.3	Calibres à tolérance.....	58
1.4.2	Filtres à carburant.....	4.4	Tolérances et ajustements.....	59
1.4.3	Filtres à huile.....	4.4.1	But de la normalisation.....	59
1.4.4	Filtres hydrauliques.....	4.4.2	Termes techniques.....	59
1.4.5	Filtres pour cabines.....	4.4.3	Domaines d'application.....	60
1.4.6	Maintenance.....	4.4.4	Ajustement.....	60
1.5	Carburants, produits consommables auxiliaires.....	4.4.5	Indication de tolérance.....	61
1.5.1	Carburants.....	4.4.6	Système d'ajustement.....	61
1.5.2	Carburants de moteurs à essence.....	4.5	Traçage.....	62
1.5.3	Carburants Diesel.....			
1.5.4	Carburants à base végétale.....	5	Technique de fabrication	
1.5.5	Mélange deux temps.....	5.1	Organisation des procédés de fabrication.....	63
1.5.6	Essence alkylate.....	5.1.1	Principaux groupes de procédés de fabrication.....	63
1.5.7	Huiles de lubrification et lubrifiants.....	5.1.2	Distinction des groupes principaux.....	63
1.5.8	Produits antigel.....	5.2	Moulage.....	65
1.5.9	Réfrigérants.....	5.2.1	Coulée.....	65
1.5.10	Liquides de frein.....	5.2.2	Frittage.....	66
		5.3	Formage.....	68
2	Protection de l'environnement et sécurité au travail	5.3.1	Formage par pliage.....	69
2.1	Protection de l'environnement au travail.....	5.3.2	Formage par compression et traction.....	70
2.1.1	Pollutions.....	5.3.3	Formage sous pression.....	71
2.1.2	Élimination.....	5.3.4	Dressage.....	73
2.2	Sécurité au travail et prévention des accidents.....	5.3.5	Procédé de formage des tôles.....	73
2.2.1	Principes de la sécurité au travail.....	5.4	Usinage par enlèvement de copeaux.....	77
2.2.2	Évaluation des risques.....	5.4.1	Principes de la séparation par enlèvement de copeaux.....	77
2.2.3	Mesures de sécurité.....	5.4.2	Usinage manuel.....	77
2.2.4	Signaux de sécurité.....	5.4.3	Principes de la séparation par enlèvement de copeaux avec des machines-outils.....	84
2.2.5	Phrases H et P*.....	5.5	Séparation sans enlèvement de copeaux.....	93
2.2.6	Institutions impliquées dans la sécurité au travail.....	5.5.1	Cisaillage.....	93
		5.6	Assemblage.....	94
3	Techniques de commande et de régulation	5.6.1	Classifications des assemblages.....	94
3.1	Principes de base.....	5.6.2	Filetage.....	95
3.1.1	Systèmes de commande.....	5.6.3	Assemblages vissés.....	96
3.1.2	Systèmes de régulation.....	5.6.4	Assemblages par goupilles.....	101
3.2	Structure des dispositifs de commande et de régulation.....	5.6.5	Assemblages par rivets.....	102
3.2.1	Signaux.....	5.6.6	Clinchage (assemblage par enchevêtrement).....	103
3.2.2	Systèmes numériques.....	5.6.7	Assemblages arbre-moyeu.....	104
3.2.3	Commandes logiques.....	5.6.8	Assemblage par pression (fretage).....	105
3.2.4	Commandes séquentielles.....	5.6.9	Assemblages par encliquetage.....	105
3.3	Formes d'énergie.....	5.6.10	Brasage.....	106
3.3.1	Énergie mécanique.....	5.6.11	Soudage.....	107
3.3.2	Énergie hydraulique.....	5.6.12	Collage.....	114
3.3.3	Énergie pneumatique.....	5.7	Traitement des surfaces.....	115
3.3.4	Énergie électrique.....	5.8	Protection contre la corrosion.....	117
		5.9	Peinture de véhicules.....	118
4	Techniques de contrôle	6	Technologie des matières premières	
4.1	Notions de base de métrologie.....	6.1	Propriétés des matières premières.....	122
4.1.1	Types de contrôle.....	6.1.1	Propriétés physiques.....	122
4.1.2	Instruments de contrôle.....	6.1.2	Propriétés techniques.....	124
4.1.3	Unités de la valeur mesurée.....	6.1.3	Propriétés chimiques.....	124
4.1.4	Erreurs de mesure.....	6.2	Classification des matériaux.....	126
4.1.5	Méthodes de mesure.....	6.3	Structure des matériaux métalliques.....	127
4.2	Les instruments de mesure.....	6.3.1	Réseaux cristallins des métaux purs.....	128
4.2.1	Identification de la mesure.....	6.3.2	Réseaux cristallins des alliages métalliques.....	128
4.2.2	Pied à coulisse.....	6.4	Métaux ferreux.....	129
4.2.3	Les micromètres.....	6.4.1	Acier.....	129

6.4.2	Matériaux ferreux de fonderie	129
6.4.3	Influence des éléments d'alliages sur les matériaux ferreux	131
6.4.4	Désignation des métaux ferreux	131
6.4.5	Classification et utilisation des aciers	133
6.4.6	Commercialisation des aciers	135
6.4.7	Traitement thermique des matériaux ferreux	135
6.5	Métaux non ferreux	139
6.5.1	Désignation des métaux non ferreux	139
6.5.2	Métaux non ferreux lourds	140
6.5.3	Métaux non ferreux légers	140
6.6	Matériaux plastiques	141
6.6.1	Thermoplastes	141
6.6.2	Duroplastes	142
6.6.3	Elastomères	143
6.7	Matériaux composites	144
6.7.1	Matériaux composites renforcés de particules	144
6.7.2	Matériaux composites renforcés de fibres	144

7 Forces, lubrification, paliers, joints

7.1	Forces lors du frottement	145
7.2	Lubrification	146
7.3	Paliers	147
7.4	Joints	150

8 Structure et fonctionnement du moteur à quatre temps

8.1	Moteur Otto à quatre temps	151
8.1.1	Mode de fonctionnement du moteur Otto à quatre temps	152
8.1.2	Caractéristiques du moteur Otto	153
8.1.3	Processus de combustion d'un moteur à essence	153
8.2	Moteur Diesel	154
8.2.1	Caractéristiques du moteur Diesel	154
8.2.2	Mode de fonctionnement du moteur Diesel	155
8.2.3	Processus de combustion dans le moteur Diesel	156
8.3	Caractéristiques des moteurs à quatre temps	156
8.4	Diagramme de travail	158
8.5	Diagramme de distribution	160
8.6	Numérotation des cylindres, ordres d'allumage	160
8.7	Moteur 4-mix	162
8.8	Courbes caractéristiques du moteur	164
8.9	Rapport course/alésage, puissance/cylindrée, masse/puissance	165

9 Moteur essence à deux temps

9.1	Moteur à deux temps	166
9.1.1	Structure	166
9.1.2	Fonctionnement	166
9.1.3	Types de commande	169
9.1.4	Particularités de construction	170
9.1.5	Utilisation de moteurs à deux temps	172

10 Moteurs pour machines de travail mobiles

10.1	Types de construction des moteurs	173
10.2	Structure du moteur Diesel	173
10.2.1	Bloc-moteur	173
10.2.2	Culasse	175
10.2.3	Embiellage	175
10.3	Distribution	178
10.3.1	Disposition de l'arbre à cames	178
10.3.2	Entraînement de l'arbre à cames	178

10.4	Test de compression	179
10.5	Suralimentation moteur	183
10.5.1	Turbocompresseur	183
10.5.2	Refroidissement de l'air de suralimentation	185
10.6	Lubrification du moteur	185
10.7	Système de refroidissement	187

11 Formation du mélange

11.1	Formation du mélange des moteurs Otto	190
11.1.1	Notions de base	190
11.1.2	Adaptation du mélange aux états de fonctionnement du moteur	191
11.2	Carburateur	192
11.2.1	Principes de fonctionnement	192
11.3	Types de carburateur	192
11.3.1	Carburateur simple corps	193
11.3.2	Carburateur à boisseau	194
11.3.3	Carburateur à membranes	195

12 Formation du mélange dans un moteur Diesel

12.1	Répartition du mélange / valeur lambda dans un moteur Diesel	197
12.2	Processus de combustion d'un moteur Diesel	198
12.3	Préinjection, injection principale, postinjection	198
12.4	Types de combustion	199
12.5	Procédé d'injection Diesel	199
12.5.1	Diagramme de travail	200
12.5.2	Travail utile, pression de travail moyenne	200
12.6	Dispositif d'aide au démarrage	201
12.6.1	Bougie-crayon	201
12.6.2	Bride de chauffage	203
12.6.3	Dispositif de préchauffage à flamme	203
12.7	Dispositifs d'injection des moteurs Diesel	204
12.7.1	Contrôle électronique de l'injection Diesel (EDC)	204
12.7.2	Systèmes Common-Rail	206
12.8	Pompe-conduite-injecteur (UPS)	216
12.9	Système injecteur-pompe	217
12.10	Pompe rotative distributrice à piston axial (VE)	221
12.10.1	VE à commande mécanique	221
12.10.2	VE à commande électronique (VE-EDC)	224
12.11	Pompe rotative distributrice à pistons radiaux (VP44)	225
12.12	Système d'injection avec pompe d'injection en ligne	227
12.13	Système injecteur-pompe électro-hydraulique (HEUI)	233
12.14	Injecteurs	234

13 Réduction de la pollution

13.1	Composition des gaz d'échappement	236
13.2	Limitation des émissions	239
13.2.1	Mesures de protection de l'air	239
13.2.2	Valeurs limites des émissions (Stage/TIER)	239
13.3	Mesures pour réduire les polluants	240
13.3.1	Mesures prises au niveau du moteur	241
13.3.2	Post-traitement des gaz d'échappement	245

14 Transmission

14.1	Concepts de transmission	257
14.1.1	Transmissions mécaniques	257
14.1.2	Transmissions hydrostatiques	257
14.1.3	Transmissions combinées	258
14.2	Notions d'accouplement	258
14.3	Embrayages à friction	259
14.3.1	Embrayages monodisques	259

15 Véhicules automobiles agricoles ou forestiers

	(système indépendant).....	348
15.7.7	ABS pour dispositifs de freinage à air comprimé	356

16.1	Exigences relatives au système roue-pneu	357
16.2	Structure des pneus, types de pneus	357
16.3	Dimensions des pneus, désignations des pneus	359
16.3.1	Pneu EM	361
16.3.2	Pneus agricoles	364

17.1	Bases de l'électrotechnique	367
17.1.1	Tension électrique	368
17.1.2	Courant électrique	368
17.1.3	Résistance électrique	370
17.1.4	Loi d'Ohm	372
17.1.5	Puissance, travail, rendement	372
17.1.6	Couplage des résistances	373
17.1.7	Mesures dans un circuit électrique	374
17.1.8	Effets du courant électrique	382
17.1.9	Protection contre les dangers du courant électrique	383
17.1.10	Production de la tension électrique	385
17.1.11	Tension alternative	387
17.1.12	Production de tension et de courant triphasés	388
17.1.13	Magnétisme	388
17.1.14	Auto-induction ou self-induction	390
17.1.15	Condensateur	391
17.1.16	Electrochimie	391
17.1.17	Composants électroniques	393
17.2	Applications de l'électrotechnique	404
17.2.1	Schéma des circuits	404
17.2.2	Avertisseurs	409
17.2.3	Equipements d'éclairage	410
17.2.4	Alimentation électrique et réseau de bord	418
17.2.5	Moteurs électriques	425
17.2.6	Démarrreur	428
17.2.7	Alternateur triphasé	435
17.2.8	Relais	445
17.2.9	Electroaimants	448
17.2.10	Système d'allumage	451
17.2.11	Technique haute fréquence	463
17.2.12	Compatibilité électromagnétique (CEM)	468
17.2.13	Capteurs	470
17.3	Transmission des données	477
17.4	Mesure, tests, diagnostics	486

18.1	Principes de base	490
18.1.1	Grandeurs hydrauliques	490
18.1.2	Hydrostatique	491
18.1.3	Hydrodynamique	492
18.1.4	Friction et perte de pression dans les conduites	492
18.1.5	Types d'écoulement du fluide	492
18.1.6	Différentes pressions dans une installation hydraulique	493
18.2	Symboles de base	494
18.2.1	Groupes de composants et leur fonctions	494
18.2.2	Symboles de base	494
18.2.3	Symboles hydrauliques	495
18.3	Schémas hydrauliques	498
18.4	Huiles hydrauliques	499
18.4.1	Exigences des huiles hydrauliques	499
18.4.2	Classification des fluides hydrauliques	499

18.4.3	Propriétés des fluides hydrauliques.....	501	19.2.6	Conduite	595
18.4.4	Miscibilité	502	19.2.7	Transport sur la route	596
18.5	Réservoir d'huile	502	19.2.8	Charrue semi-portée	597
18.6	Filtre à huile hydraulique	503	19.2.9	Charrue hybride	598
18.6.1	Conséquences de la pollution	503	19.2.10	Sécurité de surcharge (protections contre les pierres)	598
18.6.2	Infiltration de salissures dans le système	504	19.2.11	Réglage de la charrue	600
18.6.3	Degré de pollution	504	19.3	Appareils de travail du sol combinés	602
18.6.4	Classification des filtres	505	19.3.1	Herse rotative / cultivateur rotatif	602
18.6.5	Structure d'un élément filtrant	506	19.3.2	Cultivateur rotatif	604
18.6.6	Procédé de filtrage	507	19.3.3	Cultivateur	605
18.6.7	Finesse de filtration	507	19.3.4	Déchaumeur	606
18.7	Pompes hydrauliques	508	19.3.5	Bêche roulante	608
18.7.1	Classification	508	19.3.6	Vibroculteur	609
18.7.2	Types de pompe	508	19.3.7	Herse étrille	609
18.7.3	Régulation des pompes	511	19.3.8	Rouleau	609
18.8	Moteurs hydrauliques	515			
18.8.1	Classification	515	20	Technique culturale	
18.8.2	Types de moteur	515	20.1	Technique de semis	611
18.9	Vérins hydrauliques	519	20.1.1	Semis selon l'approche conventionnelle du travail du sol	611
18.9.1	Classification	519	20.1.2	Semis selon le travail de conservation du sol	612
18.9.2	Composants des vérins	520	20.1.3	Semis direct	612
18.9.3	Joints, anneaux de guidage, racleurs	521	20.1.4	Semis en bande (Strip-Till, bande fraisée)	612
18.9.4	Amortisseur de fin de course	522	20.2	Semoirs	612
18.9.5	Calcul sur le vérin	522	20.2.1	Semoirs	612
18.10	Soupapes hydrauliques	523	20.2.2	Semoirs mono graine	618
18.10.1	Distributeurs	523	20.3	Planteuses de pommes de terre	621
18.10.2	Soupapes de pression	528	20.3.1	Création des billons	621
18.10.3	Soupapes de débit	534	20.3.2	Types de planteuses de pommes de terre	621
18.10.4	Soupapes d'arrêt	541	20.4	Planteuses	624
18.10.5	Montage de soupapes	544			
18.11	Echangeur thermique	546	21	Protection phytosanitaire	
18.12	Accumulateur	547	21.1	Loi sur les produits phytosanitaires	625
18.13	Conduites	550	21.2	Produits phytosanitaires	625
18.13.1	Raccords à visser	554	21.3	Pulvérisateurs	627
18.14	Accessoires	559	21.3.1	Structure et fonctionnement des pulvérisateurs agricoles	628
18.15	Hydraulique mobile circuits de base	560	21.3.2	Contrôle des pulvérisateurs agricoles, mesures de protection et de sécurité	669
18.16	Systèmes hydrauliques	565			
18.16.1	Systèmes indépendants de la pression de charge	565	22	Récolte de fourrage	
18.16.2	Systèmes dépendants de la pression de charge	571	22.1	Etapes de la récolte de fourrage	671
18.17	Unité de direction hydrostatique (Orbitrol)	577	22.2	Faucheuses	671
18.17.1	Conception d'une direction hydrostatique	577	22.2.1	Types de coupe	671
18.17.2	Modèles d'orbitrols	577	22.2.2	Faucheuse à doigts	672
18.17.3	Fonctionnement de l'orbitrol OC/NR	578	22.2.3	Faucheuse à double lame	672
18.17.4	Orbitrol Load Sensing	579	22.2.4	Faucheuses rotatives	673
18.17.5	Colonnes de direction	579	22.3	Conditionneurs	678
18.18	Transmissions hydrostatiques	580	22.4	Faneuses	679
18.18.1	Conception	580	22.5	Andaineurs	680
18.18.2	Transmission hydrostatique d'un monoaxe	580	22.6	Autochargeuses	683
18.18.3	Transmission hydrostatique d'un véhicule à deux essieux	580	22.7	Presses	688
18.19	Commande du relevage	583	22.7.1	Presse à haute densité	688
18.19.1	Types de réglages sur les vérins de relevage	583	22.7.2	Presse à balles carrées	692
18.19.2	Classification des commandes du relevage	583	22.7.3	Presse à balles rondes	695
18.19.3	Commande hydraulique du relevage	584	22.8	Enrubanneuses	699
18.19.4	Commande électrohydraulique du relevage (EHR)	585	22.9	Ensileuses	700
			22.9.1	Structure d'une ensileuse automotrice	700
			22.9.2	Mode de fonctionnement	701
			22.9.3	Tête de récolte	701
			22.9.4	Automatisation	702
			22.9.5	Entraînement	702
19	Travail du sol				
19.1	Rôles du travail du sol	588			
19.2	Retournement du sol – labour	590			
19.2.1	Corps de charrue	590			
19.2.2	Fonctionnement de la charrue	591			
19.2.3	Modèles	592			
19.2.4	Charrue réversible	593			
19.2.5	Réglage de la largeur de travail	595			

23 Récolte de grains			
23.1 Moissonneuses-batteuses	703	26.3.2 Chariot élévateur latéral	770
23.1.1 Classification	703	26.3.3 Mât de levage	771
23.1.2 Structure et fonctionnement	703	26.3.4 Chariot télescopique	772
23.1.3 Barres de coupe	704	26.3.5 Entraînements	773
23.1.4 Convoyeur et bac à pierres	706	26.4 Finisseurs	774
23.1.5 Systèmes de battage	707	26.4.1 Classification	774
23.1.6 Système de nettoyage	711	26.4.2 Structure d'un finisseur	774
23.1.7 Trémie à grains	712	26.4.3 Fonctionnement	775
23.1.8 Andainage	712	26.4.4 Table de pose	775
23.1.9 Compensation de la pente	713	26.4.5 Dispositifs de nivellement	776
23.2 Distribution de puissance	715	26.5 Fraiseuses à froid	777
23.3 Systèmes de transmission	715	26.5.1 Classification	777
23.4 Châssis	716	26.5.2 Structure d'une fraiseuse à froid	777
23.5 Automatisation	716	26.5.3 Tambours de fraisage	778
23.6 Réglage	718	26.5.4 Burin de fraisage	778
23.7 Contrôle à distance	719	26.5.5 Porte-burins	779
		26.5.6 Fonctionnement d'une fraise à froid avec châssis sur chenilles	779
24 Récolte des plantes sarclées		26.6 Compresseurs de chantier	781
24.1 Récolteuses de pommes de terre	720		
24.2 Arracheuses de betteraves sucrières	723	27 Engins de nettoyage	
		27.1 Balayeuses	784
25 Engins de terrassement		27.1.1 Classification	784
25.1 Classifications	726	27.1.2 Balayeuses latérales	784
25.2 Pelles hydrauliques	726	27.1.3 Balayeuses tractées auto-aspirantes	784
25.2.1 Structure de base	726	27.1.4 Balayeuses portées (embarquées)	785
25.2.2 Ensembles d'une pelle hydraulique	727	27.1.5 Balayeuses compactes auto-motrices	786
25.2.3 Commande de la pelle	728	27.2 Chasse-neiges	787
25.2.4 Ensembles du châssis porteur	728	27.2.1 Classification	787
25.2.5 Ensembles du châssis tournant	731	27.2.2 Etraves	787
25.2.6 Outils portés	734	27.2.3 Lame à neige légère	787
25.2.7 Courbes d'excavation	738	27.2.4 Lame à neige multi-segments	787
25.3 Chargeuses sur pneus	739	27.2.5 Constructions spéciales	787
25.3.1 Autres chargeuses	744	27.2.6 Bandes d'usure	788
25.4 Niveleuses	745	27.2.7 Systèmes rapportés	788
25.4.1 Bouteur (bulldozer)	745	27.3 Epanduses/saleuses	790
25.4.2 Niveleuses automotrices (Grader)	748	27.3.1 Classification	790
25.5 Véhicules de transport	752	27.3.2 Epanduses avec barre d'épandage	790
25.5.1 Tombereau (Dumper)	752	27.3.3 Epanduses avec assiette d'épandage	790
25.5.2 Tombereau articulé	753	27.4 Fraiseuses à neige	792
25.5.3 Tombereau léger	754	27.4.1 Turbine de déneigement	792
25.6 Technique de compactage	755	27.4.2 Fraiseuses à neige sans dispositif propulseur	792
25.6.1 Répartition des dispositifs de compactage	755	27.4.3 Fraiseuses à neige avec dispositif propulseur	792
25.6.2 Pilonneuse	755	27.4.4 Balais à neige	793
25.6.3 Plaques vibrantes	755		
25.6.4 Rouleaux	756	28 Engins forestiers	
		28.1 Treuils forestiers	794
26 Technique de transport		28.2 Scies à bois	797
26.1 Grue à tour	758	28.2.1 Tronçonneuses	797
26.1.1 Grue à partie tournante supérieure	758	28.2.2 Scie circulaire sur table	804
26.1.2 Grue à partie tournante inférieure	758	28.2.3 Scie circulaire à bascule	804
26.1.3 Types de flèches	759	28.2.4 Scie fendeuse	805
26.1.4 Dispositifs spéciaux	760	28.3 Fendeuses à bois	807
26.1.5 Fonctionnement des modules	760	28.4 Abatteuses-ébrancheuses (Harvester)	808
26.1.6 Commande de la grue	762	28.5 Engins de débardage	811
26.1.7 Tableaux des charges	762	28.6 Porteurs (Forwarder)	812
26.1.8 Dispositifs de sécurité	763	28.7 Remorques forestières	814
26.2 Grues mobiles	764		
26.2.1 Types	764	Index des mots-clés	816
26.2.2 Montage d'une grue tout-terrain	765		
26.3 Chariots élévateurs (gerbeurs)	770		
26.3.1 Chariot élévateur frontal	770		

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 ».

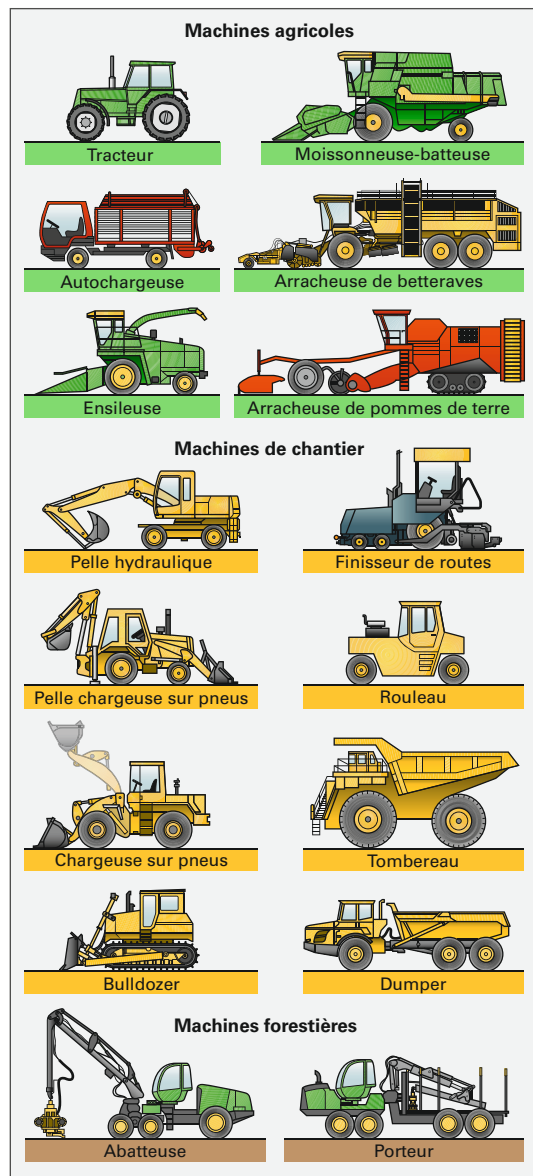


Illustration 1 : Classification des machines de travail mobiles

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.

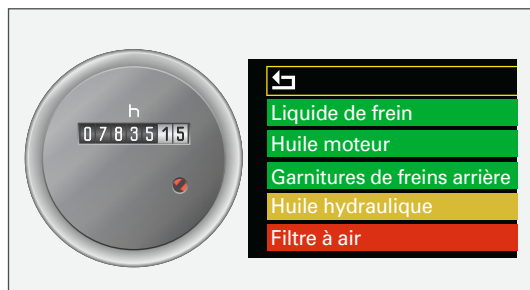


Illustration 1 : Compteur d'heures de fonctionnement – Indicateurs d'usure

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		
Intervalles d'heures de service	50 h	10 h	50 h	400 h	800 h	1200 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-embayage-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

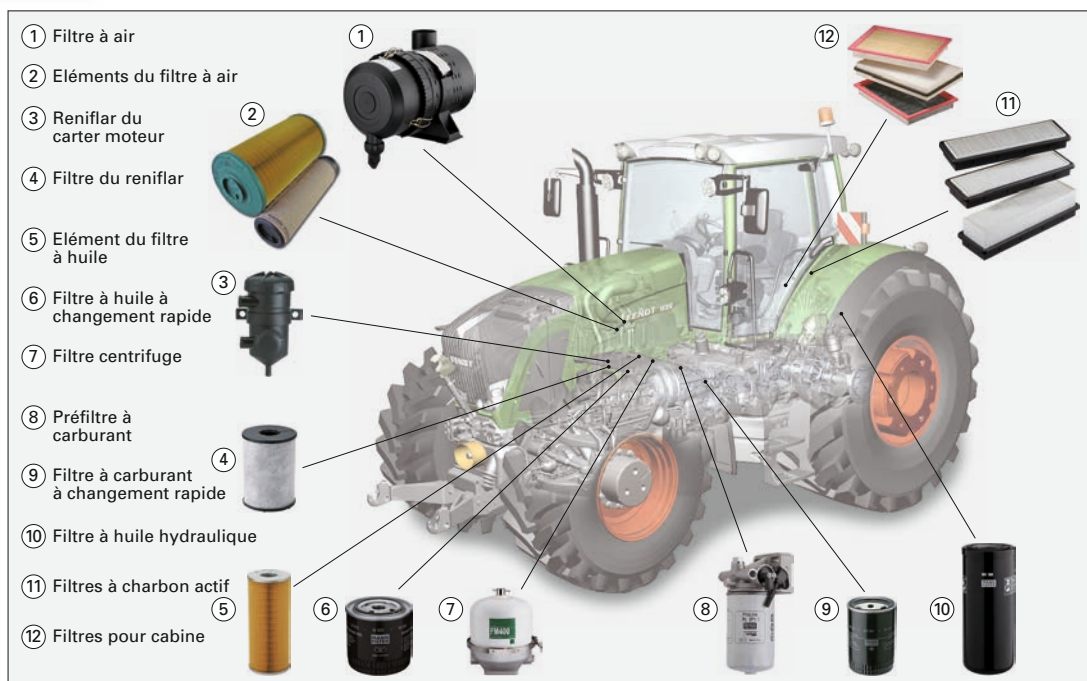


Illustration 1: Filtres des tracteurs

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.

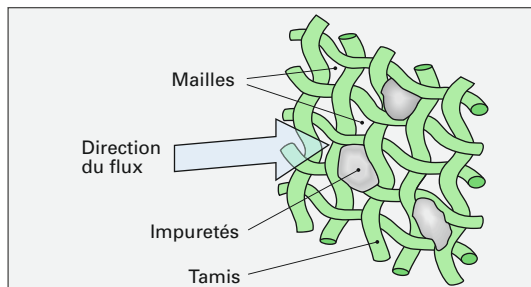


Illustration 2 : Fonctionnement d'un filtre-tamis

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.

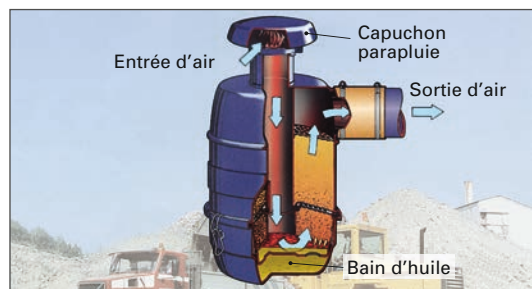


Illustration 1 : Filtre à bain d'huile

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.

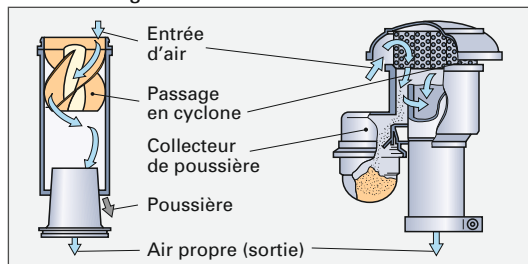


Illustration 2 : Séparateur cyclonique

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 in-line). 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.

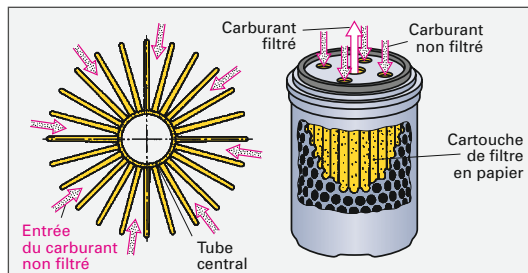


Illustration 3 : Filtre-box avec cartouche filtrante en étoile

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.

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.

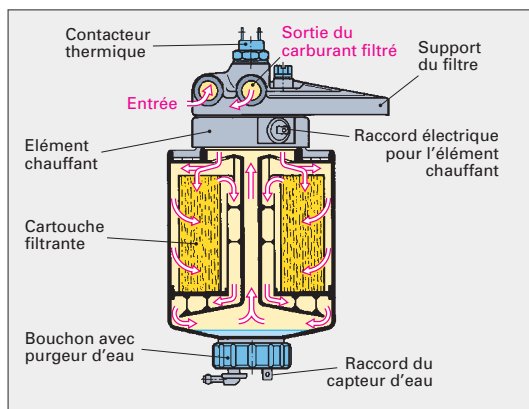


Illustration 1 : Filtre-box avec séparateur d'eau

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 microfibres 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.

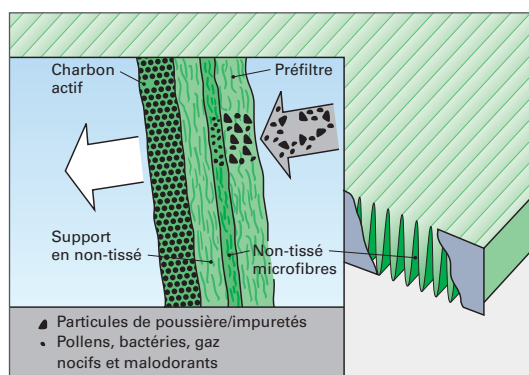


Illustration 2 : Conception d'un filtre pour cabine

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.

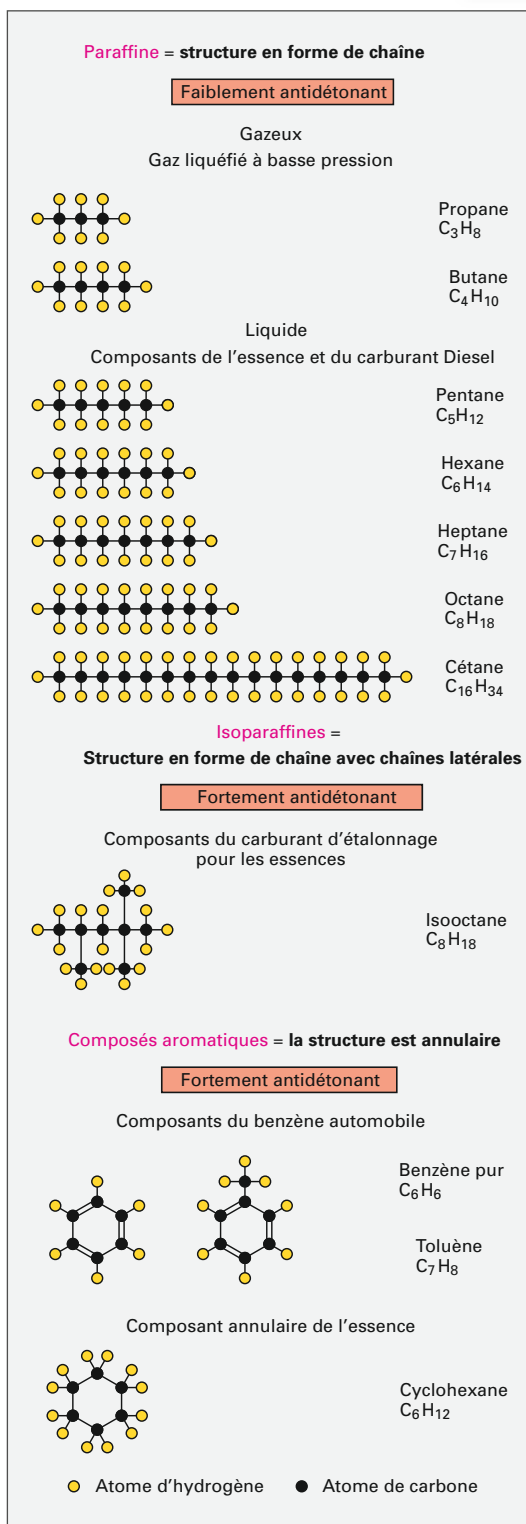


Illustration 1 : Structures des molécules d'hydrocarbures

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 antidétonantes, 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 ₄ H ₁₀	0,60	93,8
Pentane C ₅ H ₁₂	0,63	61,7
Hexane C ₆ H ₁₄	0,66	24,8
Heptane C ₇ H ₁₆	0,68	0
Benzène C ₆ H 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** = **L**iquefied **P**etroleum **G**as = 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).

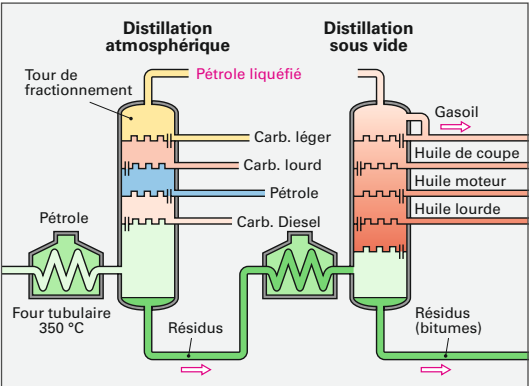


Illustration 1 : Distillation du pétrole brut

La part de la production du carburant résultant de la distillation est insuffisante pour couvrir les besoins actuels.

Le craquage permet d’augmenter la part de la production des produits de base servant à la fabrication de l’essence (tableau 1). Par rapport aux essences brutes produites par distillation (IOR = 62 à 64), les composants obtenus par craquage sont relativement antidétonants (IOR = 88 à 92).

Pour obtenir des carburants utilisables dans les moteurs, les produits intermédiaires obtenus doivent encore être soumis à des traitements de transformation spéciaux (tableau 2).

Tableau 1 : Produits d’une raffinerie

Les produits obtenus	Part
Gaz liquide (propane, butane)	3%
Essence brute, naphte	9%
Essence (carburant moteur Otto)	24%
Carburant pour turbines d’avion, le kérosène	4%
Carburant Diesel	21%
Huile de chauffage légère	21%
Huile de chauffage lourde	11%
Bitumes	3%
Lubrifiants	2%
Autres produits, la consommation propre, les pertes	2%

Procédé de retraitement

Les essences suffisamment antidétonantes ainsi fabriquées sont encore retraitées par raffinage. Cela permet d’améliorer par la suite la pureté de l’essence (élimination des résidus gazeux, du soufre et des solutions rési-

neuses). Le mélange de différentes essences et l’apport d’additifs permettent d’obtenir des qualités d’essences définies (Super plus, Super, Essence) et d’améliorer les propriétés des carburants de moteurs à essence.

1.5.2 Carburants de moteurs à essence

REMARQUE

Les carburants des moteurs à essence ont un point d’ébullition bas. Ils appartiennent à la classe de danger A I car ils sont hautement inflammables (F+ : leur point éclair est inférieur à 21 °C). De plus, ils sont toxiques et polluants. C’est pour cette raison qu’en les manipulant, il faut impérativement respecter les mentions de danger (phrases H) et les consignes de sécurité (phrases P).

Les principales propriétés des carburants de moteurs à essence sont décrites et définies dans la norme DIN EN 228.

Phase d’ébullition

Dans le moteur à essence, le carburant doit pouvoir s’évaporer complètement et facilement car il peut être brûlé uniquement sous sa forme gazeuse. La capacité du carburant à s’évaporer est représentée dans la courbe d’ébullition (ill. 1, p 20).

Comportement au démarrage à froid

Un moteur a besoin d’un carburant avec une courbe d’ébullition basse afin qu’il puisse démarrer en toute sécurité lorsqu’il est froid ou qu’il n’a pas encore atteint sa température de fonctionnement, qu’il puisse tourner correctement au ralenti. Cela signifie qu’une partie importante du carburant doit déjà être évaporée à basse température.

Tableau 2 : Procédés de transformation (production de carburant)

Craquage (de l’anglais to crack = briser)	La séparation de grandes molécules provenant de carburants lourds obtenus à des points d’ébullition élevés par décomposition en isoparaffines et oléfines plus légères et plus antidétonantes (les oléfines se différencient des paraffines par une double liaison entre deux atomes C). Il ne reste à la fin que des composants difficiles à mettre en ébullition, dont le conditionnement peut être poursuivi.	IOR 88 ... 92
Reformage	Des paraffines sous forme de chaînes extraites de la distillation sont transformées avec un catalyseur (platine : procédé de reformage) en isoparaffines et aromates antidétonants.	IOR 93 ... 98
Polymérisation	Les hydrocarbures sous forme gazeuse, obtenus par craquage et par reformage, sont concentrés par un catalyseur en plus grandes molécules, notamment en isoparaffines. Si les paraffines sous forme de chaînes droites sont transformées en isoparaffines, ce procédé se nomme l’isomérisation.	IOR 95 ... 100
Hydrogénation	Adjonction d’atomes d’hydrogène à une oléfine non saturée afin d’obtenir une isoparaffine stable et antidétonante.	IOR 92 ... 94
Alkylation	Les oléfines et les paraffines sont assemblées par réaction pour obtenir des paraffines à haute résistance à la détonation.	IOR 92 ... 94
MTBE (méthyltertiaire-butyléther)	Avec le processus de transformation, on obtient de l’isobutane. L’adjonction de méthanol produit un éther (MTBE) qui est extrêmement antidétonant.	IOR 113 ...

1

Le pourcentage de carburant évaporé à basses températures est déterminé par le **point E70** (évaporation = évaporation à 70 °C) ou par le **point T10** (température à laquelle 10 % du carburant s'évapore). Pour un démarrage à froid en toute sécurité, il est indispensable qu'au minimum 10 % du carburant soit évaporé entre 40 et 50 °C.

Comportement à chaud

Lorsque le moteur fonctionne à sa température de service, notamment en été, il existe un risque de formation de bulles de vapeur dans le système. Les carburants ne doivent arriver en ébullition qu'à partir d'une température élevée. Ils doivent être moins volatiles, c'est-à-dire avoir une courbe d'ébullition plus élevée. Cela est possible grâce à une proportion définie de carburants à haut point d'ébullition qui ont, en outre, l'avantage d'avoir un pouvoir énergétique plus élevé. Les parts de carburant évaporées à température élevée sont décrites par le **point E180** (évaporation à 180 °C) ou par le **point T90** (température à laquelle 90 % du carburant s'évapore). Une trop grande part de carburant non évaporée provoque, dans un moteur froid, une condensation du carburant sur la paroi froide du cylindre et une dilution de l'huile de lubrification.

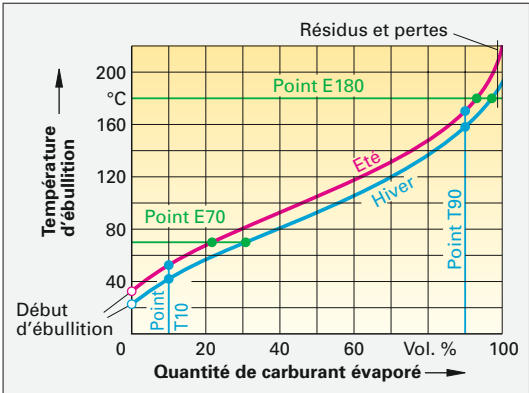


Illustration 1 : Points d'ébullition des carburants de moteurs à essence

Résistance à la détonation (IOR, IOM)

La faible propension d'un carburant à s'auto-enflammer sous l'effet de températures élevées et de la pression est nommée résistance à la détonation. Les indices définissant la résistance à la détonation sont l'indice d'octane recherché (IOR) et l'indice d'octane moteur (IOM).

Ces indices d'octane sont déterminés par un moteur monocylindre CRF (taux de compression variable) par comparaison avec un carburant de référence obtenu à partir d'un iso-octane (IO = 100) et d'un heptane normal (IO = 0). Le carburant à analyser possède l'indice d'octane 95 si sa résistance à la détonation correspond à celle d'un mélange obtenu à partir de 95 % d'iso-octane et de 5 % d'heptane normal.

L'indice IOM est inférieur à l'indice IOR étant donné qu'il est déterminé avec un régime de rotation plus élevé et avec un mélange préchauffé à environ 150 °C (tableau 1). En pratique, il s'avère que pour la plupart des moteurs de série, IOR est la valeur la plus significative pour l'apparition du cliquetis en pleine charge et à bas régime. L'indice IOM est significatif pour l'apparition du cliquetis en pleine charge lorsque le régime est élevé.

Tableau 1 : Conditions de test IOR – IOM

	Régime du moteur 1/min.	Température air admission °C	Préchauffage du mélange °C	Réglage allumage ° av. PMH
IOR	600	51,7	–	13
IOM	900	38	140 ... 160	14 ... 26

Puisque la résistance à la détonation de l'essence fabriquée à base de pétrole est insuffisante, l'apport d'additifs (antidétonants) améliore cette propriété.

Antidétonants à teneur métallique. En raison des produits toxiques émis lors de la combustion (plomb, scavengers = liaisons de brome et de chlore), ils ne sont plus utilisés en Europe.

Antidétonants sans métal. Les aromates tels que le benzène, le toluène et le xylène présentent des indices d'octane allant de 108 à 112 IOR et augmentent l'indice global du carburant auquel ils sont ajoutés. Le benzène est limité à 1 % vol. à cause de ses effets cancérigènes.

Composants organiques de l'oxygène en tant que antidétonants. Les alcools (comme méthanol, éthanol), le phénol et l'éther présentent l'inconvénient d'être difficilement solubles dans le carburant, d'avoir une odeur désagréable, d'être peu économiques et d'avoir un pouvoir énergétique faible.

MTBE (méthyl-tertiaire-butyl-éther) comme antidétonant. Grâce à un indice d'octane élevé, atteignant un IOR de 110 à 115, il peut influencer de manière importante l'indice d'octane global. En raison de son faible point d'ébullition à 55 °C, la résistance à la détonation du carburant est nettement améliorée, principalement dans les plages d'ébullition inférieures. Il est ajouté au carburant dans une proportion d'environ 10 à 15 %.

1.5.3 Carburants Diesel

REMARQUE

Les carburants Diesel sont des carburants à ébullition difficile. Ils font partie de la classe de danger A III (point éclair > 55 °C) et sont toxiques et polluants.

Les carburants Diesel sont principalement composés d'oléfinés et de paraffines (hydrocarbures saturés qui forment des chaînes). La plage d'ébullition de chaque liaison se situe entre 170 et 380 °C (ill. 1, p. 21). Les principales propriétés des carburants Diesel sont fixées par la norme DIN EN 590.