



**HAL**  
open science

## Les tracteurs agricoles

C. Cedra

► **To cite this version:**

C. Cedra. Les tracteurs agricoles. Cemagref Editions, pp.398, 1992, Coll. Formagri, 2-85362-259-2.  
hal-02581895

**HAL Id: hal-02581895**

**<https://hal.inrae.fr/hal-02581895v1>**

Submitted on 21 Jul 2023

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

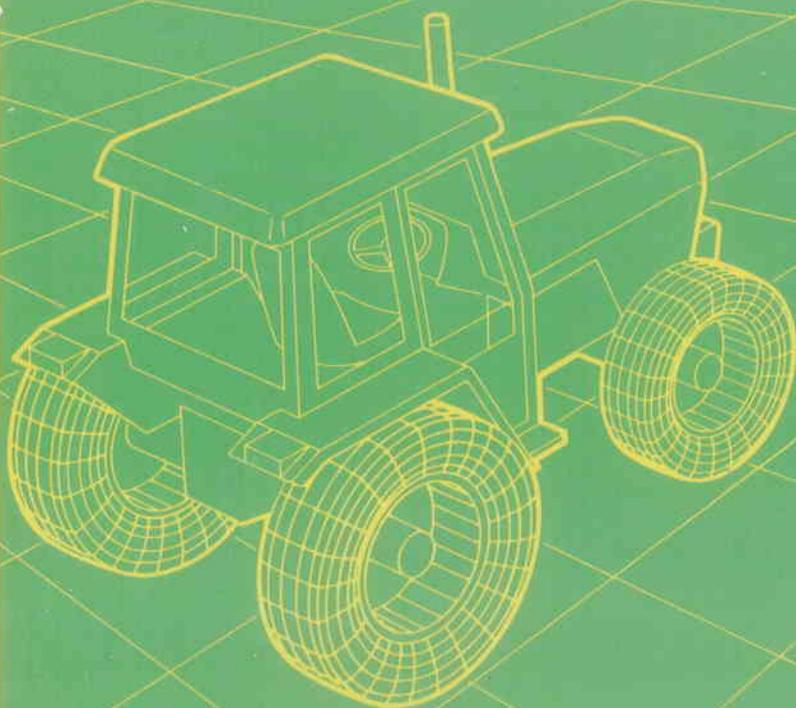
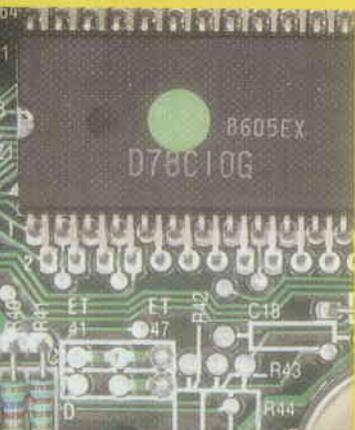
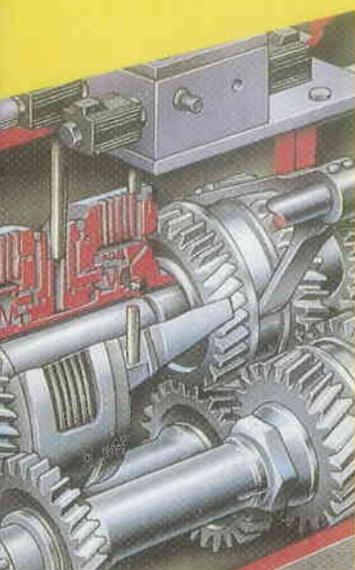
L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# LES TRACTEURS AGRICOLES

Technologies de l'agriculture

PUB00012293

Collection  
**FORMAGRI**  
Volume 2



102

CEMAGREF



CEMAGREF  
DOCUMENTATION  
CLERMONT-FERRAND



Collection *FORMAGRI*

**Volume 2**

# **Les tracteurs agricoles**

1<sup>re</sup> édition

Coordination générale  
**Camille CÉDRA**

Service Formation  
Direction de la Communication et de la Valorisation  
du CEMAGREF

coédition



DICOVA  
BP 22 Parc de Tourvoie  
92162 Antony Cedex



TEC et DOC  
14, rue de Provigny  
94236 Cachan Cedex

Le présent volume 2 de la collection FORMAGRI : **Les tracteurs agricoles**, comprend des textes et des illustrations repris d'une précédente édition, tome 1 du livre du maître *Tracteurs et machines agricoles*, publiée par le CNEEMA en 1976, sous la direction de R. CARILLON, avec la collaboration de J. ACHART, J.-F. WALTER, D. GAUTHIER et C. CEDRA ; complétée en 1978 et 1986.

© CEMAGREF-DICOVA                      et                      © LAVOISIER-TEC et DOC 1991  
ISBN Collection FORMAGRI 2-85362-221-5                      2-85206-738-2  
ISBN Vol. 2 Tracteurs 2-85362-259-2                      2-85206-809-5

Tous droits de reproduction ou représentation intégrale ou partielle, par quelque procédé que ce soit, des pages publiées dans le présent ouvrage, faite sans l'autorisation de l'éditeur ou du Centre Français du Copyright (6 bis, rue Gabriel Laumain, 75010 Paris), est illicite et constitue une contrefaçon. Seules sont autorisées, d'une part, les reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective, et, d'autre part, les analyses et courtes citations justifiées par le caractère scientifique ou d'information de l'œuvre dans laquelle elles sont incorporées (Loi du 11 mars 1957 — art. 40 et 41 et Code Pénal art. 425).

**Le CEMAGREF est un organisme de recherches dans les domaines de l'eau, de l'équipement pour l'agriculture et l'agro-alimentaire, de l'aménagement et de la mise en valeur du milieu rural et des ressources naturelles.**

**En contact permanent avec les agents économiques et les collectivités, il cherche à constituer des outils mieux adaptés dans différents secteurs d'activités :**

- eau, hydrologie, hydraulique agricole, qualité des eaux
- risques naturels et technologiques
- montagne et zones défavorisées
- forêts
- machinisme et équipement agricoles
- équipement des industries agro-alimentaires
- production et économie agricoles.

**Le CEMAGREF est un Établissement Public à caractère Scientifique et Technologique sous la tutelle des ministères de la Recherche et de la Technologie, de l'Agriculture et de la Forêt.**

**Il emploie 970 agents dont 420 scientifiques répartis en 10 groupements : Aix-en-Provence, Antony, Bordeaux, Clermont-Ferrand, Grenoble, Lyon, La Martinique, Montpellier, Nogent-sur-Vernisson, Rennes.**

Déjà publié dans la Collection *FORMAGRI*

**Volume 1**

**Lexique illustré du machinisme  
et des équipements agricoles**

ISBN FORMAGRI 2-85206-738-2

ISBN Lexique 2-85206-739-0

2<sup>e</sup> édition, 17 × 24, relié

350 pages, 1 500 termes, 286 dessins, 70 photos

Prix : 195 F

---

**A paraître en 1992 dans la même collection**

**Volume 8**

**Les matériels de récolte des grains**

## Collection **FORMAGRI**

Publiée sous la conduite de  
Bernard CHÈZE,  
chef du département Machinisme agricole  
Direction des programmes. Direction Générale du CEMAGREF

### • Objectif

La collection **FORMAGRI** — **Technologies de l'agriculture** — est destinée à remplacer et à compléter les ouvrages pédagogiques du CEMAGREF, très connus sous l'appellation « **Livres du Maître** » (six éditions successives depuis 1957).

Cette nouvelle collection propose, pour chaque thème dédié au machinisme et aux équipements agricoles, une complète actualisation et une description technologique claire s'appuyant sur de nombreuses illustrations (dessins et photos).

### • Principaux thèmes

A la suite du volume 1 (Lexique) et de ce volume 2, la nouvelle collection proposera une série d'ouvrages dédiés aux thèmes suivants :

**les matériels de travail du sol, les matériels de fertilisation et de semis, la maîtrise de l'eau dans les sols cultivés (drainage, irrigation), les matériels pour la protection des cultures, les matériels de récolte et de distribution des fourrages, les machines de récolte des céréales et des graines (maïs, oléagineux, protéagineux, céréales), les matériels pour la récolte des racines et des tubercules, les matériels pour la production viticole, les serres et les équipements de production horticoles et arboricoles, les matériels pour l'entretien de l'espace : espaces verts, exploitation forestière et chemins ruraux, les bâtiments et les équipements pour les différentes filières de production animales, les équipements pour la récolte et le stockage du lait.**

### • Comité d'orientation

La collection **FORMAGRI** est réalisée par le **CEMAGREF** en étroite collaboration avec un comité d'orientation et de suivi qui comprend des enseignants, des agriculteurs, des spécialistes du CEMAGREF, du machinisme agricole, de la mécanisation et des équipements pour l'agriculture et des organismes : **ministère de l'Agriculture (DGER, ENFA de Toulouse), INA-PG, ENSA de Montpellier et Rennes, ENITA de Dijon, Lycée Agricole de Montargis, Lycée Agricole de Savoie, FNAFPA, SYGMA, BCMA, FNCUMA, FNGEDA, Chambre de Métiers du Gers.**

# Les tracteurs agricoles

Coordination générale de l'ouvrage, rédaction,  
analyses technologiques, maquettes des illustrations,  
suivi informatique :

**Camille CÉDRA**

Service Formation

Direction de la Communication et de la Valorisation  
du CEMAGREF

## Comité de rédaction et de lecture :

### • Les partenaires du CEMAGREF

- Michel AUBINEAU, professeur à l'Institut National Agronomique de Paris-Grignon
- René AUTELLET, ingénieur agronome, direction technique Kverneland Blanchot s.a.
- Jean-Jacques BERTRAND, directeur de PERFAGRI 92
- Jean-Luc BOCHU, ingénieur SOLAGRO, Toulouse
- Jean-Paul DOUZALS, ingénieur ENITA, professeur au Lycée Agricole du Chesnoy, Montargis
- Claude-Henri DUCLUZEAU et Véronique DURANTON, ingénieurs à l'AFNOR (Association Française de Normalisation)
- Michel GRILLOT, ingénieur au BCMA (Bureau de Coordination du Machinisme agricole)
- Jean-Paul LARAT, ingénieur conseil au service *Prévention des accidents du travail* à la Caisse Centrale de la Mutualité Sociale Agricole
- Michel ORIVEL et Yves CHARPENTIER, ingénieurs au département Lubrifiants de la Société BP France

- Étienne POITRAT, ingénieur, service Agriculture de l'AFME (Agence Française pour la Maîtrise de l'Énergie)
- Guy ROBERT, chef du bureau *Hygiène et Sécurité* DEPSE, ministère de l'Agriculture et de la Forêt
- François THIRION, ingénieur agronome, professeur au Lycée Agricole de Savoie - La Motte Servolex
- Gilles VAITILINGOM, ingénieur au CEEMAT
- Les ingénieurs de la FNCUMA (Fédération Nationale des Coopératives d'Utilisation de Matériels Agricoles)
- Les ingénieurs spécialisés du CATMA (Centre d'Appui Technique du Machinisme Agricole), Chambre de métiers du Gers
- La Société des Ingénieurs et Techniciens du Machinisme Agricole : SITMA
- Les ingénieurs des sociétés membres du Syndicat Général des constructeurs de tracteurs et machines agricoles (SYGMA), et du syndicat des Entreprises de Commerce International de Matériel Agricole (SECIMA)

#### • Les ingénieurs du CEMAGREF

- La division ***Tracteurs et Machines Agricoles*** du groupement d'Antony : Jean-François BILLOT, Amor BOUHAGEB, Marc HOCQUEL, Emmanuel HUGO, René JOUVIE, Thierry LANGLE, Jean-Yves MARTIN
- La division ***Électronique et Intelligence Artificielle*** du groupement d'Antony : Didier MECHINEAU
- La division ***Technologie du Machinisme Agricole*** du groupement de Clermont-Ferrand (Montoldre) : Philippe ZWAENEPOEL, Michel BERDUCAT, Jean-Michel LE BARS et Marc ROUSSELET
- La division ***Production et Économie Agricoles*** du groupement d'Antony : Dominique CAIROL et Alain STRASMAN

**Nous remercions les centres de formation, les services techniques et de communication des constructeurs pour leur importante aide documentaire et iconographique.**

Saisie : Claudine RENEVOT. Relecture : Christine AUGUIN. Corrections et montage iconographique : Catherine HERBLOT — CEMAGREF-DICOVA

---

# PRÉFACE

---

L'Agriculture européenne est en pleine mutation. C'est peut-être en France que les structures agraires ont évolué le plus vite ces dernières années, puisque nous étions restés un pays fortement rural. Par rapport à la plupart de nos voisins, le nombre d'exploitations diminue très rapidement, on nous en prédit moins de 600 000 à la fin du siècle, les classes de superficies les mieux adaptées aux différents systèmes de production se développent préférentiellement, les activités régionales se recentrent, des cultures nouvelles se profilent à l'horizon (cultures énergétiques ?), des contingentements décidés à Bruxelles modifient brutalement le marché des produits...

Dans le même temps, les modes d'utilisation des machines et des tracteurs se diversifient même dans les grandes exploitations et concernent de plus en plus d'hectares cultivés : entrepreneurs de travaux, coopératives d'utilisation, systèmes associatifs divers. Par conséquence, la demande pour les matériels à forte capacité de travail devient prépondérante par rapport aux matériels petits ou moyens achetés en propriété individuelle par les agriculteurs des années 1970-1980.

Le **tracteur agricole** reste le symbole de l'Agriculture mécanisée, mais ce n'est plus le même engin. Outre le nombre qui décroît et la puissance moyenne qui s'accroît, le phénomène marquant de cette dernière décennie du XX<sup>e</sup> siècle est l'**évolution technologique**. Ce n'est pas une mutation technique comme celle des années 50, mais c'est une évolution étonnante du secteur, plaçant la technologie du tracteur agricole en pointe, parfois en avance sur les poids lourds ou les automobiles de série !

Le CEMAGREF bien évidemment a compris l'importance de ces matériels pour la formation et pour les formateurs, puisque le célèbre *Livre du Maître*, plusieurs fois réédité, consacrait plus d'un volume sur ce sujet, concrétisant et vulgarisant le niveau des connaissances de l'époque (période 1960-1980).

Le CEMAGREF se devait dans les années 1990 de faire la mise à jour technologique qui s'imposait. Et elle l'a fait, dans cette nouvelle collection *FORMAGRI*, d'une façon originale, efficace et très pédagogique.

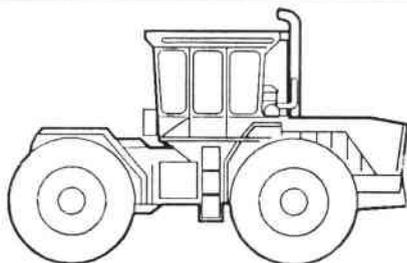
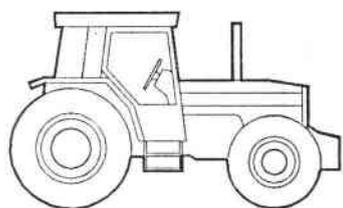
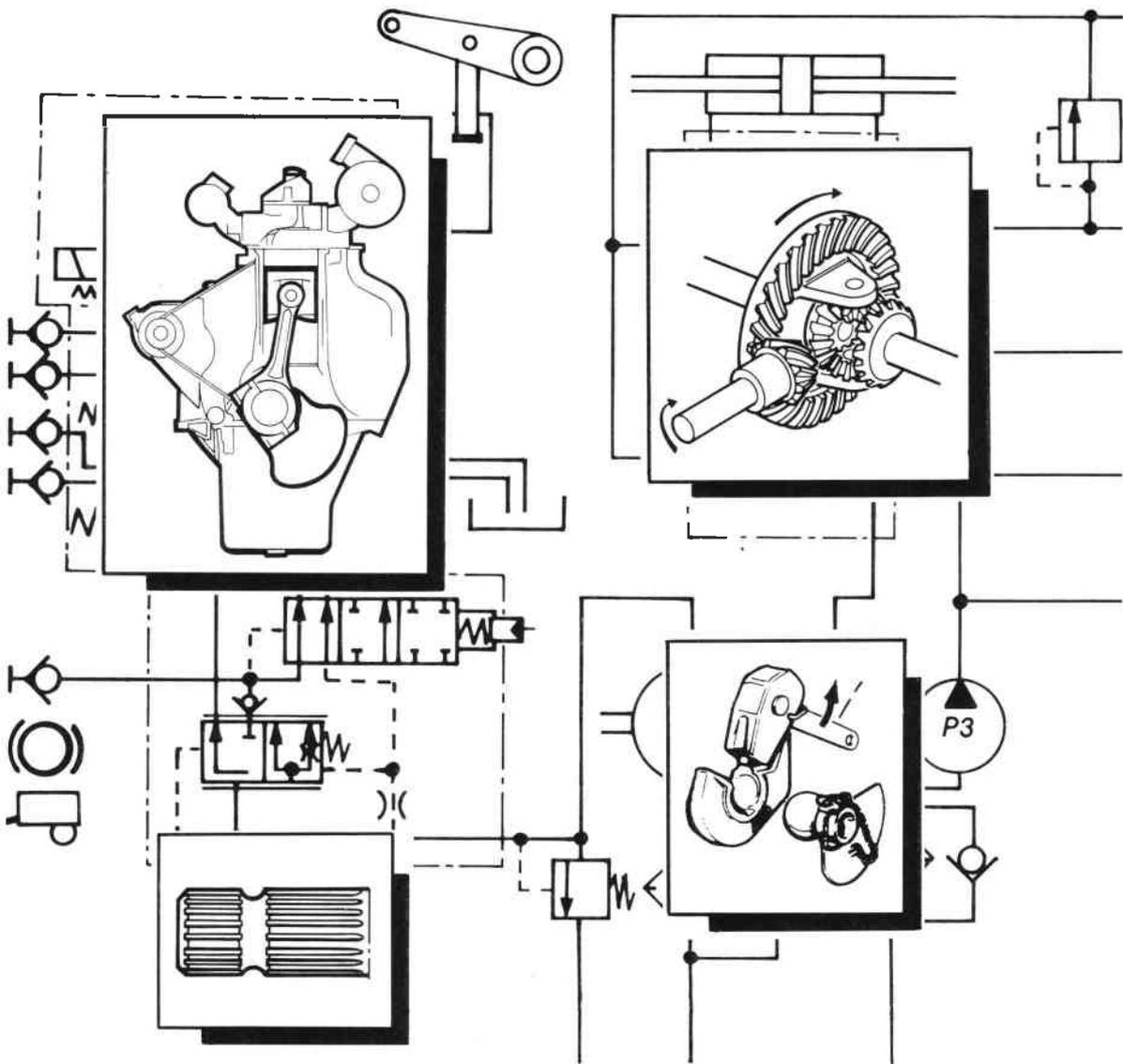
En effet, à la classique présentation didactique par groupe d'organes du tracteur, on a préféré, chaque fois que c'était possible, une approche par grandes fonctions : la production d'énergie, les transmissions aux récepteurs, les automatismes électroniques ou non, les interfaces tracteur (capteur d'informations)

micro-ordinateur de gestion, analytique ou prévisionnelle... Par ailleurs, comme dans le *Livre du Maître*, l'aspect économique n'a pas été oublié, mais au contraire rénové à la lumière des progrès des organismes professionnels agricoles. On aurait pu aller plus loin dans la présentation de logiciels, de diagnostic ou d'aide à la décision liés à l'équipement de l'agriculture, mais peut-être était-ce prématuré, compte tenu de l'état d'avancement des recherches en ce domaine ? Ce sera sans doute le développement ultérieur de la prochaine édition, vers 1995... tant il est certain que le succès de cette première édition est assuré, auprès des agriculteurs, des conseillers, des distributeurs et des organismes de formation initiale ou permanente.

Que le coordinateur et l'équipe pluridisciplinaire qui ont participé à l'élaboration de cet ouvrage soient félicités de leur compétence et de leur persévérance : ingénieurs du CEMAGREF, et personnalités du monde industriel et agricole.

Longue vie à cette version nouvelle de la présentation technologique intelligente du tracteur agricole, symbole de la modernité des agriculteurs.

Michel AUBINEAU  
Professeur à l'Institut National Agronomique  
Paris-Grignon

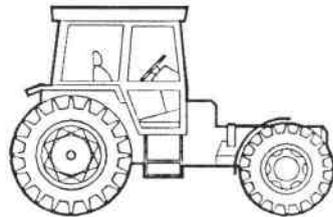
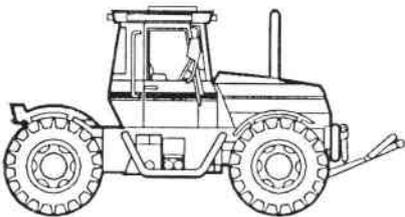


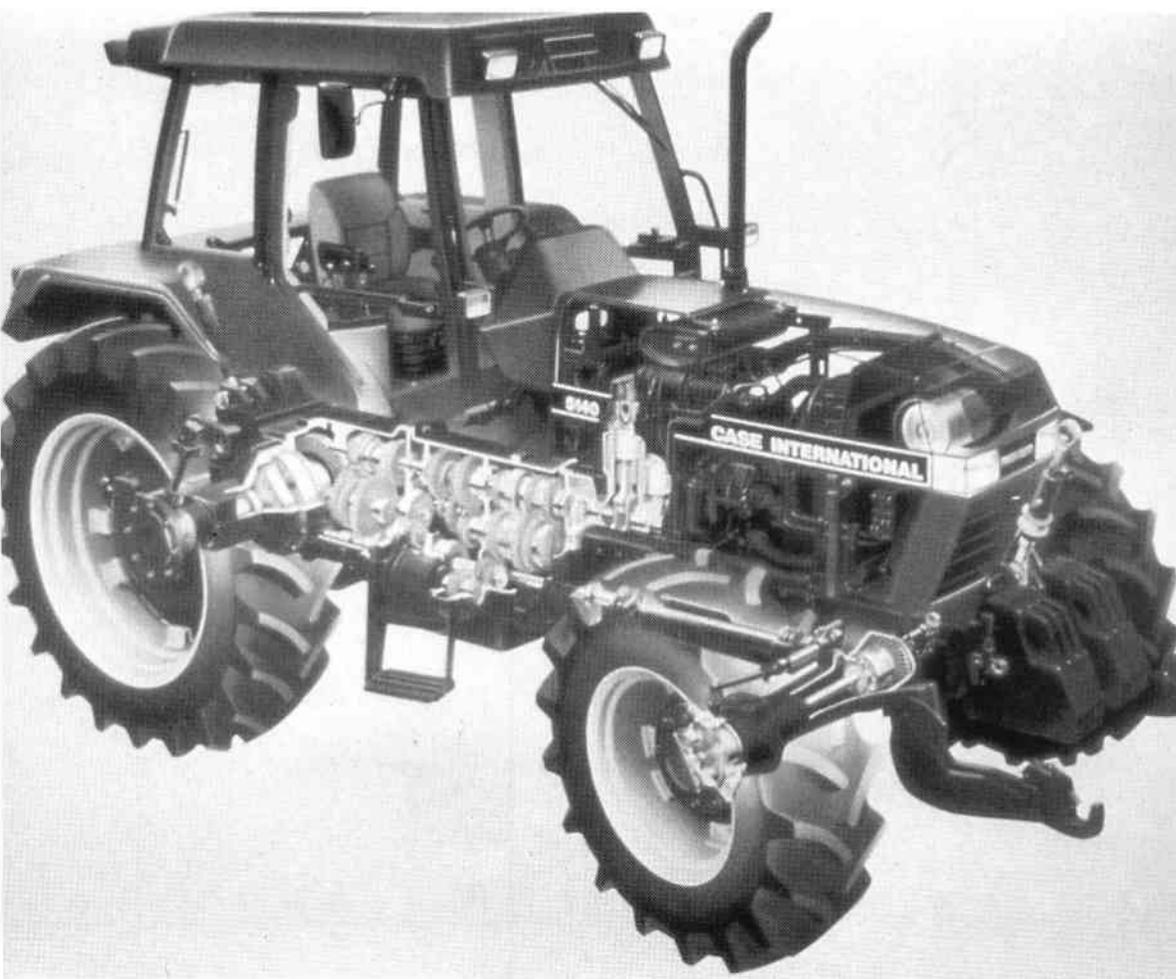
---

# SOMMAIRE

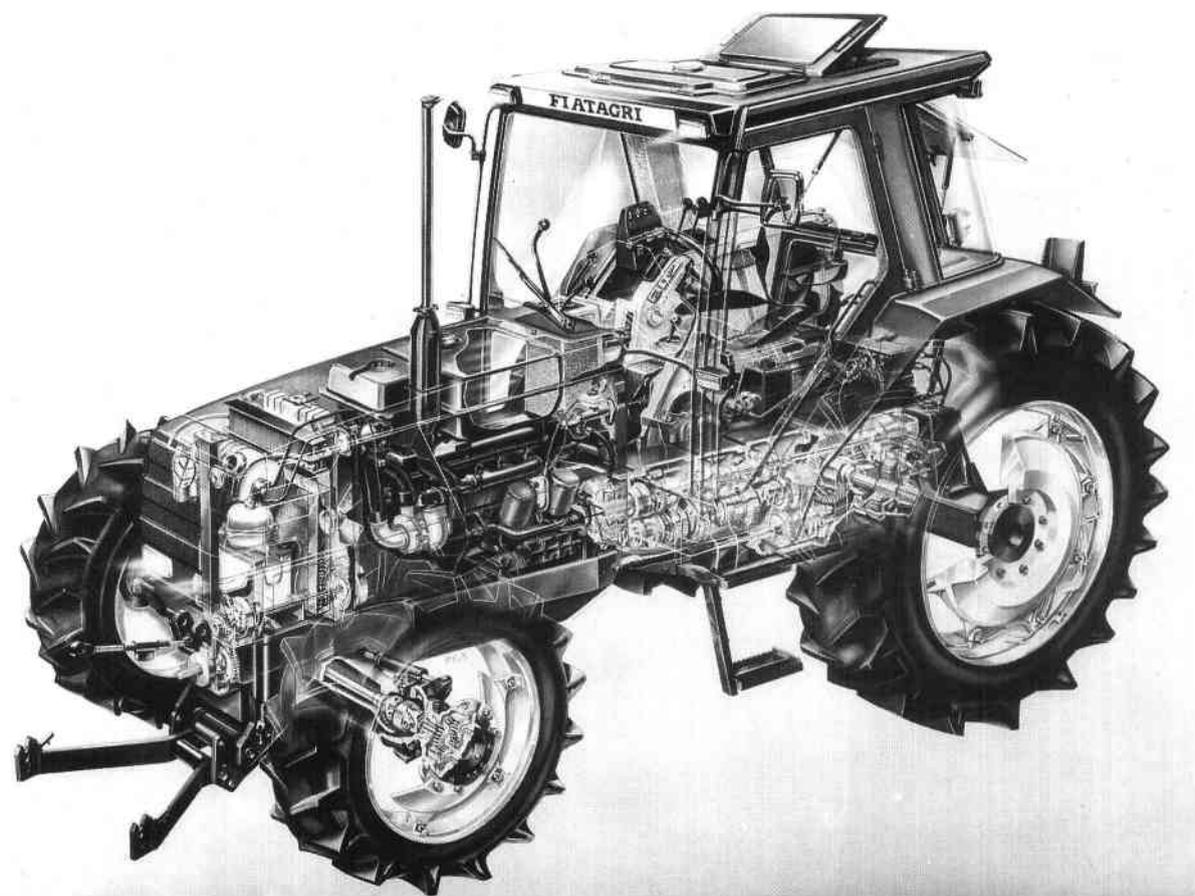
---

1. Les tracteurs agricoles, hier et aujourd'hui ...	15
2. Les équipements électroniques embarqués ...	43
3. Les moteurs .....	75
4. Les transmissions mécaniques .....	133
5. La direction, le freinage et les pneumatiques	175
6. Les transmissions hydrauliques .....	199
7. Les liaisons tracteur-outils .....	239
8. Les lubrifiants .....	271
9. L'équipement électrique .....	285
10. Les caractéristiques et les performances des tracteurs .....	303
11. L'analyse des coûts et l'utilisation des tracteurs .....	323
12. La normalisation et la réglementation .....	349
• Annexe documentaire et adresses utiles .....	363
• Index alphabétique général .....	375





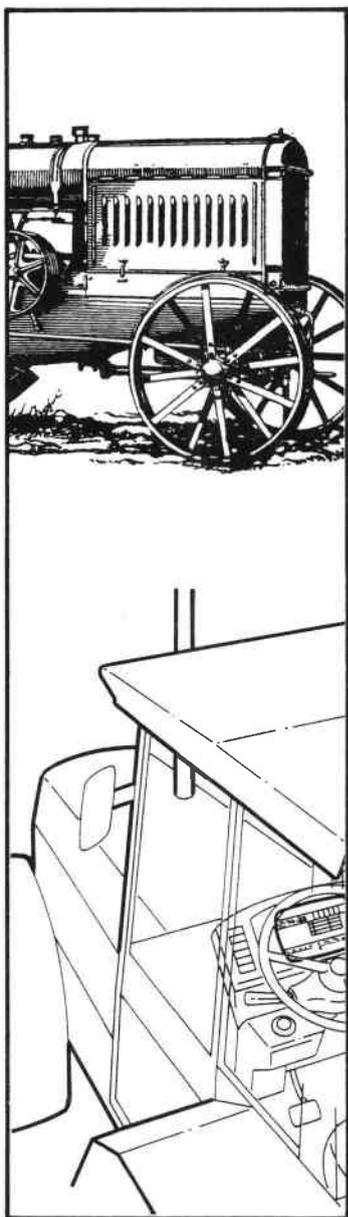
Vue en coupe d'un tracteur Case IH « Maxxum » 5140 (Document CASE IH).



Vue en coupe d'un tracteur Fiatagri « Winner » F130 (Document FIATAGRI).



**Vue en coupe d'un tracteur Renault 155.54, avec cabine suspendue,  
RENAULT AGRICULTURE (création ETA1 studio).**



- **Chronologie de l'histoire industrielle et de l'évolution des tracteurs agricoles** 17
- **Les différents types de tracteurs** ..... 22
- **Les principaux repères statistiques** ... 28
- **Notions d'ergonomie, le poste de conduite** ..... 32
- **Rappel des règles essentielles de sécurité** ..... 38



## • CHRONOLOGIE DE L'HISTOIRE INDUSTRIELLE ET DE L'ÉVOLUTION DES TRACTEURS AGRICOLES

L'historique du machinisme agricole est passionnant car il s'attache à **la forme de mécanisation la plus ancienne et la plus décisive pour l'évolution de l'humanité**. A ce sujet, de brillantes études ont été publiées en France et à l'étranger. S'agissant des tracteurs agricoles, leur histoire est surtout liée à l'invention et au développement des moteurs à combustion interne. Néanmoins, écrire méthodiquement leur histoire est une tâche considérable qui dépasse largement le cadre de cet ouvrage, si l'on songe que seulement depuis 1918, la France a connu plus de 150 marques différentes de tracteurs et qu'il n'en subsiste aujourd'hui moins de 50. La production de 15 constructeurs assure actuellement la plus grosse part du marché mondial. Pour ces raisons, nous limiterons notre propos à une simple chronologie relatant les principaux faits de l'histoire industrielle :

**1712** : Thomas **NEWCOMEN** construit en Angleterre le premier **moteur à vapeur** (utilisé pour pomper l'eau des mines de charbon, il était appelé à l'époque **pompe à feu**).

**1770** : Joseph **CUGNOT** construit le premier véhicule automobile à vapeur : « le far-dier ».

**1776** : **BOULTON** construit industriellement en Angleterre les premières machines à vapeur.

**1778** : première machine à vapeur en France.

**1781** : première machine à vapeur aux USA.

**1785** : James **WATT** met au point le **régulateur centrifuge** et la machine à vapeur à **double effet**.

**1785** : première machine à vapeur en Allemagne.

**1834** : premier essai pratique en Angleterre d'une **charrue à vapeur**.

**1849** : **première locomobile à vapeur** aux USA.

**1849** : l'Anglais **PRATT** réalise le labour par câble et moteur à vapeur, qu'il avait breveté en 1810.

**1860** : le Français **LENOIR** met au point le premier **moteur à gaz**.

**1861** : début en France de la motoculture à vapeur au moyen de machines **FOWLER** construites sous licence.

**1861** : premières expériences françaises de labour par **locomotives-treuil**.

**1862** : le Français **BEAU de ROCHAS** décrit le **cycle à quatre temps**.

**1862** : douze grands exploitants français fondent une « **Société de culture à vapeur** ».

**1872** : **BRAYTON** présente aux USA le premier **moteur 2 temps**.

**1873** : construction aux USA du premier **tracteur à chenilles** capable de tirer six socs.

**1876** : l'Allemand **Nikolaus OTTO** présente le premier moteur fonctionnant selon le cycle à quatre temps de **BEAU de ROCHAS**.

**1888** : création à Paris de la première **Station Française d'Essais de Machines Agricoles**.

**1889** : **DUNLOP** crée, en Irlande, le premier **pneumatique gonflable** (les pneumatiques ne remplaceront les roues métalliques des tracteurs qu'à partir de 1932).

**1890** : l'Allemand **DAIMLER** met au point le premier **carburateur à cuve à niveau constant**.

**1892** : l'un des tout premiers **tracteurs « à moteur à explosion »** est réalisé aux USA par **John FROELICH**, ancêtre des **John DEERE**.

**1893** : aux USA, premier tracteur mixte roues-chenilles, avec prise de mouvement pour batteuses.

**1894** : le **moteur à explosion** est présenté au **Concours Agricole de Paris**.

**1897** : **Rudolf DIESEL** fait fonctionner le premier moteur à allumage par compression.

**1902** : **Louis RENAULT** fait breveter le premier **compresseur de suralimentation**.

**1902** : aux USA, **MAC CORMICK HARVESTING** s'associe avec **DEERING HARVESTER** pour fonder **INTERNATIONAL HARVESTER**, (de 1902 à la fin des années trente, la commercialisation des produits s'est répartie sous les deux marques : Deering et Mac Cormick).

**1903** : début de la fabrication en série des tracteurs aux USA.

**1904** : introduction en France des premiers **tracteurs à moteur à « pétrole »**, importés des U.S.A et d'Angleterre.

**1904** : **HOLT « Caterpillar »** fabrique aux USA le premier tracteur à chenilles avec une roue directrice avant.

**1905** : le Suisse **BÜCHI** fait breveter le système qui va vite devenir le **turbocompresseur**. Les premières expérimentations semblent avoir été réalisées en France en 1915 par **Auguste RATEAU** sur des moteurs d'avion BREGUET. Le turbocompresseur se développa sur les tracteurs agricoles à partir des années 1970.

**1905** : fabrication des premiers coupleurs hydrocinétiques issus des travaux de l'Allemand **FÖTTINGER** (coupleurs destinés aux lignes d'arbre de bateaux).

**1906** : construction du premier tracteur agricole français à essence par **GOUGIS** (3 roues, 4 cyl., 14/16 ch, prise de force indépendante).

**1907** : la société française **TOURANT** crée le premier tracteur à **outils portés**.

**1907 : INTERNATIONAL HARVESTER** produit ses premiers tracteurs sous l'appellation, « **MOGUL** », puis « **TITAN** » en 1915 (fig. 1).

**1908 : création du Syndicat des Constructeurs Français de Tracteurs.**

**1909-1913 :** apparition en France des tracteurs à vapeur (ne pas confondre avec les locomobiles travaillant à poste fixe et les locomotives-treuil utilisées en France dès 1861).

**1910 :** début des moteurs à explosion à **soupapes d'admission commandées.**

**1911 :** apparition du premier tracteur français à quatre roues motrices : **CHATILLON-PANHARD.**

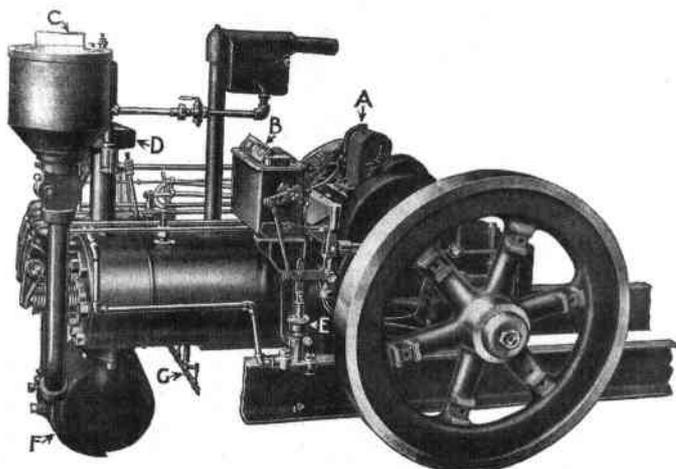


Fig. 1 — Moteur bicylindrique 4 temps à pétrole du tracteur Mc-CORMICK TITAN 10-20 : cylindrée 8,6 l — puissance 20 Ch à 500 tr/mn.

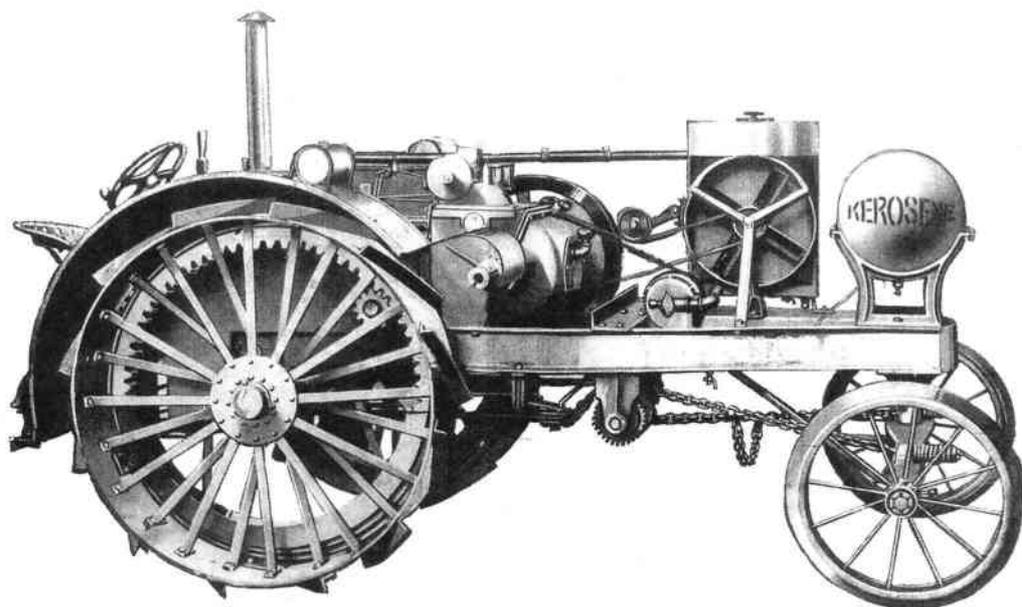


Fig. 2 — Tracteur à pétrole JOHN DEERE 12-25 : bicylindre, 25 Ch à 750 tr/mn, 2 vitesses, 2 700 kg.

**1913** : **HOLT « Caterpillar »** met au point aux USA le premier chenillard à chenilles directionnelles. La société **CATERPILLAR** fut créée en 1915 par l'association de **HOLT** et **BEST**.

**1917** : **FORD** lance le tracteur **FORDSON** à châssis monobloc et carters intégrés en fonte (100 000 unités produites de 1917 à 1925).

**1918** : **INTERNATIONAL HARVESTER** retient le régime de **540 tr/mn** pour la prise de force de son tracteur « junior 8-16 ». Cette valeur sera normalisée en 1927 par l'ASAE.

**1918** : aux USA, la firme **DEERE and Co** reprend la société **WATERLOO GASOLINE TRACTION**, fondée par John Froelich, et devient **JOHN DEERE**, (fig. 2).

**1919** : **RENAULT** lance ses premiers tracteurs agricoles, issus des engins chenillés de la guerre de 1914-1918, (fig. 3).

**1919** : aux USA, l'Etat de **Nebraska** édicte une loi soumettant tous les modèles de tracteurs à un test officiel pour pouvoir être mis en vente dans l'Etat. Il s'agit des **tests de Nebraska** qui se poursuivent jusqu'à ce jour et qui ont inspiré tous les pays à partir de 1945.

**1920** : le tracteur agricole acquière une technologie de fabrication plus affinée se rapprochant des tracteurs actuels : utilisation d'aciers alliés et traités, moteurs à com-



Fig. 3 — Tracteur à essence Renault HO de 1921 : 4 cylindres 20 Ch à 1 600 tr/mn, 2 100 kg  
(Document Renault Agriculture).

bustion interne, filtration de l'air, régulation toutes vitesses, allumage haute tension, coussinets antifriction, lubrification du moteur sous pression, refroidissement par eau, châssis monobloc, transmissions sous carter à bain d'huile, prise de force, pièces d'usure interchangeables.

**1922** : la société Allemande **LANZ** produit le premier tracteur à **moteur semi-diesel**.

**1923** : **BENZ-SENDLING** (Allemagne), présente le premier tracteur à **moteur diesel à quatre temps**.

**1925** : début du concept d'un **tracteur polyvalent**, permettant d'autres fonctions que la seule traction d'outils (substitut de la traction animale).

**1927** : l'**ASAE (American Society of Agricultural Engineers)** établit la normalisation de la prise de force.

**1928** : présentation aux USA des premiers tracteurs à **relevage mécanique** commandé par le moteur.

**1929** : **RENAULT** dépose le brevet d'un **relevage hydraulique**.

**1931** : **FIRESTONE** équipe un tracteur **ALLIS-CHALMERS** avec de vrais pneumatiques gonflables.

**1936** : début des expérimentations de tracteurs radio-commandés.

**1932** : apparition aux USA des premiers pneumatiques à basse pression sur des tracteurs.

**1932** : la **SOCIETE FRANÇAISE DE VIERZON** fabrique son premier tracteur à **moteur « semi-diesel »**.

**1935** : mise au point des premiers **relevages hydrauliques**.

**1938** : **FERGUSON** présente son relevage hydraulique doté de l'**attelage trois points**, avec **contrôle d'effort** et transfert de charge sur l'essieu moteur. Ce fut une véritable révolution dans l'histoire du tracteur agricole.

**1941** : aux USA la firme **MINNEAPOLIS-MOLINE** construit le premier tracteur alimenté au gaz de pétrole liquéfié.

**1947** : instauration du **Plan MARSHALL** : les USA mettent en place le programme de reconstruction de l'Europe (European Recovery Program). Cette date marque aussi le début de la forte croissance de la mécanisation agricole française et européenne.

**1948** : Développement des relevages hydrauliques (surtout à contrôle de position), le **système FERGUSON** demeurant le plus perfectionné.

**1948** : création de l'**OECE** (Organisation Européenne de Coopération Économique). Quelques années plus tard, en 1959, l'OECE définira un code d'essai pour les tracteurs agricoles. Ce code d'essai est encore aujourd'hui la référence internationale. En 1960, l'OECE deviendra l'OCDE (Organisation pour la Coopération et le Développement Économiques).

**1950** : développement des **prises de force semi-indépendantes et indépendantes**.

**1952** : apparition des premières **directions assistées** sur les tracteurs.

**1956** : mise en vente en France du **fuel-oil domestique détaxé** utilisable pour les moteurs diesels des matériels agricoles. Cette disposition entraîne, en France, la généralisation progressive des moteurs diesels.

**1956** : **RENAULT** lance les tracteurs diesel de la série « D » (D22, D30, D35...).

**1956** : tentatives pour équiper les tracteurs agricoles de **transmissions hydrostatiques**

**1957** : la signature du *traité de Rome* donne naissance à la **Communauté Économique Européenne**.

**1960** (années soixante) : début des transmissions dites à **amplificateurs de couple** (amplicouple FIAT SOMECA, agriomatic, amplimatic, ampli-inverseur INTERNATIONAL HARVESTER, multi-power MASSEY FERGUSON...) et à **boîtes de vitesses « power-shift »** (select-o-speed FORD, hydra-shift DAVID-BROWN...).

**1960** : lancement en France par **MICHELIN** des premiers **pneumatiques à carcasse radiale** pour l'automobile.

**1976** : La France introduit des dispositions rendant obligatoires les **structures de protection contre le renversement** pour tous les tracteurs standards vendus neufs à partir du 1<sup>er</sup> janvier 1976. C'est aussi une étape décisive **vers l'intégration de la sécurité et du confort** des utilisateurs.

**1980** : le lancement des premiers **relevages hydrauliques à commandes électroniques** marque le début du développement de **l'électronique embarquée** sur les tracteurs.

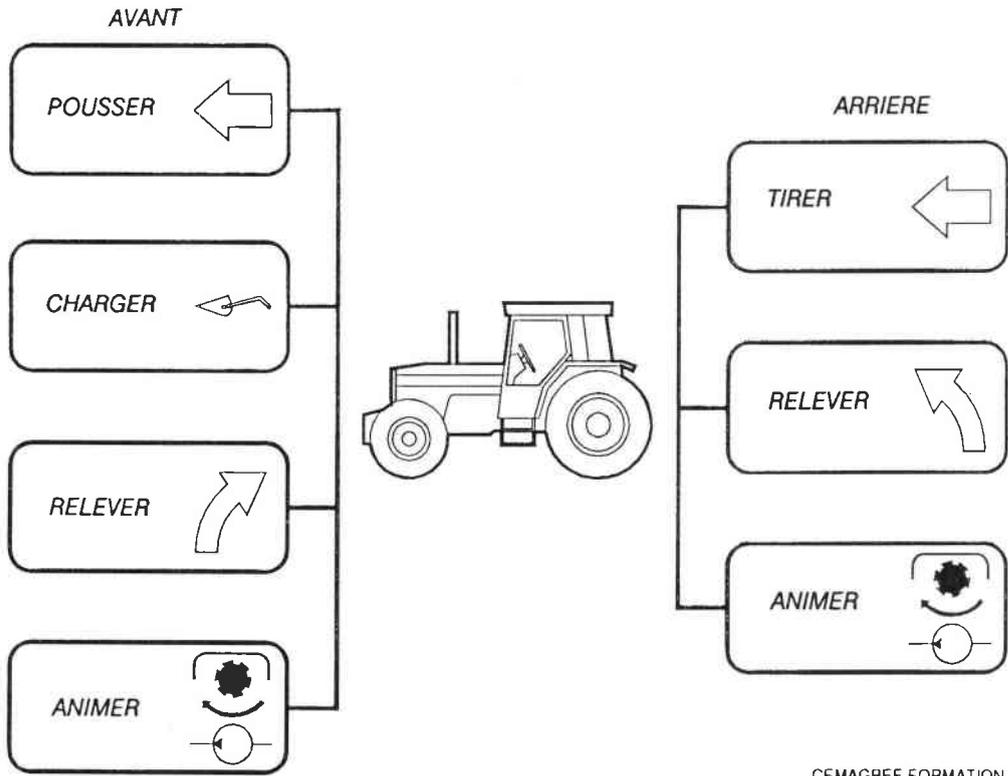
## • LES DIFFÉRENTS TYPES DE TRACTEURS :

Au sens large du terme, les tracteurs sont des engins automoteurs susceptibles de fournir **un effort de traction relativement élevé** par rapport à leur poids, même **sur un terrain dont l'adhérence n'est pas bonne**. Ils sont destinés (fig. 4) à **tirer, pousser, porter et animer** les machines ou les instruments destinés aux **travaux agricoles**.

En France, en 1991, et au sens du Code de la Route, les tracteurs « agricoles » sont obligatoirement des engins dont la vitesse maximale doit être limitée, par construction, à **30 km/h**. Des dispositions en cours d'élaboration porteront vraisemblablement cette vitesse à 40 km/h en 1993, pour les tracteurs qui répondront aux critères techniques prescrits.

### — Les tracteurs classiques à deux ou quatre roues motrices (fig. 5 et 6) :

Les tracteurs agricoles classiques sont destinés, par construction, à la traction et à l'entraînement de machines ou d'outils fixés ou attelés en divers points (à l'arrière, à l'avant, latéralement, plus rarement entre les essieux ou au dessous du tracteur) et à la traction de remorques agricoles. Certains de ces outils ou machines peuvent être entièrement **portés**, soit en déplacement, soit pendant le travail. Pour les tracteurs à quatre roues motrices, (fig. 6) les roues avant directrices ont, le plus souvent, un dia-



CEMAGREF-FORMATION

Fig. 4 – Les principales fonctions d'un tracteur.



Fig. 5 – Tracteur à deux roues motrices  
(Photo Renault – Jean Biaugeaud).

mètre plus faible que les roues arrière et elles ne sont effectivement motrices qu'à la demande du conducteur, ou parfois automatiquement. Ils ne comportent pas de châssis, les carters et les trompettes réalisant la rigidité de l'ensemble.

Afin d'adapter au mieux l'adhérence de chaque roue motrice, les tracteurs, selon qu'ils soient à deux ou à quatre roues motrices, présentent une répartition statique des masses différente sur les essieux avant et arrière (fig. 7).



Fig. 6 — Tracteur à quatre roues motrices (Photo John Deere).

— **Les tracteurs à quatre roues motrices égales** peuvent être soit à roues avant directrices, soit à articulation centrale, soit à quatre roues directrices :

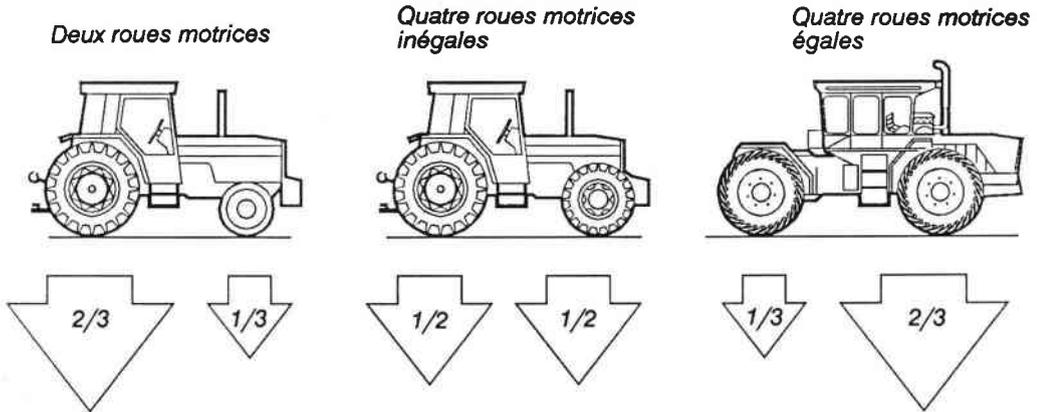


Fig. 7 — Répartition statique de masses avant et arrière selon les tracteurs.

- **Les tracteurs articulés** (fig. 8) sont munis d'un châssis en deux parties mobiles autour d'un point central. La direction est assurée par la variation de l'angle formé par les deux éléments du châssis.

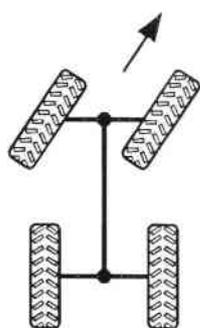
- **Les tracteurs à quatre roues directrices** (fig. 9) permettent de faibles rayons de braquage et parfois des combinaisons de déplacement telle « la marche en crabe ». Ils comportent, en général, un châssis, comme les véhicules routiers.

— **Les tracteurs porte-outils** (fig. 10), sont une évolution des tracteurs agricoles permettant d'améliorer la polyvalence et les conditions de travail. Les tracteurs porte-outils

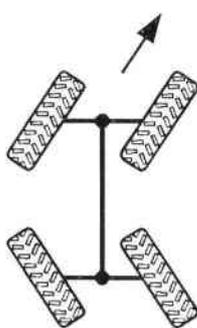


Fig. 8 — Tracteur articulé.

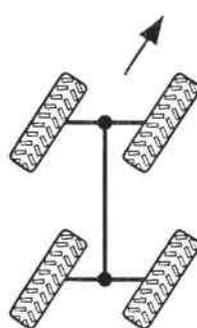
CEMAGREF-FORMATION



2 roues directrices



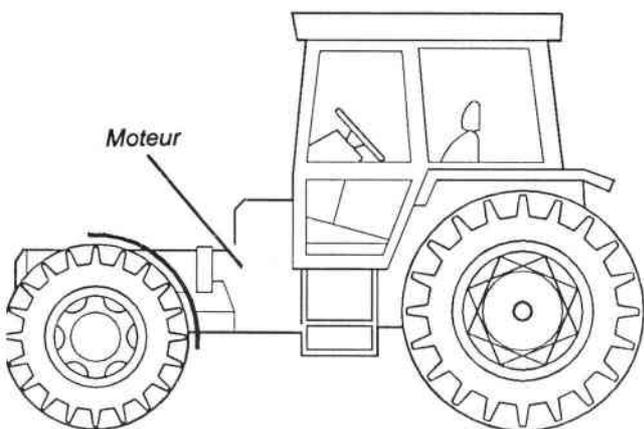
4 roues directrices à braquage AV et AR opposés



4 roues directrices marche en "crabe"

CEMAGREF-FORMATION

Fig. 9 — Options directionnelles pour un tracteur à quatre roues motrices d'égal diamètre.



CEMAGREF-FORMATION

Fig. 10 — Tracteur porte-outils Fendt.

disposent souvent d'un moteur placé sous le poste de conduite, afin d'abaisser le centre de gravité et d'accroître la visibilité. Selon les cas, des outils peuvent être placés entre les deux essieux.

Parmi les tracteurs porte-outils spéciaux, citons les **tracteurs « portique »** ou **« gantry tractors »** (fig. 11), étudiés par les centres de recherche. La figure 11 montre un prototype conçu et expérimenté au centre de recherche anglais « **Silsoe Research Institut** ». Il s'agit

d'un portique porte-outil transversal de 12 mètres de large, mu par deux roues motrices ; les deux corps de labour travaillent de chaque côté de la planche de labour. La **conduite est assistée par ordinateur**. Ce matériel fait appel au **concept machine-module**, c'est-à-dire que le porte-outils de base peut recevoir des modules adaptés à chaque opération : fertilisation, traitement, récolte... Le principal intérêt du tracteur portique réside dans la réduction très importante des surfaces soumises à l'action des pneumatiques (tassement, patinage...) et dans les nombreuses possibilités d'automatisation des travaux.

— **Les tracteurs agricoles spécialisés** sont des tracteurs présentant une architecture adaptée à certains travaux des exploitants agricoles, **tracteurs étroits** (fig. 12) **vignerons, arboricoles, fruitiers...** Les **tracteurs agricoles enjambeurs** (fig. 13), sont équipés d'un **châssis** permettant d'avoir un **dégagement important** au dessus du sol (1 mètre ou davantage) pour le travail dans les vignes ou les cultures arbustives basses, de manière à **enjambrer** les rangs cultivés. Les tracteurs enjambeurs sont équipés de dispositifs d'attaches et de relevages leur permettant de mettre en oeuvre des équipements de travail du sol, de traitement phytosanitaire, de rognage, de vendange, etc.

— **Les tracteurs forestiers**, articulés ou non, à **quatre roues motrices** (souvent

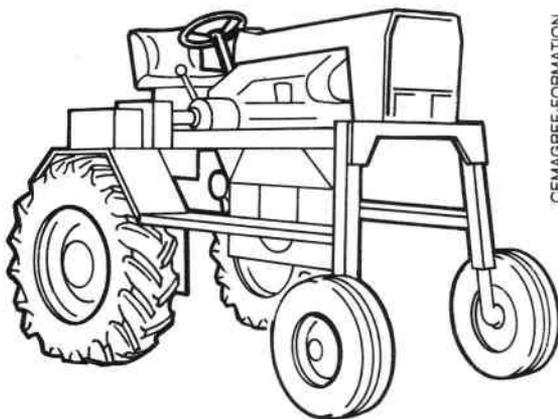


Fig. 11 — Tracteur portique (gantry system) conçu et expérimenté en Angleterre au Silsoe Research Institut (Photo Silsoe Research Institut).



Fig. 12 — Tracteur étroit (Photo Renault Agriculture).

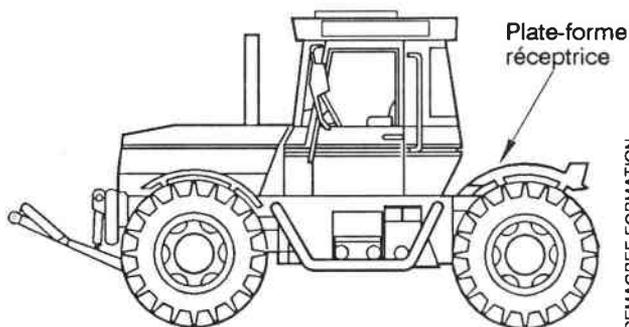
toutes directrices), sont dérivés des tracteurs agricoles ou des engins de travaux publics. Ils sont munis d'un **bouclier**, de divers dispositifs de protection du conducteur et des mécanismes (**cadres** et **blindages**, vitrages spéciaux ou protégés, protecteurs de valves des pneumatiques,...) et de **dispositifs de levage ou de débardage** (treuils,...), permettant les **travaux en forêt**.



CEMAGREF-FORMATION

Fig. 13 – Tracteur enjambeur.

— **Les tracteurs agricoles rapides** appelés aussi « **tracteurs agro-routiers** » (fig. 14), peuvent circuler à plus de 30 km/h. Ces véhicules sont alors considérés comme des engins routiers et doivent alors impérativement répondre aux mêmes exigences : immatriculation, code de la route, carburant routier, permis de conduire... Ce type de véhicules, peu utilisé en France, est plus répandu en Allemagne et en Grande-Bretagne.



CEMAGREF-FORMATION

Fig. 14 – Tracteur polyvalent rapide JCB.

— **Les microtracteurs** (fig. 15) à deux ou quatre roues motrices de **taille et de puissance réduites**, sont destinés aux travaux sur de petites surfaces : horticulture, entretien de jardins et d'espaces verts, etc.

— **Les tracteurs à chenilles** dits aussi « **chenillards** » (fig. 16) sont des engins de traction dont les organes de propulsion sont composés uniquement de deux **chenilles** métalliques ou caoutchoutées, entourant un **barbotin-moteur** et une **roue de tension**, le poids du tracteur étant réparti sur plusieurs galets-porteurs appliquant la chenille au sol. Ce type de tracteur exerce une faible pression au sol, ce qui permet son évolution sur des surfaces à faible portance.

Souvent, les tracteurs à chenilles utilisés en agriculture sont dérivés des matériels de génie civil. Cependant, des tracteurs à chenilles souples, non métalliques, spéciale-



Fig. 15 — Microtracteur (Document Ferrari).

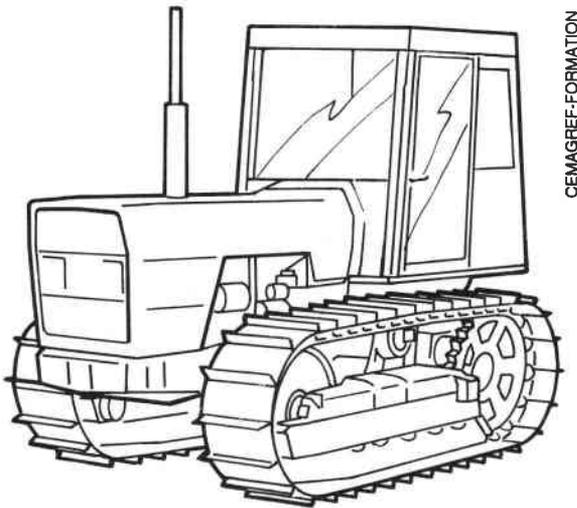


Fig. 16 — Tracteur à chenilles.

ment adaptés aux travaux agricoles, se développent notamment aux U.S.A avec des matériels CATERPILLAR et en Grande-Bretagne par la société TRACK MARSHALL.

Il existe des **tracteurs vignerons à chenilles** dont la voie étroite permet de travailler entre les rangs de vigne.

#### • LES PRINCIPAUX REPÈRES STATISTIQUES :

Selon le Recensement Général de l'Agriculture, (RGA) de 1988, la France aurait un **parc théorique de 1 476 273 tracteurs agricoles**. Compte-tenu des mises à la réforme

Europe orientale 370 000

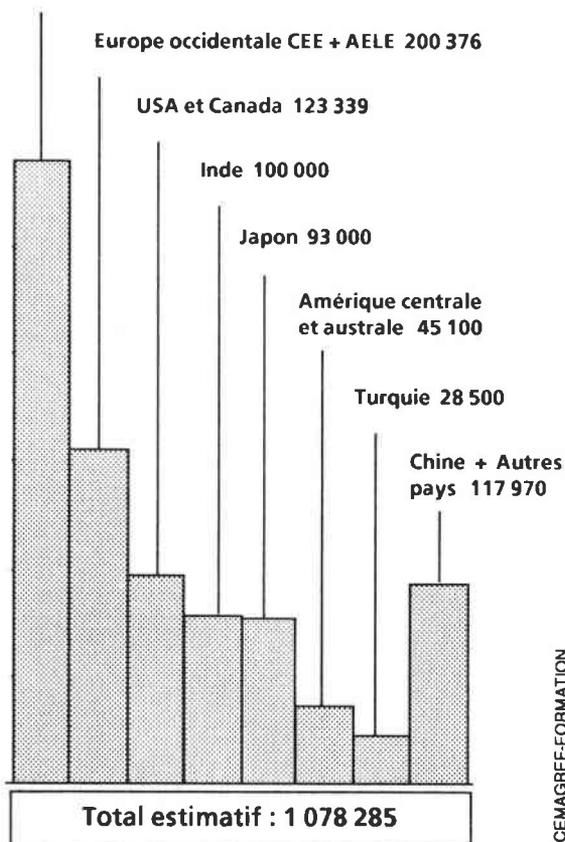


Fig. 17 — **Marché mondial estimatif des tracteurs en 1990** (Source SYGMA).

et de la très faible utilisation de la partie la plus ancienne de ce parc, on peut estimer à **1 036 000 le parc français réellement en service en 1990**.

Toujours en 1990, **la puissance moyenne des tracteurs** vendus en France était de **59 kW**, soit une augmentation de **19 %** en 10 ans (en 1980, la puissance moyenne des tracteurs vendus en France était de 49,5 kW).

**Plus de 2,7 millions de tracteurs** ont été achetés par les agriculteurs français, **depuis 1947** ! Auparavant le parc en service dépassait à peine 30 000 tracteurs actionnant batteuses fixes ou travaillant le sol dans les grandes exploitations. Les répartitions globales du **marché mondial et du marché européen** pour 1990, sont représentées par les figures 17 et 18. Les figures 19 et 20 présentent la répartition des ventes en France en 1990, par catégorie de puissance et l'évolution du marché français depuis 1980, (sources : immatriculations et SYGMA, se reporter aussi en fin d'ouvrage à la rubrique : adresses utiles).

A la date d'achèvement des textes de cet ouvrage, les prévisions de vente en France de tracteurs neufs pour l'année 1991, indiquent une chute importante du marché (18 à 25 %).

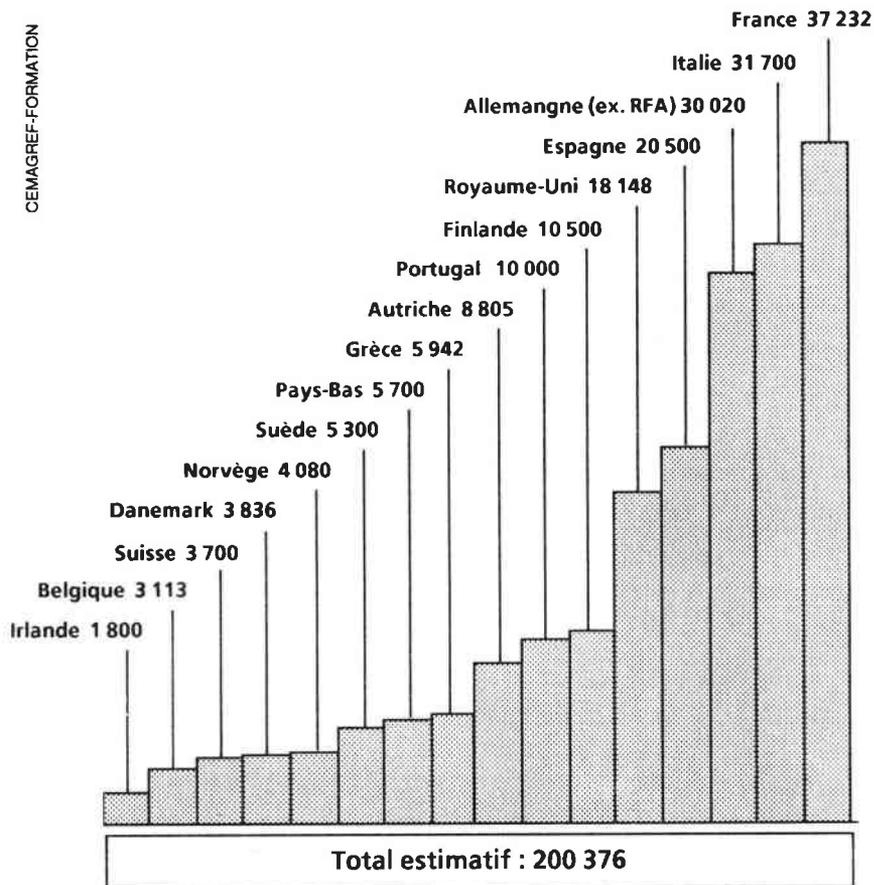


Fig. 18 — Le marché Européen des tracteurs neufs en 1990  
(Sources SYGMA).

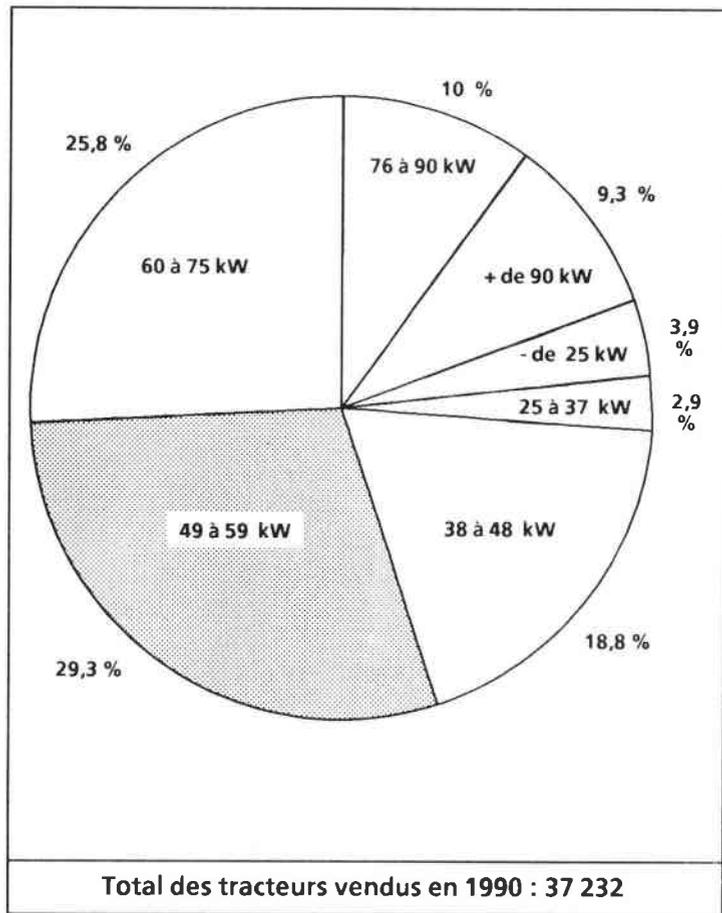


Fig. 19 — Répartition des ventes des tracteurs en France pour 1990 et par catégorie de puissance (Source SYGMA et immatriculations).

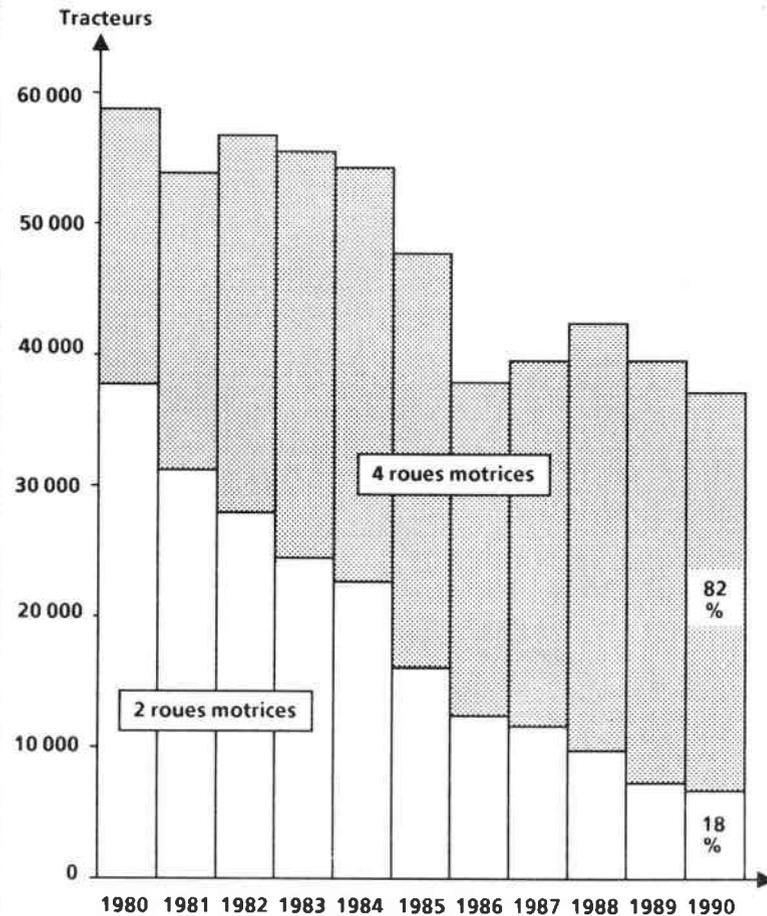


Fig. 20 — Évolution du marché français des tracteurs neufs, depuis 1980.

## • NOTIONS D'ERGONOMIE, LE POSTE DE CONDUITE :

L'**ergonomie** consiste à adapter les matériels aux capacités physiques et professionnelles très diverses des utilisateurs. Ceci nécessite au préalable une étude approfondie des relations entre **l'homme et son milieu de travail**. Le but à atteindre est d'assurer **la sécurité et le confort** des personnes, mais aussi d'améliorer **la productivité et la qualité** du travail et de réduire l'usure des matériels.

L'ergonomie doit être considérée comme partie intégrante des outils de travail.

L'amélioration ergonomique, est aussi un facteur d'accroissement du potentiel de productivité des machines et des utilisateurs. Elle doit être prise en compte au même titre que l'amélioration technologique. Son coût justifié peut être sensiblement réduit si l'on prend le soin de l'intégrer dès la conception initiale des machines.

### – La structure de protection en cas de renversement (SPCR) :

Cette appellation désigne les **cabines, cadres et arceaux de sécurité** ayant reçu un agrément officiel au terme d'essais réalisés selon des procédures d'essais codifiés ou des textes réglementaires. Les essais consistent à soumettre la structure à des contraintes **dynamiques ou statiques** comparables à celles qu'elle subirait en cas de renversement du tracteur (se reporter au chapitre : les caractéristiques et performances des tracteurs). Pour les matériels forestiers et de génie civil des essais complémentaires sont pratiqués : chute d'objet, choc extérieur,...

La plupart des tracteurs agricoles vendus neufs doivent être **obligatoirement protégés par des structures de protection homologuées**.

Les arceaux de sécurité (fig. 21) sont principalement destinés aux petits matériels ou aux tracteurs affectés à l'arboriculture ou aux travaux en espace réduit. Le plus couramment il s'agit d'arceaux en position avancée (placés à l'avant du conducteur dans un plan vertical proche du centre de gravité du tracteur), fixes ou rabattables.

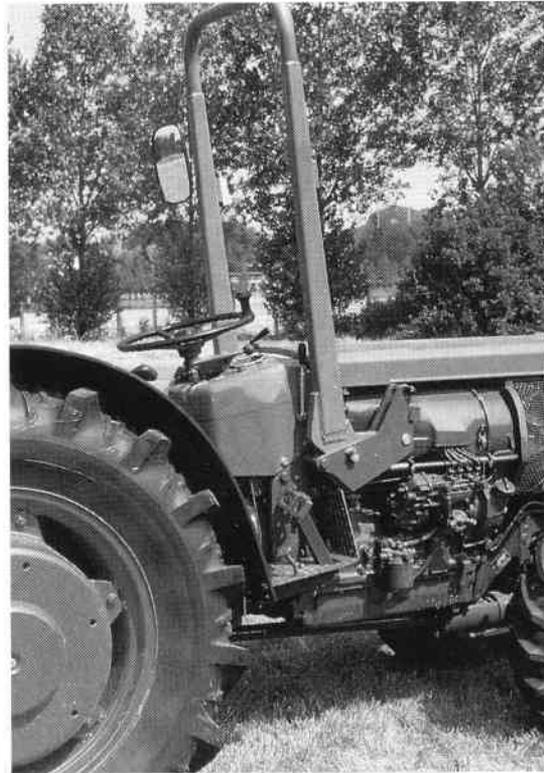


Fig. 21 — Tracteur étroit avec arceau de sécurité rabattable (Photo CEMAGREF-DICOVA).

## — Le poste de travail :

Dans la **conception ergonomique du poste de travail** (fig. 22) on utilise des références établies grâce à des **données anthropométriques** moyennes des populations concernées. Ces références servent de base de calcul pour le **volume de l'habitacle**, la **dimension et la position des leviers**, la **forme et la force d'action sur les commandes** ou la **détermination du champ visuel** (fig. 23). Selon les cas, on se réfère aux statures physiques minimales et maximales, puis on prévoit une adaptabilité de certains composants dont la position sera réglée par l'utilisateur. Pour ces études, **les constructeurs de tracteurs agricoles utilisent de plus en plus des outils informatiques conçus au départ pour l'automobile et l'aviation.**

L'**objectif est d'éviter au travailleur des postures induisant des contraintes et un travail musculaire statiques et dynamiques nocifs pour l'organisme et extrêmement fatigants :**

— **une bonne visibilité** circulaire est indispensable. Le tableau de bord, présentant les instruments de manière claire, ne doit pas éblouir. Enfin, les voyants doivent être suffisamment visibles pour être aisément repérés, même en plein soleil.

Afin de faciliter la surveillance des opérations arrière en particulier, des **systèmes de rétro-vision par caméra** sont en cours de développement : **écran de contrôle, tableau de bord électronique et rétrovision intégrée...**

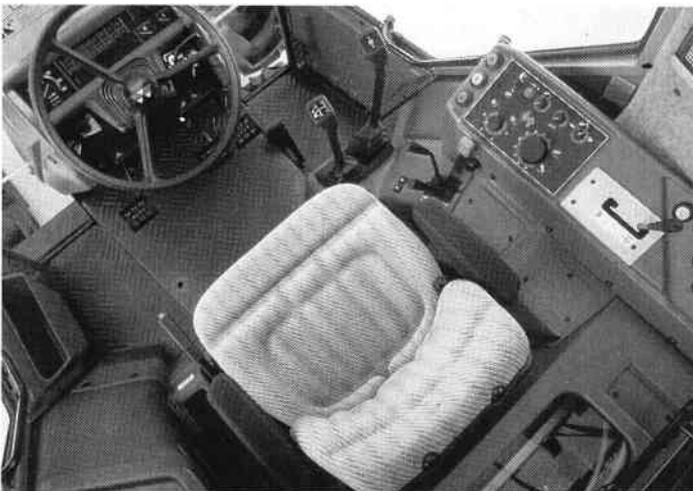


Fig. 22 — **Vue d'une cabine et d'un poste de conduite**  
(Photo Massey-Ferguson).

— **l'espace fonctionnel**, permet aux différents mouvements d'être naturels et donc de s'accomplir aisément. Des normes réglementent l'emplacement et le mode d'enclenchement des commandes. Ainsi, les gestes les plus fréquents sont effectués dans les zones faciles à atteindre, les efforts de commande limités afin d'éviter des mouvements compensateurs et la situation des leviers est déterminée en fonction des zones de préhension. De même, il existe des mesures précises pour les distances volant-siège-commandes ou l'inclinaison de la colonne de direction, afin d'offrir un compromis entre l'effort et la précision.

Il est également tenu compte d'éléments psychologiques : utilisation de couleurs, symboles,....

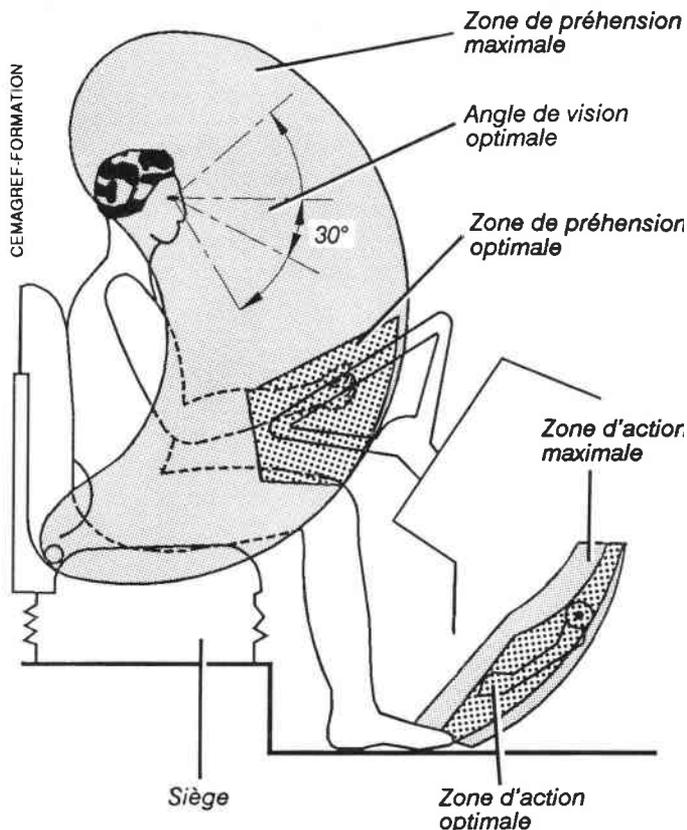


Fig. 23 — Localisation des zones d'accessibilité d'un poste de conduite.

— à **chaque fonction** est attribuée un type de commande défini selon la précision requise pour une transmission sûre des ordres de l'utilisateur à la machine. Des symboles normalisés doivent permettre l'identification facile des commandes.

**La force à exercer** sur chaque commande doit être répartie sur l'ensemble des muscles du membre ou de la région anatomique concernée.

Les autres éléments les plus importants pris en compte dans la conception sont le bruit, les vibrations mécaniques, les conditions d'ambiance : température, poussières,.... Malgré le peu d'études effectuées sur leurs effets combinés néfastes, on constate des progrès sensibles pour la sécurité et le confort, particulièrement à propos du bruit.

### — Le bruit :

Lorsqu'il est excessif, le bruit provoque une fatigue auditive pouvant aller jusqu'à des gênes psychologiques, nerveuses, physiques et **les risques de perte d'audition sont importants**. Les utilisateurs de machines agricoles sont très exposés aux dangers

causés par le bruit car les pressions acoustiques sont fortes, continues et prolongées.

De plus, lors d'un travail prolongé, le bruit entraîne **une baisse rapide de la vigilance** du conducteur et les risques d'accidents sont plus élevés.

Au delà d'une pression acoustique moyenne de **85 dBA**, le travailleur risque à la longue des atteintes auditives.

Le code OCDE prévoit, pour les tracteurs, des test de mesure au niveau des oreilles du conducteur et au niveau du passage du tracteur, en charge et à vide (évaluation des nuisances pour l'environnement). En France, des textes officiels fixent des limites de bruit mesurées au cours de tests obligatoires. Pour les machines très bruyantes, des dispositifs de **protection de l'ouïe** doivent être utilisés.

— **Les vibrations mécaniques :**

Elles sont produites par le fonctionnement des tracteurs et des machines. L'organisme risque des lésions ou des traumatismes provoqués, selon les fréquences, par des **contraintes périodiques**, des **contraintes cycliques** ou des **résonances** qui traversent le corps.

Les moyens de lutte sont :

- la réduction des vibrations à la source par un meilleur équilibrage dynamique des organes,
- l'aménagement des structures métalliques et des carrosseries afin d'éviter leur effet amplificateur (cabines suspendues),
- l'amélioration des systèmes d'amortissement et des suspensions,
- l'adaptation de la vitesse de conduite à l'état du sol.

**Le siège a un rôle essentiel** (fig. 24), il doit protéger le conducteur en atténuant les vibrations et en lui procurant une position de travail confortable, en fonction de son poids : hauteur, recul, inclinaison du dossier, correction lombaire, orientation,...

— **Les conditions d'ambiance :**

Elles influent sur le confort, mais aussi sur la santé et le rendement du conducteur. Les cinq paramètres d'ambiance sont **la température, l'humidité et la vitesse de l'air**,



Fig. 24 — **Siège suspendu.**

## la température des parois et la qualité de l'air.

Le contrôle des conditions d'ambiance ne peut s'effectuer que si le tracteur est équipé d'une cabine relativement étanche. Sur les petits tracteurs, les moyens de protection climatique ne répondent qu'à des exigences simples (chauffage, ventilation). En revanche, sur les tracteurs plus importants, les cabines isolées contre le bruit et les vibrations peuvent être équipées de systèmes de climatisation été-hiver, d'autant plus utiles que la surface vitrée est importante (**effet de serre**) et que l'étanchéité de la cabine entraîne une accumulation de chaleur dégagée par le moteur et les transmissions.

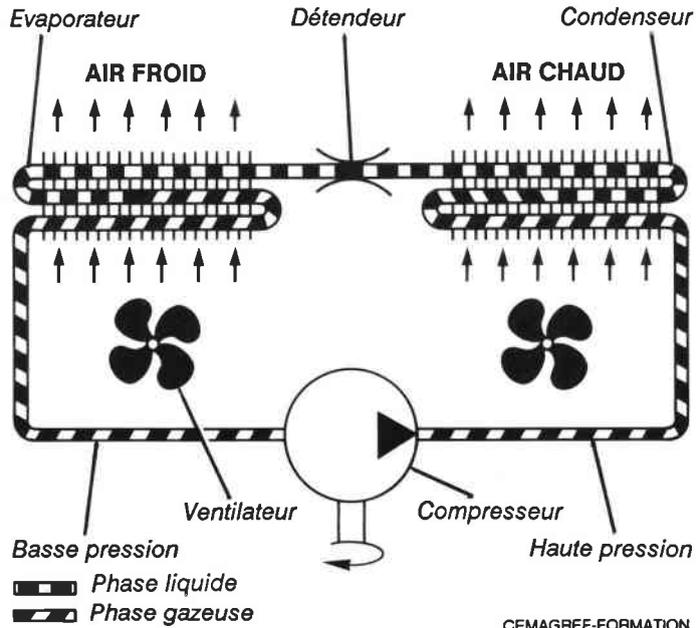


Fig. 25 — Principe d'un dispositif de climatisation.

Comme pour les automobiles, le chauffage des cabines est assuré habituellement par un circuit branché sur le système de refroidissement du moteur. Un ventilateur électrique active la circulation de l'air chaud l'hiver et de l'air ambiant l'été.

**La climatisation** (fig. 25) est un dispositif autonome de **conditionnement** de l'air d'une cabine. La climatisation comprend : un **compresseur** entraîné par le moteur du tracteur, un **condenseur-évaporateur**, un circuit de **liquide réfrigérant**, un **ventilateur électrique**. Comme dans la plupart des groupes frigorifiques, la climatisation utilise la propriété que présente les fluides d'absorber de la chaleur lorsqu'ils passent de l'état liquide à l'état gazeux et de restituer cette chaleur lorsqu'ils passent de l'état gazeux à l'état liquide. La transformation de l'état liquide à l'état gazeux s'effectue dans un évaporateur par diminution de pression, et le retour à l'état liquide s'effectue dans un condenseur par augmentation de pression. Ainsi, lorsque que le courant d'air pulsé dans la cabine par le ventilateur passe par l'évaporateur il se refroidit.

### — La protection contre les poussières et les substances toxiques :

Elle est assurée par des filtres placés en amont du système de ventilation (fig. 26). La filtration des poussières ne pose pas de problème si on prend le soin de nettoyer ou de remplacer les éléments filtrants aux échéances prescrites.

En revanche la protection contre les matières toxiques réclame la plus grande attention. Selon les cas et la nature des produits (gaz, aérosols de produits phytosanitaires...), la protection peut-être assurée par un équipement individuel de protection respiratoire (masque), ou par une filtration de l'air de la cabine par des éléments filtrants spécifiques (média filtrant, charbon actif,... adaptés selon les cas à la filtration des gaz, aérosols, poussières,...). Dans tous les cas il convient de respecter scrupuleusement le mode d'emploi et les durées d'utilisation des filtres spécifiques afin d'éviter les risques d'intoxication.

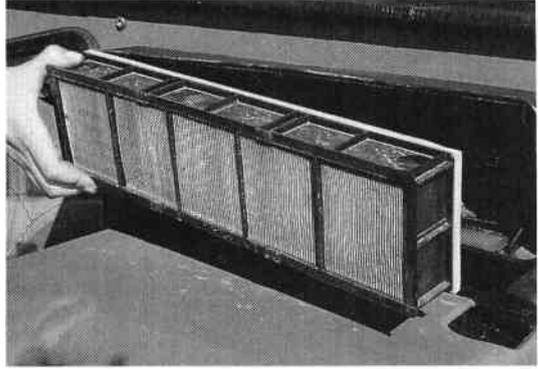


Fig. 26 — Filtre anti-poussières d'une cabine  
(Photo CEMAGREF-DICOVA).

— Le poste de conduite, centre de décision (fig. 27) :

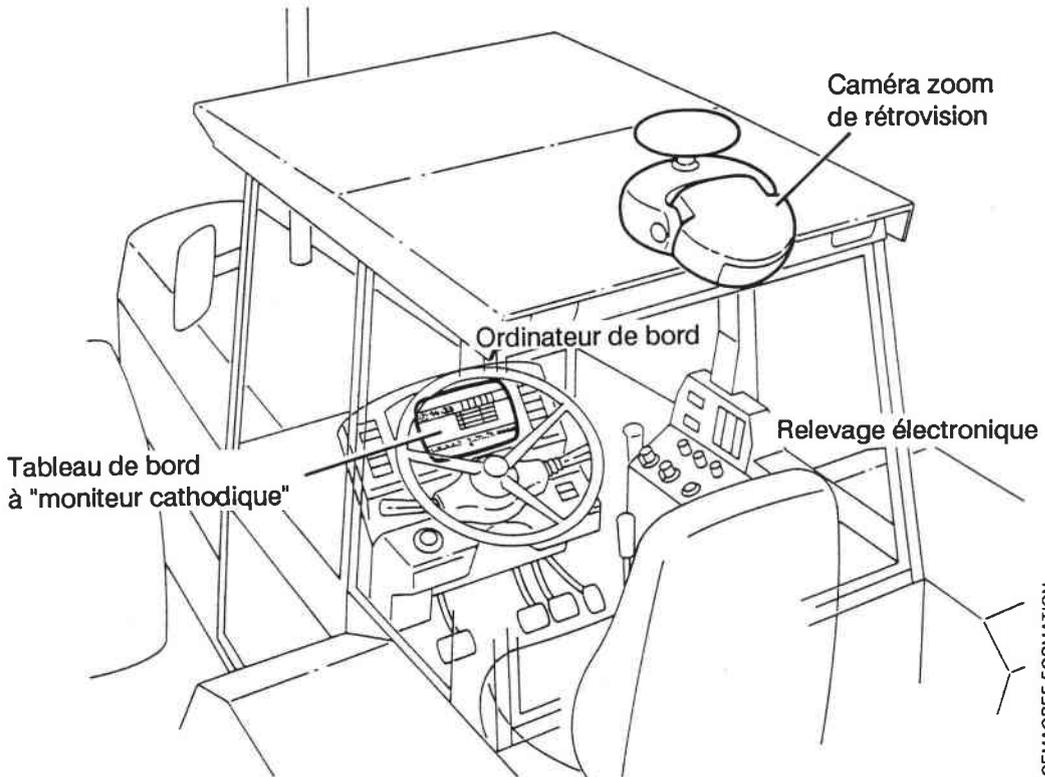


Fig. 27 — Vue d'un poste de conduite avec système de rétrovision SAME.

Auparavant, le travail de l'homme consistait à saisir lui-même des informations, à les analyser et à envoyer des « ordres musculaires » au tracteur qui se chargeait passivement du travail « physique ». Actuellement la tâche du conducteur devient de plus en plus complexe, le conducteur doit utiliser de manière optimale les multiples fonctions des tracteurs modernes qui lui permettent de s'adapter aux contraintes agro-économiques (réduction des coûts, simplification des façons culturales, précision des travaux...). Dans ce domaine, **le progrès va vers l'augmentation des sources d'information, la synthétisation des informations acquises, leur traitement et leur enregistrement afin de gérer les dispositifs d'assistance et de mettre à la disposition du conducteur des systèmes d'aide à la décision et à la conduite qui facilitent le travail, améliorent le rendement, la sécurité et le suivi technico-économique des exploitations,** (se reporter aussi au chapitre : les équipements électroniques embarqués).

La disposition des écrans ou des voyants lumineux renseignant le conducteur est aussi soumise à une méthodologie ergonomique, « la charge mentale » du conducteur pouvant devenir excessive si les systèmes d'information ou d'avertissement sont mal conçus ou trop complexes.

## • RAPPEL DES RÈGLES ESSENTIELLES DE SÉCURITÉ :

### • D'une manière générale :

- faire effectuer chaque année une révision générale du tracteur et la vérification de l'extincteur,
- ne pas laisser les enfants monter sur le tracteur ou jouer à proximité,
- ne jamais démarrer le moteur ou actionner des commandes sans être en position de conduite,
- lors des travaux nécessitant la présence de personnes dans la zone de travail du tracteur, redoubler d'attention et s'assurer d'avoir été bien vu et compris lors des changements de direction et des inversions de sens de marche.

### • Le carburant :

- placer les cuves ou citernes de stockage dans un lieu isolé du reste de l'exploitation, à distance en particulier des lieux d'habitation, des granges et autres lieux de stockage. Les disposer à l'abri des chocs, de la pluie, du soleil et de toute source de chaleur d'une manière plus générale. Respecter les dispositions réglementaires,
- ne jamais fumer pendant l'approvisionnement du tracteur ni pendant tout travail à proximité de la cuve.

### • Le poste de conduite :

- adapter la position du **siège** au gabarit du conducteur (hauteur, distance siège-pédales). Régler la suspension suivant le poids du conducteur et suivant les conditions d'utilisation du tracteur (terrain, vitesse),

- il est très important, en cas de dégradation ou d'usure du siège (mécanismes, coussins,...), de remplacer sans hésiter les éléments défectueux ou le siège en entier. Il est en effet anormal (pour la santé) de constater, chez les utilisateurs, la quantité de sièges qui ne remplissent plus leur rôle (assise correcte du conducteur, isolation des vibrations,...),
- nettoyer fréquemment les vitres de la cabine, ainsi que les rétroviseurs,
- remplacer les balais d'essuie-glaces tous les ans,
- maintenir propre l'intérieur de la cabine (utiliser des produits adaptés pour le nettoyage des revêtements),
- maintenir les mains courantes et les marchepieds en bon état et nettoyer les surfaces d'appui lorsque de la terre y est restée collée. La majorité des accidents survient lors de la montée ou de la descente des postes de conduite,
- la cabine comporte généralement un filtre anti-poussières, penser à le nettoyer et à le remplacer, suivant les préconisations du constructeur. Si la cabine est équipée d'un module de filtration des produits toxiques, respecter scrupuleusement la périodicité d'échange des éléments filtrants,
- sur les tracteurs équipés d'une **climatisation**, respecter les conseils du livret d'entretien pour ce qui concerne le contrôle de la charge de liquide, le niveau d'huile dans le compresseur, le remplacement du filtre déshydrateur. Toute autre intervention sur le circuit de climatisation ne peut être confiée qu'à un personnel averti et équipé,
- la structure de protection équipant le tracteur (arceau, cadre ou cabine de sécurité) ne peut être efficace si sa résistance mécanique est affaiblie. **C'est pourquoi il ne faut jamais réaliser de soudure, ni percer de trou en cet endroit.** Surveiller l'apparition éventuelle de points de rouille et si cela se produit, demander conseil à un réparateur,
- en cas d'accident, ne pas conserver une structure de protection endommagée et ne pas tenter de la réparer : pour rester en sécurité, il faut changer la structure,
- si le tracteur n'a pas d'arceau de protection ni de cabine de sécurité (modèle ancien), consulter le constructeur afin d'en faire installer un.

#### • Les vêtements :

- porter des vêtements ajustés : les vêtements volumineux ou flottants, les ceintures et les poches ouvertes peuvent se prendre dans les leviers ou les pédales ou être happés par un mécanisme,
- porter des chaussures ou des bottes avec des semelles adhésives : les semelles usées, boueuses ou grasses favorisent le glissement du pied sur le marchepied ou sur les pédales de commande.

#### • La direction :

- faire vérifier périodiquement le **parallélisme** du train avant et le jeu des moyeux, ainsi que l'état des rotules et des pivots,

- vérifier le niveau d’huile du circuit de direction,
- surveiller l’étanchéité des canalisations hydrauliques,
- contrôler l’état des flexibles et ne pas hésiter à les faire remplacer en cas de détérioration,
- faire vérifier la direction si elle devient dure ou instable.

• **Les transmissions et les freins :**

- ne pas hésiter à faire vérifier ou remplacer les embrayages d’avancement et de prise de force usés, avant qu’ils ne deviennent dangereux,
- contrôler périodiquement le réglage de la garde des pédales d’embrayage et de freins,
- vérifier le niveau de liquide des freins à commande hydraulique et respecter le type de fluide préconisé par le constructeur,
- vérifier que les freins sont bien équilibrés ; des freins indépendants mal équilibrés peuvent, lorsqu’ils sont couplés, faire verser le véhicule.
- tester à vitesse réduite l’efficacité du freinage de l’ensemble tracteur-outil (ou remorque) avant de quitter l’exploitation.

• **Le relevage et les circuits hydrauliques :**

- en cas de fuite d’huile, ou si le relevage ne retient pas la charge, faire réparer sans attendre,
- examiner visuellement les tuyaux hydrauliques flexibles, afin de déceler tout signe de déchirure ou d’usure anormale,
- en cas de fuite, ne pas approcher les mains, le fluide sous haute pression pourrait traverser l’épiderme et produire des lésions locales graves,
- avant d’intervenir sur un circuit, effectuer si nécessaire un calage des mécanismes.

• **La prise de force :**

- s’assurer que le régime de prise de force est adapté,
- veiller à la bonne adaptation des angles et longueur des arbres de transmission. S’assurer qu’aucun contact de l’arbre de transmission n’est possible avec un corps fixe, (se reporter aussi au chapitre : les liaisons tracteur-outil, les prises de force...).
- conserver obligatoirement les protecteurs et les remplacer en cas de détérioration. Accrocher les chaînettes anti-rotation.
- faire régler ou réparer l’embrayage s’il n’assure plus un débrayage total de la prise de force.

### • Les roues et les pneumatiques :

- vérifier périodiquement l'état des jantes et le serrage des écrous,
- en cas de démontage, de jumelage ou de roues gonflées à l'eau, attention à l'écrasement et au lumbago ! Utiliser des moyens de manutention appropriés.
- éviter le contact des pneus avec de l'essence, du fuel domestique, de l'huile ou de la graisse ; garer le tracteur sur un sol propre et se méfier des carburants ou lubrifiants répandus au sol,
- prévenir les chocs et les coupures,
- suivre scrupuleusement les conseils de gonflage du fournisseur de pneumatiques : le sous-gonflage et les surcharges détériorent et usent prématurément les pneumatiques. Il y a risques d'accident, en raison d'un éclatement, d'un manque d'adhérence (au freinage souvent) ou de stabilité.
- sur les matériels forestiers, s'assurer de la bonne protection des valves de gonflage.

### • Les attelages :

- mettre toujours en place les goupilles et systèmes de verrouillage,
- n'atteler les remorques et matériels semi-portés qu'au crochet inférieur ou au piton,
- utiliser le plus possible les attelages semi-automatiques ou automatiques afin d'éviter d'intervenir manuellement dans la zone d'attelage,
- ne jamais actionner les commandes extérieures de relevage (fig. 28) lorsque l'on se trouve dans la zone d'écrasement (entre le tracteur et l'outil).
- surveiller l'usure des pitons, axes et verrous et ne pas hésiter à les remplacer si nécessaire,
- remplacer les éléments déformés : 3<sup>e</sup> point, axes...

### • La signalisation et les circuits électriques

- surveiller l'état des fils électriques et de la prise de branchement électrique de la remorque,
- veiller à la protection des feux et des fils contre les risques de choc, de pincement et d'arrachement ; éviter en particulier les fils pendants,
- se procurer un jeu de lampes et de fusibles de rechange,
- en cas de montage d'un circuit supplémentaire, installer dans tous les cas

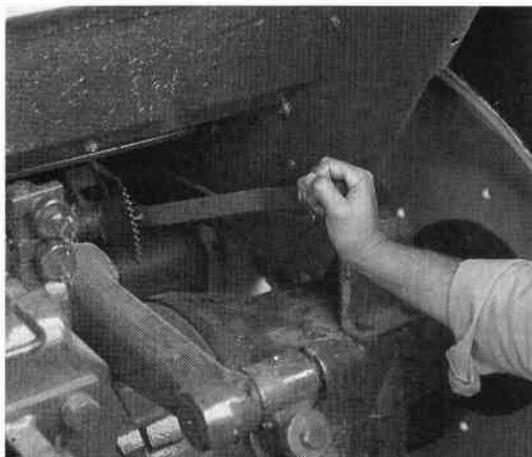


Fig. 28 — Commande mécanique extérieure d'un relevage hydraulique  
(Photo CEMAGREF-DICOVA).

un fusible de départ et choisir des conducteurs bien isolés et de section suffisante,

- en cas de remplacement d'un fusible, respecter rigoureusement le calibre d'origine du fusible,

- ne jamais débrancher la batterie lorsque le moteur tourne,

- avant toute intervention sur le circuit électrique, arrêter le moteur et débrancher la batterie.

- **La circulation sur route :**

- bien tenir la droite de la route,

- faire particulièrement attention lors des traversées de la chaussée ou d'engagement sur la route (sortie de ferme ou de champ). En cas de visibilité insuffisante, se faire guider par une personne, surtout si le tracteur est attelé à des outils portés à l'avant,

- veiller à nettoyer la chaussée et à dégager la boue laissée par le tracteur,

- coupler toujours les pédales de frein entre elles,

- s'assurer du bon fonctionnement du débloqué du différentiel,

- vérifier l'éclairage du véhicule et prendre un éclairage de secours portatif,

- si l'équipement est large (plus de 2,50 m), allumer les feux de route, même de jour ; signaler clairement les extrémités ; faire précéder la machine par un véhicule d'avertissement,

- utiliser un girophare orange visible dans toutes les directions, pour la signalisation sur route, jour et nuit.

- **Le travail en pente :**

- prévoir de travailler en montant et en descendant, partout où c'est possible,

- élargir la voie des roues avant et arrière (dans les cas extrêmes, utiliser des roues jumelées),

- mettre des masses additionnelles appropriées,

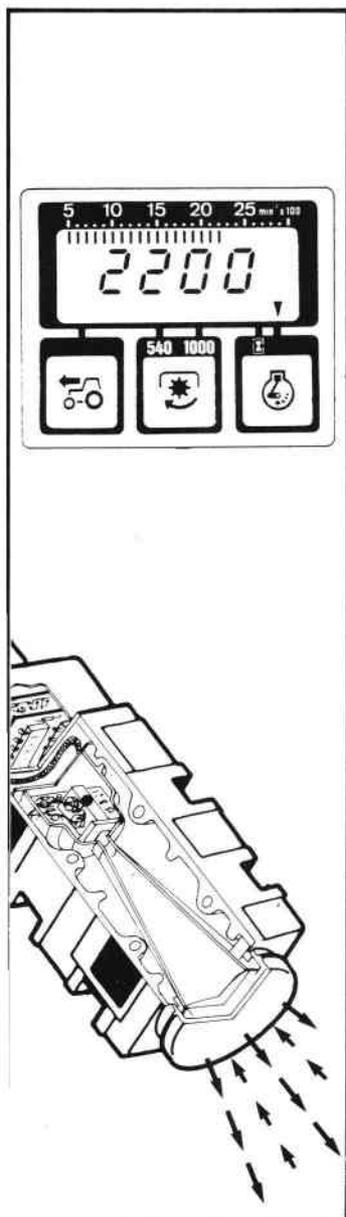
- choisir la bonne vitesse, embrayer doucement et ne pas changer de vitesse dans une côte,

- réduire la vitesse pour tourner, spécialement en dévers,

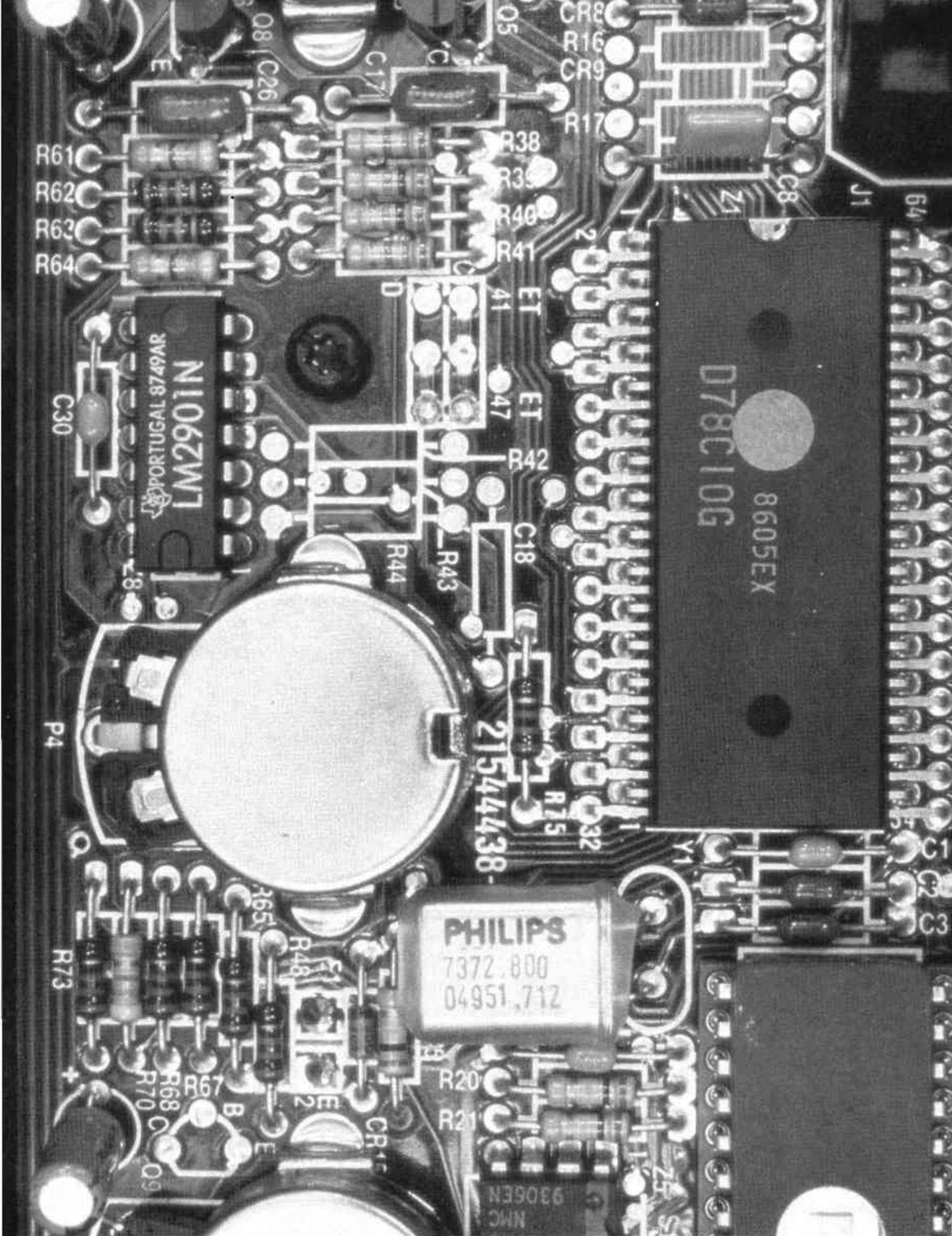
- dégager les bords des digues, étangs et fossés pour qu'ils soient bien visibles et, en travail, ne pas s'en approcher,

- sortir en marche arrière des fondrières,

- redoubler d'attention lorsque le tracteur tire une machine non freinée, ou porte un outil lourd, ou une charge mobile.



- Glossaire des principaux termes utilisés en électronique ..... 45
- Les différents niveaux d'électronique embarquée ..... 48
- Les indicateurs ou « monitoring » .... 49
- Les automatismes ..... 51
- Le rôle des capteurs ..... 53
- Les capteurs à interrupteurs ..... 54
- Les détecteurs de proximité ..... 56
- Les capteurs de position ..... 58
- Les thermo-couples ..... 62
- Les jauges de contraintes ..... 63
- Les capteurs à ultra-sons ..... 66
- Les radars à effet Doppler ..... 68
- Présentation de quelques réalisations 71



Vue partielle des circuits électroniques de l'unité de commande (SAGEM) d'un relevage Renault Agriculture TCE (Photo CEMAGREF-DICOVA).

## • GLOSSAIRE DES PRINCIPAUX TERMES UTILISÉS EN ÉLECTRONIQUE :

**Afficheur** : indicateur visuel permettant l'affichage d'informations chiffrées ou écrites. La visualisation est assurée le plus souvent par des diodes électroluminescentes (DEL) ou des cristaux liquides.

**Amplificateur** : un amplificateur est un appareil destiné à augmenter les variations d'une grandeur physique dépendant du temps sans modifier la forme. Un amplificateur électronique est conçu pour amplifier les courants électriques faibles.

**Amplificateur opérationnel** : les amplificateurs opérationnels ont permis une nouvelle conception de l'électronique et en particulier des amplificateurs à rétro- action (reporter à l'entrée une partie du signal de sortie), grâce à des caractéristiques idéales (gain infini, impédance d'entrée infinie, impédance de sortie nulle).

Se dit d'un composant intégrant de très nombreux transistors et permettant de réaliser des fonctions amplificatrices complexes.

**Amplitudes** : écarts maximaux de valeur d'une grandeur physique par rapport à une valeur de référence (0, repos, valeur moyenne...). L'amplitude qualifie des variations périodiques (cycliques, oscillatoires,...).

**Analogique** : un signal analogique représente de façon continue une grandeur physique. Il y a analogie (ressemblance) entre le signal électrique et la réalité. Un voltamètre à aiguille est un indicateur analogique.

**Automate** : système conçu pour effectuer ou actionner automatiquement des opérations répétitives, selon un cycle programmable ou non.

**Binaire** : système de numération établi à partir des combinaisons des deux chiffres : 0 et 1.

**Boole** : mathématicien anglais, créateur de l'algèbre qui porte son nom (algèbre de Boole) et de la logique binaire.

**Carte électronique** : support modulaire amovible (circuit imprimé) comprenant un circuit imprimé et un ensemble de composants dédiés à une ou plusieurs fonctions d'un équipement électronique.

**Circuit imprimé** : mode de réalisation des liaisons (conducteurs) entre les éléments (composants) d'un circuit électronique. Ils sont réalisés par des procédés analogues aux procédés utilisés dans la technique de l'imprimerie. Le « schéma » électronique est imprimé sur un verre-époxy.

**Circuit intégré** : c'est un circuit électronique dans lequel tous les composants (semi-conducteurs, résistances, condensateurs, inductances et conducteurs) sont formés sur une petite plaquette unique (en général du silicium) de très petite taille.

**Comparateur** : dispositif électronique capable de comparer un signal électrique A plutôt variable avec un signal électrique B de consigne et qui délivre un signal de sortie destiné à la commande d'un système (afficheur, actionneur,...).

**Connectique** : ensemble des systèmes de connection des éléments électroniques et informatiques (consoles, capteurs, actionneurs...) qui permet la transmission filaire de courants et de signaux de faible puissance, sans altérer leurs caractéristiques.

**Consigne** : valeur souvent déterminée par l'opérateur et servant de référence au fonctionnement d'un automatisme ou d'un asservissement : consigne de hauteur, d'effort, de pression, de vitesse...

**Convertisseur analogique — numérique** : circuit électronique capable de convertir des signaux électriques analogiques (variables en permanence), en informations numériques (signaux binaires).

**Digital** : de « digit », (information binaire) ce terme s'applique aux composants ou appareils électroniques dont la valeur d'entrée variable est convertie en impulsions de sortie, correspondant à des informations numériques. Exemple : la valeur d'entrée d'un voltmètre est une tension (différence de potentiel) et sa sortie, s'il est digital, est un afficheur numérique appelé aussi afficheur digital.

**Électronique** : du mot électron (particule électrique négative), l'électronique est la science de la conduction électrique dans les gaz, le vide et dans des corps à conductivité conditionnelle (semi-conducteurs).

**Inductance** : quotient du flux d'induction électro-magnétique d'un circuit, par l'intensité du courant traversant ce circuit.

**Inductif** : se dit d'un circuit ou d'un bobinage particulièrement étudié pour obtenir une inductance donnée.

**Informatique** : science du traitement automatique de l'information : saisie, tri, mémorisation, traitement, diffusion...

**Magnéto-élasticité** : voir magnéto-striction.

**Magnéto-striction ou magnéto-élasticité** : on appelle magnéto-striction, la déformation élastique provoquée par l'aimantation d'un corps ferro-magnétique. Inversement, le flux magnétique qui traverse un corps ferro-magnétique peut être modifié par des contraintes mécaniques (flexion, compression, cisaillement...).

**Mémoire électronique** : système de stockage d'informations numériques. On distingue les mémoires ROM (Read Only Memory) dont la structure figée ne peut être modi-

fiée et les mémoires RAM (Random Accès Memory), qui peuvent être sollicitées en lecture (sortie) et en écriture (entrée).

**Microprocesseur** : circuit intégré électronique, numérique, dont la structure permet la réalisation de très nombreuses opérations logiques programmées, de traitement d'informations.

**Multiplexage** : technique permettant le transfert de plusieurs signaux ou informations électriques dans un même conducteur.

**Numérique** : voir aussi Digital. Se dit d'une technique, d'un composant qui utilisent des informations binaires.

**Ordinateur** : ensemble électronique évolué, capable d'effectuer des séquences opératoires par calcul à partir de très nombreuses opérations élémentaires, selon une logique programmée (seulement pour les micro-ordinateurs).

**Oscillateur** : Circuit électronique permettant de générer des courants électriques variables, des courants alternatifs ou des impulsions électriques.

**Piézo-électricité** : l'effet piézo-électrique direct se traduit par l'apparition de charges électriques sur deux faces en regard de certains matériaux soumis à une contrainte mécanique (détecteur de chocs). L'effet piézo-électrique inverse se traduit par la déformation de certains matériaux soumis à une différence de potentiel (émetteur d'ultrasons).

**Potentiomètre** : résistance électrique variable ou ajustable, commandée le plus souvent manuellement. Les potentiomètres permettent de modifier les caractéristiques (résistance) d'un circuit électrique ou électronique (valeur de consigne d'un asservissement par exemple).

**Puce** : micro-plaquette de matériau semi-conducteur (en général du silicium) sur laquelle est formé un circuit électronique.

**Radar** : mot abrégé anglais signifiant « Radio Detecting And Ranging » : détection et mesure des distances par ondes radio-électriques. D'une manière générale, les radars sont des appareils utilisés pour la mesure des distances, vitesses et déplacements. La distance est définie par la mesure du temps qui s'écoule entre l'émission d'une onde radio-électrique et sa réception après réflexion sur l'élément à détecter.

**Réductance** : la réductance, ou résistance magnétique exprime la résistance à la conduction magnétique. La réductance est au magnétisme, ce que la résistance est à l'électricité.

**Semi-conducteur** : ce terme désigne les groupes de corps constituant la plupart des composants électroniques (silicium, germanium...). Selon les sollicitations qui leurs sont appliquées, les semi-conducteurs peuvent se comporter en isolant ou en conducteurs électriques.

**Sonar** : mot abrégé anglais signifiant « Sound Navigation and Ranging ». Développé à l'origine pour la navigation maritime, le sonar est comparable à un radar dont les ondes radio-électriques seraient remplacées par des ondes sonores. Les distances sont alors définies par la mesure du temps qui s'écoule entre l'émission d'un top ultrasonique et sa réception après réflexion sur l'obstacle à détecter.

**Transducteur** : système permettant la conversion d'un type d'énergie en un autre. Exemple : un transducteur à quartz converti une énergie mécanique en énergie électrique, et inversement.

**Ultra-sons** : les ultra-sons sont des ondes acoustiques, non perceptibles par l'oreille humaine (fréquence supérieure à 15 kHz). Les ultra-sons se propagent en faisceaux rectilignes dans les gaz et dans certains corps solides ou liquides.

## • LES DIFFÉRENTS NIVEAUX D'ÉLECTRONIQUE EMBARQUÉE :

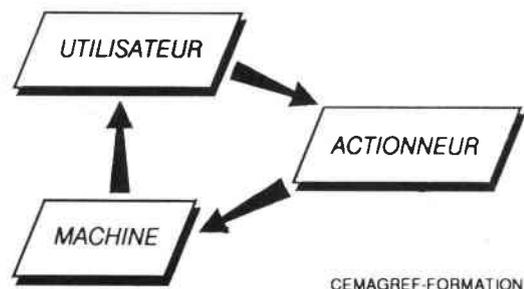
Avant d'analyser les différents niveaux d'utilisation de l'électronique, observons les relations habituelles entre un conducteur et une machine dépourvue d'électronique (fig. 29) : **chaque fonction de la machine est directement sollicitée par le conducteur qui dispose de commandes appropriées. Selon les cas, il s'agit de commandes directes utilisant des actionneurs mécaniques (leviers, pédales, manivelles,...), ou des commandes assistées par des actionneurs hydrauliques (vérins, moteurs,...) ou électro-magnétiques (électro-aimants, moteurs, vérins,...).**

Au travail, **le conducteur perçoit directement son environnement** de travail : il **voit** sa machine, il **entend**, il **subit** des vibrations provenant de la machine elle-même ou du terrain, et il **peut aussi sentir** des odeurs anormales (fuite, échauffement).

**A partir des informations fournies par ses propres sens, l'utilisateur analyse** le travail en cours et le **compare** au résultat souhaité (fig. 29) ; si nécessaire, il prend la décision d'agir sur telle commande ou tel réglage afin de mieux parvenir à ses objectifs.

Ce type de **relation homme-machine**, en apparence « naturelle », peut conduire à des conditions de travail très pénibles si l'on tient compte de l'évolution des matériels et des méthodes de production : accroissement des puissances et des vitesses de travail, outils combinés, travaux plus précis, réglages plus complexes,...

Pour concilier ces contraintes avec l'amélioration indispensable des conditions de travail, en particulier au niveau du confort et de la sécurité, les conducteurs ont de plus en plus besoin de **systèmes d'aides à la conduite** qui sont capables de transmettre les nombreuses indications nécessaires à la prise de décision



CEMAGREF-FORMATION

Fig. 29 — Relation élémentaire conducteur-machine.

et qui peuvent, selon les cas, effectuer automatiquement des opérations.

Selon leur degré d'évolution, les systèmes électroniques peuvent être classés en trois niveaux :

- les indicateurs (monitoring),
- les automatismes,
- les robots.

En pratique on remarque que le langage courant assimile, un peu abusivement, les équipements électroniques à des ordinateurs. En réalité, les équipements électroniques embarqués, appelés souvent ordinateurs de bord (fig. 30) sont des **systèmes électroniques à micro-processeur**, tandis que les ordinateurs sont en général des micro-ordinateurs de bureau utilisés pour la comptabilité et l'organisation des exploitations.



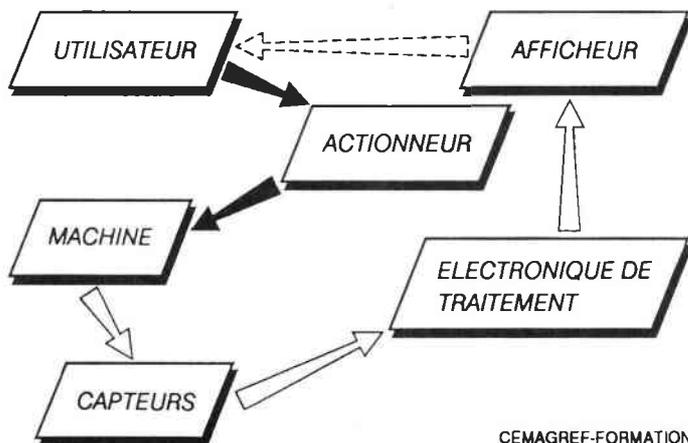
Fig. 30 — Ordinateur de bord (Photo R. Autellet).

Les systèmes embarqués à micro-processeur peuvent être conçus de manière à pouvoir être connectés aux **micro-ordinateurs de gestion** des exploitations agricoles, afin de transférer les paramètres enregistrés pendant le travail : surfaces traitées, quantités appliquées, consommations, temps de travaux...

### • LES INDICATEURS OU MONITORING :

Les équipements électroniques les plus simples et les plus courants ont pour rôle d'afficher des indications ou des informations.

La figure 31 montre le principe d'organisation d'un système d'indication. Des **capteurs** placés en différents points de la machine envoient des signaux à une unité électronique qui traite les informations et les transmet à l'utilisateur, par l'intermédiaire d'affi-



CEMAGREF-FORMATION

Fig. 31 — Principe d'un système d'indication (monitoring).

cheurs, de voyants ou d'alarmes sonores. L'homme conserve son rôle actif, au niveau de la prise de décision, de l'action, et des commandes. Rien ne lui interdit de passer outre ou de ne pas regarder les afficheurs.

Les capteurs jouent un rôle essentiel car, nous venons de le voir ci-dessus, ils doivent remplacer ou compléter les organes sensitifs du conducteur. N'en déduisons pas qu'ils sont forcément sophistiqués et complexes.

Sans la mise au point et l'adaptation de capteurs, les systèmes électroniques les plus évolués, privés d'informations, seraient « aveugles » et donc inopérants.

L'exemple le plus fréquent d'indicateur est celui qui permet la surveillance des courroies d'une machine. Un capteur (fig. 32) constitué d'un simple interrupteur à distance (voir plus loin la description des capteurs), est placé près d'une poulie menée. Le capteur est connecté à une unité électronique de surveillance des chutes de régime (fig. 33). En cas de rupture ou de patinage d'une courroie, l'unité électronique informée par le capteur, alimente immédiatement un voyant rouge d'alerte ou un avertisseur sonore.

**L'électronique peut conduire, à partir d'informations de capteurs et de calculs pouvant être complexes, à l'élaboration de données jusqu'à présent innaccessibles à l'homme.**

L'électronique d'indication, ou monitoring, ne se borne pas à ce premier rôle de **remplacement de la perception humaine.**

Elle permet aussi d'**apporter l'information en continu** et d'effectuer des réglages depuis le poste de conduite, tout en contrôlant simulta-



Fig. 32 — Vue d'un capteur pour la surveillance des chutes de régime  
(Photo CEMAGREF-DICOVA).



Fig. 33 — Vue d'une console d'indication  
(Photo John Deere).

nément leur effet. Le gain de temps est évident et l'adéquation aux conditions de travail est meilleure, la limite étant la fatigue du conducteur.

## • LES AUTOMATISMES (fig. 34) :

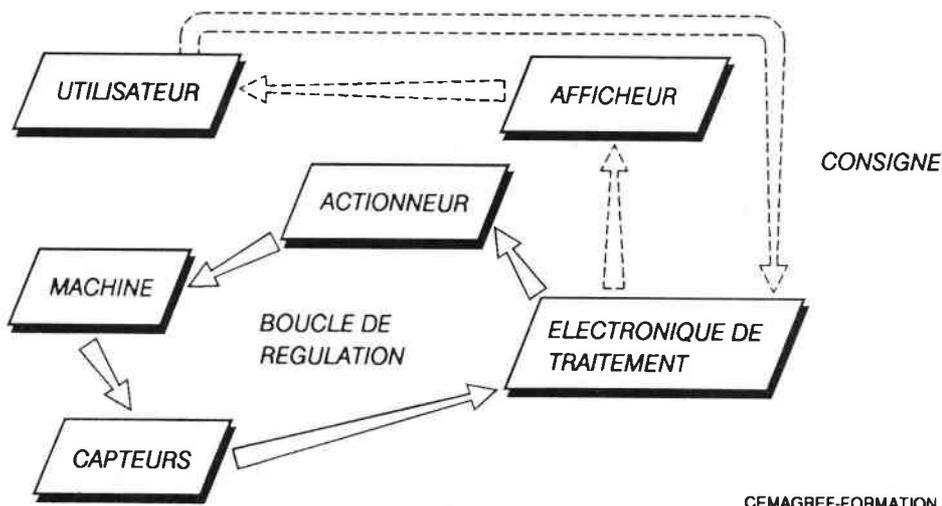
La notion d'automatisme est connue depuis longtemps, indépendamment de l'apparition de l'électronique. Des automatismes étaient déjà utilisés à la fin du XVIII<sup>e</sup> siècle : régulateurs de Watt, bélier hydraulique,...

Lorsqu'une grandeur mesurée agit, par l'intermédiaire de son capteur, sur un actionneur éventuellement en fonction d'une grandeur voulue par l'utilisateur (consigne), on réalise un automatisme ou une boucle fermée qui relie (fig. 34) : l'unité de commande – le ou les actionneur(s) – la machine – le ou les capteur(s) – l'unité de commande... Cet automatisme est aussi appelé « asservissement » car chaque élément de la boucle est « asservi » à une valeur de consigne, le plus souvent déterminée par le conducteur.

Le contrôle d'effort des relevages hydrauliques et le régulateur à masselottes des pompes d'injection, sont deux exemples d'asservissements très courants.

Les systèmes électroniques permettent le développement des automatismes selon deux voies :

– le perfectionnement de systèmes existants en remplaçant des dispositifs hydrauliques ou mécaniques tout en permettant d'améliorer leur précision, leur fiabilité et le confort d'utilisation : régulation électronique des moteurs diesel, contrôle d'effort et de position des relevages (fig. 35),...



CEMAGREF-FORMATION

Fig. 34 – Organigramme d'un automatisme.

— la création de nouveaux asservissements qui n'auraient pas été possibles sans électronique, ou difficilement réalisables : asservissement du relevage au glissement des roues motrices par exemple.

La figure 34 montre l'organigramme général d'un automate : les liaisons pointillées indiquent que l'automatisme peut fonctionner, selon les cas, avec ou sans l'intervention du conducteur.

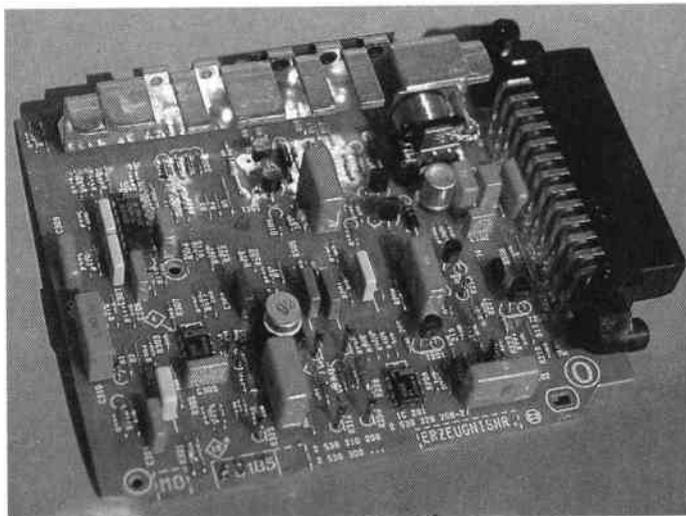


Fig. 35 — Vue du circuit électronique de l'unité de commande Bosch EHR d'un relevage hydraulique (Photo CEMAGREF-DICOVA).

Dans le premier cas, le conducteur conserve la possibilité d'imposer sa volonté (exemple : enclenchement automatique du pont avant et déclenchement au-dessus d'une certaine vitesse). En général les automatismes électroniques laissent la possibilité à l'utilisateur de reprendre le contrôle des opérations.

Dans le second cas l'automatisme peut agir indépendamment de la volonté de l'utilisateur, sans possibilité d'intervention de sa part, (gestion des transmissions : temporisation de l'embrayage des prises de force). Dans certains cas le conducteur peut même ignorer la présence d'un automate.

L'électronique peut informer ou non l'utilisateur, de la valeur de la grandeur à réguler (afficheur de la position des bras de relevage par exemple). La régulation peut se faire ou non autour d'une **valeur de consigne** fixée par l'utilisateur.

### — Les automatismes séquentiels :

Ces automatismes sont capables d'exécuter une suite d'opérations selon une séquence prédéfinie et dans **un environnement figé** (contacteur tournant animé par un mouvement d'horlogerie, par exemple).

Dans un tout autre domaine, les « **programmeurs** » des lave-linge et des lave-vaisselle sont des exemples familiers d'automatismes séquentiels. En agriculture, l'utilisation de ces automatismes est limitée à des applications particulières : presses à vendange, cycle de nettoyage des machines à traire,...

## — Les automates programmables :

Les automates programmables sont de simples manipulateurs, évoluant aussi dans un environnement fixe, mais dont le cycle peut subir des modifications par l'intermédiaire de la programmation d'un **microprocesseur**.

Citons comme exemple **le liage automatique** des presses à balles cylindriques : en fonction des conditions de la récolte (dimension de la balle, qualité et humidité du produit), l'utilisateur réalise manuellement une balle « modèle ». Lorsqu'il obtient le liage idéal, il valide le dernier enregistrement, qui sera répété à volonté, sur simple appui sur un contacteur.

## • LE RÔLE DES CAPTEURS :

S'il est bien évident que l'étude approfondie des équipements électroniques nécessite une formation adéquate et que l'étendue du sujet dépasse largement le cadre de cet ouvrage, l'analyse simplifiée des systèmes les plus courants est indispensable. Cette analyse, nous proposons de la conduire par l'intermédiaire des différents **capteurs** qui sont les **organes sensitifs** de tous les équipements électroniques. En effet, c'est du mode de fonctionnement des capteurs et de leur adaptation au problème à résoudre que l'on détermine la nature des circuits électroniques de traitement des informations.

Un grand nombre de problèmes peuvent être assez facilement résolus par l'électronique et l'informatique, à condition de bien connaître les processus opératoires des machines et surtout de disposer des capteurs capables de connaître l'état des processus que l'on veut contrôler.

Les capteurs sont des organes, parfois très simples, utilisés pour « **connaître** » ou **mesurer des grandeurs physiques** et « **informer** » les **systèmes électroniques**. La grandeur physique mesurée par le capteur est transformée en **signaux électriques binaires ou analogiques**. Selon les signaux qu'ils fournissent, les capteurs sont classés en deux catégories :

— les **capteurs Booléens** qui fournissent directement, ou après traitement, un **signal binaire 0 ou 1** (signal tout ou rien).

Parmi les nombreux principes de capteurs Booléens, citons **les interrupteurs mécaniques, les interrupteurs magnétiques à lame souple (I.L.S), les capteurs inductifs à réluctance variable, les capteurs inductifs à courants de Foucault, les capteurs à effet Hall,...**

— les **capteurs scalaires** qui donnent une **information analogique**, c'est-à-dire **analogue ou proportionnelle à la valeur mesurée**. Le qualificatif « scalaire » vient du latin « scala » qui signifie échelle. Parmi les systèmes les plus utilisés, citons :

— les **capteurs de position à potentiomètre, à bobines différentielles, à variation d'inductance,**

— les **jauges de contraintes à fil résistant et les jauges de contraintes magnéto-élastiques,**

- les thermo-couples,
- les capteurs à ultra-sons,
- les radars à effet Doppler.

## • LES CAPTEURS A INTERRUPTEURS :

Les capteurs à interrupteurs peuvent être commandés, soit par action mécanique, soit par action magnétique.

– Les capteurs à interrupteur mécanique (fig. 36) :

Simple et peu coûteux, ils ont des applications variées et inattendues dans des asservissements en position et en effort. Parmi les nombreuses réalisations, observons l'exemple du contrôle de la charge verticale sur la roue de terrage d'une charrue avant Naud-Laforge (fig. 36) :

Il s'agit d'un système de **report de charge** qui s'effectue au niveau de la roue de terrage de la charrue dont le bras support peut osciller verticalement entre deux plots élastiques en caoutchouc. Un interrupteur symétrique, réglable en position, détecte la compression des plots élastiques et donc les variations de charges appliquées à la roue de terrage.

Une surcharge de la roue provoque l'écrasement du tampon supérieur et la commande de l'interrupteur, afin d'actionner un électro-distributeur qui provoque le raccourcissement du 3<sup>e</sup> point hydraulique (à la place de la barre coulissante du troisième point). Le déjaugage de la roue provoque l'effet inverse : action sur l'interrupteur et allongement de la barre du troisième point, (le plot élastique inférieur devient actif après retournement de la charrue).

Ce système assure un appui contrôlé et constant sur le sol (selon une plage prédéterminée), s'accompagnant d'un report permanent de l'outil sur le tracteur permettant par conséquent une diminution du glissement.

Cet exemple montre qu'un capteur élémentaire peut conduire à des applications aussi importantes que les contrôles de position et d'effort.

**Les interrupteurs mécaniques sont sensibles à l'usure et à l'oxydation des contacts.**

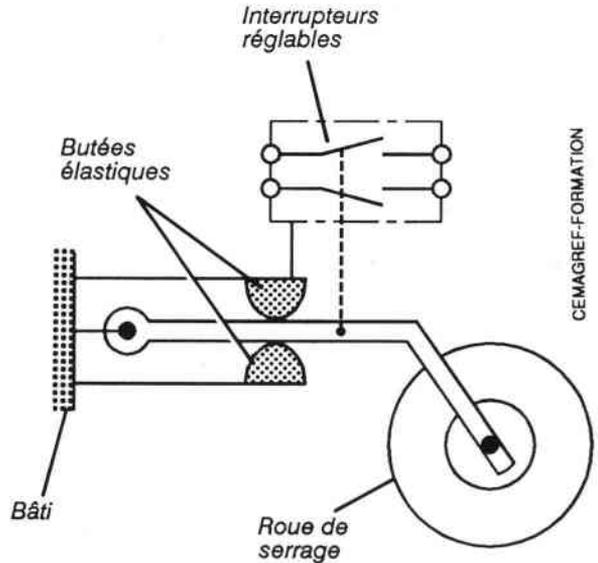


Fig. 36 — Principe du contrôle d'effort sur la roue de terrage d'une charrue avant « NAUD-LAFORGE ».

— **Les capteurs à interrupteur magnétique à lame souple (I.L.S)** (fig. 37 et 38) :

Appelés aussi interrupteurs à distance, ces capteurs sont utilisés à chaque fois qu'un interrupteur doit fonctionner en permanence à fréquence rapide, ou dans un environnement défavorable aux interrupteurs mécaniques.

Une ampoule en verre, contenant un gaz inerte, protège une **lame flexible servant d'interrupteur** (fig. 37). A chaque fois qu'un aimant mobile passe à proximité de l'« I.L.S », la lame est attirée et le contact se ferme.

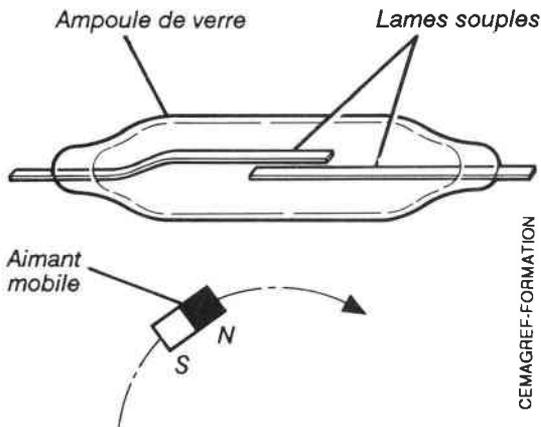


Fig. 37 — Principe d'un capteur à lame souple (I.L.S.).

L'application la plus classique des interrupteurs à lame souple est la **surveillance d'arbres tournants** (fig. 38) ou de pièces à mouvements alternatifs. Ils peuvent également être utilisés lorsqu'une liaison sans contact est nécessaire (milieu liquide). Parmi les applications les plus courantes, citons :

— **les contrôleurs de rotation** d'arbres des moissonneuses batteuses (élévateur à otos, élévateur à grain, convoyeur, tamis rotatif...), l'aimant rotatif est fixé avec un collier sur les arbres à contrôler. Pour les grilles de nettoyage et autres organes à mouvements alternatifs, l'aimant est vissé sur la partie mobile.

— **les capteurs de débit de carburant** qui équipent les systèmes de mesure de consommation intégrés ou adaptables sur les tracteurs et automoteurs. Un aimant placé dans un rotor du débitmètre, actionne un contact I.L.S à chaque tour (1 tour = 1 cm<sup>3</sup> par exemple).

— **les capteurs I.L.S de vitesse des roues**. Des aimants sont fixés sur la jante de la roue avant du tracteur ou celle du pulvérisateur. Un ordinateur couplé avec une horloge compte le nombre d'impulsions et en déduit la vitesse théorique (de la roue), si l'on a préalablement programmé la circonférence et le nombre de plots magnétiques de la roue.

Les arbres plus rapides sont généralement équipés de détecteurs de proximité ou de capteurs inductifs décrits plus loin.

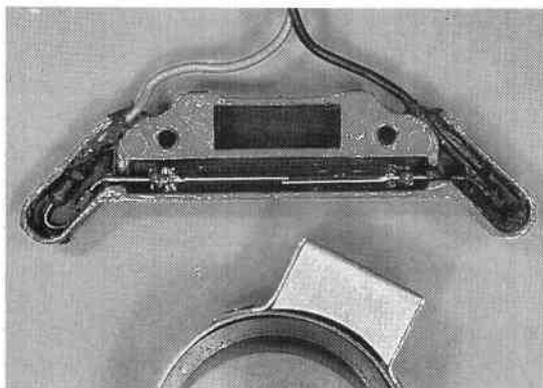


Fig. 38 — Vue en coupe d'un capteur à lame souple : I.L.S. (Photo CEMAGREF-DICOVA).

## • LES DÉTECTEURS DE PROXIMITÉ :

On appelle détecteurs de proximité, des capteurs capables de déceler le passage, la présence ou le mouvement d'une pièce. Parmi les différents détecteurs de proximité, citons **les capteurs inductifs passifs et actifs, et les capteurs à effet Hall** :

- **Les capteurs inductifs à réductance variable** (fig. 39 et 40) :

Placés à proximité d'organes ferromagnétiques mobiles (fer ou acier), ils sont constitués simplement d'un aimant permanent et d'un bobinage non alimenté.

Observons la figure 39 : la roue étant en rotation et lors du passage d'une dent devant le capteur, le flux magnétique généré par l'aimant se « concentre » pour traverser le fer, beaucoup plus perméable que l'air. Le flux qui traverse la bobine augmente, et sa variation, engendrée par le passage de la dent devant le capteur est détectée par le bobinage. Inversement, lorsque la dent s'éloigne de la zone d'influence, le flux qui traverse la bobine diminue. Celle-ci est traversée par un courant induit qui tend à prolonger le flux magnétique existant. C'est une application de la LOI DE LENZ.

Le capteur inductif se comporte comme un véritable petit **alternateur** et le **signal de sortie** est une tension alternative, de fréquence identique à celle du passage des dents.

Très simples et peu coûteux, ces capteurs sont très souvent utilisés, comme **capteurs de rotation** (fig. 40). Leur principe ne permet pas de détecter la **présence** d'une pièce, mais uniquement son **passage** ; à condition toutefois qu'elle soit réalisée en métal ferreux.

Les applications les plus courantes des capteurs inductifs à réductance variable sont :

- la mesure du régime des moteurs, en plaçant le capteur devant la couronne de démarrage,
- la mesure des vitesses théoriques d'avancement, en plaçant le capteur devant un pignon de sortie de boîte de vitesses par exemple,

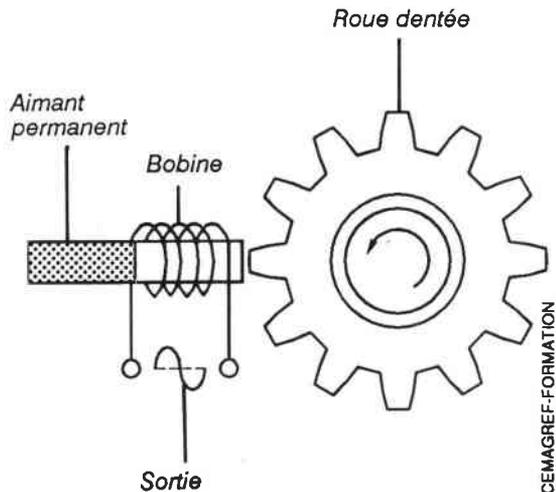


Fig. 39 — Principe d'un capteur inductif à réductance variable.

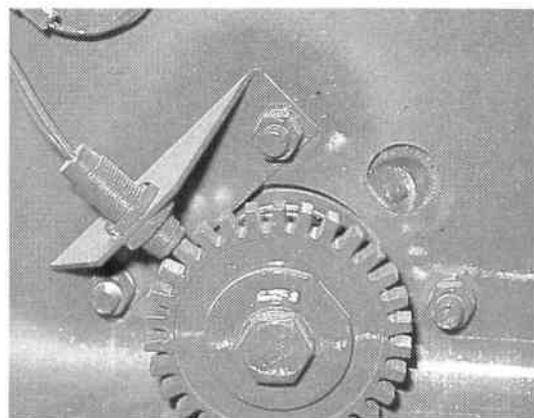


Fig. 40 — Vue d'un capteur inductif à réductance variable  
(Photo CEMAGREF-DICOVA).

— la mesure des vitesses des arbres dont on veut connaître le régime avec précision : batteur, ventilateur, broyeur...

— les indicateurs de rotation d'arbres des consoles de surveillance des machines de récolte (moissonneuses- batteuses), en complément des I.L.S utilisés pour les organes à mouvement moins rapide.

— les débitmètres pour le contrôle des pulvérisateurs. Ces débitmètres comprennent une hélice axiale, recouverte de téflon, et un capteur placé radialement. Le capteur « détecte » le passage des pales dont la fréquence est proportionnelle au débit.

— **Les capteurs inductifs à courants de FOUCAULT** (fig. 41 et 42) :

Appelés aussi détecteurs de proximité inductifs, ils fonctionnent en faisant appel aux courants de FOUCAULT et sont utilisés comme capteurs de position ou de vitesse de rotation.

Ils se composent essentiellement d'un oscillateur et de bobinages qui génèrent un champ magnétique alternatif.

Rappelons qu'une pièce métallique soumise à un champ magnétique variable tend à se comporter comme un bobinage élémentaire, donnant naissance à des courants induits dont les effets s'opposent à la variation de flux. Ces courants induits, qui se propagent à l'intérieur de la pièce, sont appelés courants de FOUCAULT.

Lorsqu'un écran métallique est placé devant la face sensible du capteur, les courants de FOUCAULT, induits dans l'écran, déséquilibrent l'oscillateur.

Après mise en forme de cette information, un circuit de commutation délivre un signal de sortie équivalent à un contact à fermeture ou à ouverture suivant les modèles d'appareils. Le mode à fermeture correspond à un détecteur dont la sortie (transistor ou thyristor) devient passante en présence d'un écran, et inversement.

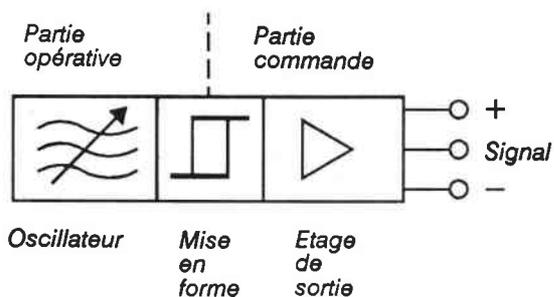


Fig. 41 — Principe d'organisation d'un capteur inductif à courants de Foucault.



Fig. 42 — Vue d'un capteur à courants de Foucault (Photo CEMAGREF-DICOVA).

L'avantage des détecteurs inductifs est qu'ils permettent de détecter la **présence** ou le **passage d'une pièce** réalisée avec n'importe quel type de métal (aluminium, cuivre, fer...).

La figure 42 montre l'exemple d'un détecteur de ce type utilisé comme compte tour par la Société AGROTRONIX : placé à proximité d'une roue non motrice, le capteur « compte » les boulons de la jante et donne l'information de la vitesse théorique d'avancement, nécessaire au calcul de la quantité hectare à partir du débit mesuré par un autre capteur. La régulation de la pulvérisation se fait ensuite en comparant le résultat à la valeur programmée par l'agriculteur.

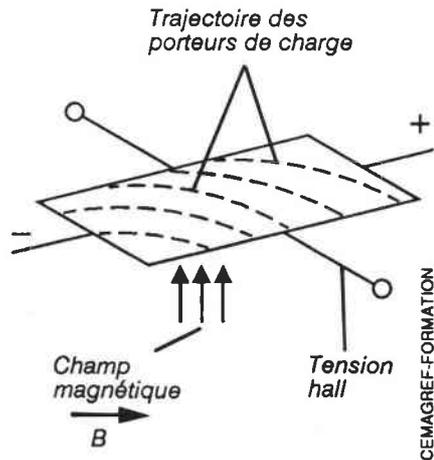


Fig. 43 — Principe de l'effet HALL.

#### — Les capteurs à effet Hall (fig. 43) :

Du nom du physicien qui l'a observé, l'**effet HALL** correspond à l'apparition d'une tension perpendiculaire au sens du courant, sur **une plaquette semi-conductrice** placée dans un champ magnétique. Cette tension est proportionnelle au produit du champ magnétique par le courant.

Habituellement utilisé pour mesurer les champs magnétiques, l'effet Hall peut servir à l'élaboration de capteurs capables de détecter des plots magnétiques.

La face sensible d'un capteur à effet Hall est constituée de semi-conducteurs (antimonium d'indium ou arsénure d'indium) caractérisés par la grande mobilité de leurs électrons.

Parmi les nombreuses applications possibles, citons le capteur de vitesse théorique d'avancement utilisé par la société DICKEY-JOHN ; dans ce dernier cas, une couronne de plots magnétiques est préalablement collée sur le voile de la roue du véhicule.

#### • LES CAPTEURS DE POSITION :

Les capteurs de position sont des capteurs analogiques capables de **mesurer la position** (linéaire ou angulaire) d'un organe de machine. On distingue essentiellement **les capteurs de position potentiométriques** (ou résistifs) et **les capteurs de position électromagnétiques** : à bobines différentielles, à variation d'inductance.

#### — Les capteurs de position à potentiomètre :

Les capteurs potentiométriques **linéaires** (fig. 44) ou **rotatifs** se composent d'un curseur qui se déplace le long d'une résistance bobinée ou à piste conductrice.

Un potentiomètre fonctionne en courant continu (intensité  $I$ ) ; la valeur du signal électrique (tension  $U$ ), est liée à la résistance ( $R$ ) par la relation  $U = RI$ .

Le déplacement d'une fonction mécanique peut être traduit directement en un signal électrique.

La piste résistante sur laquelle se déplace le curseur est en général en film plastique conducteur (résolution infinie) ou à piste bobinée (la résolution dépend alors du diamètre du fil utilisé).

Les potentiomètres sont peu utilisés comme capteurs en machinisme agricole, car la fréquence des mouvements finit par détériorer la piste localement ; en revanche on les utilise sur la plupart des consoles des relevages électroniques, des contrôleurs de rotation et des détecteurs de pertes de grains sur moissonneuses-batteuses. La commande ou l'affichage des consignes sont alors obtenues par l'intermédiaire de potentiomètres à piste.

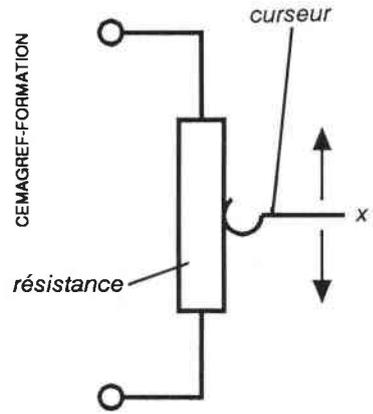


Fig. 44 — Principe d'un capteur potentiométrique linéaire.

### — Les capteurs de position à bobines différentielles :

Il s'agit de capteurs de position inductifs à **variation de tension**. La figure 45 montre un capteur de ce type, constitué de deux bobines branchées en série, et alimentées par du courant alternatif haute fréquence grâce à un oscillateur.

Un **noyau de ferrite**, relié mécaniquement au déplacement à mesurer, se déplace axialement par rapport aux bobines.

Au repos, le noyau est positionné symétriquement par rapport aux bobines, la « résistance » des bobines à l'établissement du courant alternatif (inductance) est identique.

Si la tension appliquée aux bornes est de 5 volts, on obtient 2,5 volts entre les deux bobines.

Le déplacement du noyau provoque la modification de la **perméabilité magnétique** du milieu environnant la première bobine, par rapport à l'autre. Il en résulte un déséquilibre et la tension de sortie varie.

Ce principe s'applique à des mesures de déplacement linéaire ou rotatif.

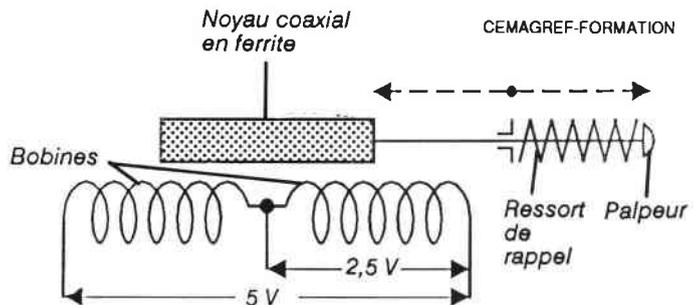


Fig. 45 — Principe d'un capteur de position linéaire à bobines différentielles.

**- Capteur de position linéaire, à bobines différentielles :**

Ce principe est par exemple utilisé comme **capteur de position des bras de relevage** (fig. 46) des tracteurs à relevage électronique (se reporter au chapitre : les liaisons tracteur-outil, les relevages hydrauliques).

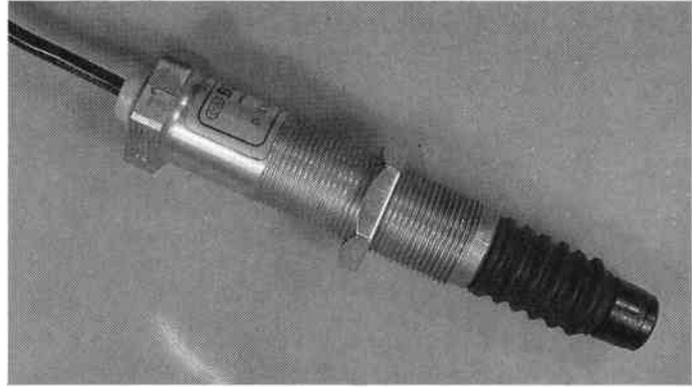


Fig. 46 — Vue d'un capteur de position linéaire à bobines différentielles Bosch (Photo CEMAGREF-DICOVA).

Le signal de position étant fourni en tension variable (signal analogique), il est directement utilisable au niveau de l'**amplificateur opérationnel**, qui le compare avec la **valeur de consigne** affichée au potentiomètre de la platine de commande. La différence, amplifiée, actionne le distributeur électro-hydraulique de relevage.

**- Capteur de position rotatif, à bobines différentielles :**

Parmi les applications utilisant le principe du capteur rotatif, à bobines différentielles, citons le système d'**option directionnelle** de certains tracteurs (fig. 47).

L'option directionnelle de certains tracteurs à quatre roues motrices égales de forte puissance permet d'améliorer leur maniabilité. Certains constructeurs proposent un asservissement du braquage des roues arrière, en fonction de l'angle des roues de l'essieu directionnel avant. En plus de la conduite classique (roues motrices avant), deux options sont possibles : **angle de braquage des roues arrière inverse** de l'angle des roues directrices avant, pour une manoeuvre serrée avec traces de roues superposées ; **angle de braquage identique** des roues arrière et avant pour obtenir une « **marche en crabe** ».

C'est un **circuit électronique de comparaison de tension** qui prend en compte les

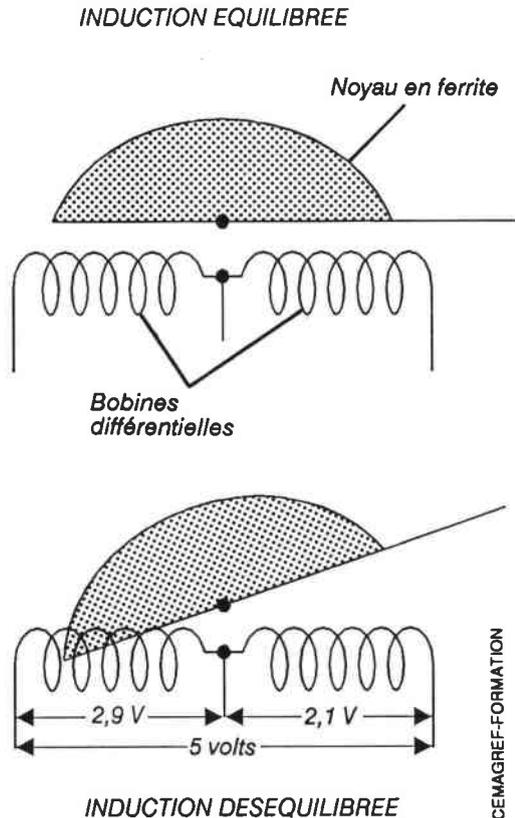


Fig. 47 — Principe d'un capteur de position angulaire à bobines différentielles.

CEMAGREF-FORMATION

indications des capteurs d'angle des roues avant et arrière (fig. 48). Les signaux de tension, émanant des deux capteurs, sont traités par un **amplificateur opérationnel**, qui amplifie la différence de tension pour alimenter l'électrovanne de commande de la direction.

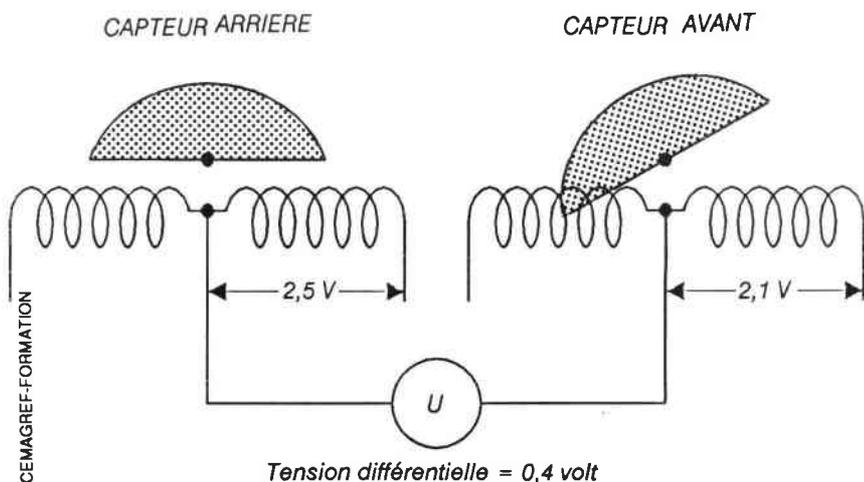


Fig. 48 — Principe d'un circuit de comparaison de tension avec deux capteurs de position angulaire à bobines différentielles.

— Les capteurs de position à variation d'inductance (fig. 49 et 50) :

Les capteurs de position à variation d'inductance permettent d'obtenir un **signal à fréquence variable**. La figure 49 montre le principe d'un capteur de ce type, constitué d'une bobine alimentée en courant alternatif haute fréquence. Cette bobine est placée dans un circuit oscillant (circuit résonnant). A chaque position du noyau de ferrite correspond **une inductance différente (L)** de la bobine. Le capteur est inséré dans un **circuit résonnant R.L.C (R : Résistance, L : Impédance, C : Capacité)**. La fréquence d'un circuit résonnant étant dépendante des valeurs R, L et C, à chaque position du noyau, L varie et la fréquence de résonance du circuit est modifiée.

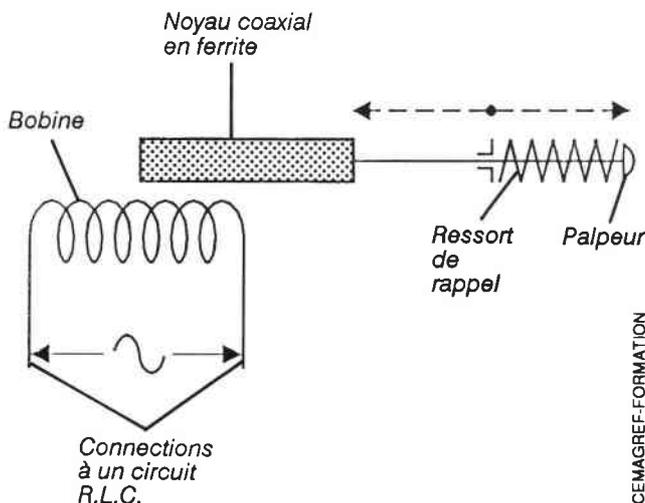


Fig. 49 — Principe d'un capteur de position linéaire à variation d'inductance.

A chaque position du noyau correspond donc une fréquence de sortie.

Le capteur de déplacement à variation d'inductance est utilisé, notamment, dans les applications électroniques développées conjointement par RENAULT et SAGEM (fig. 50), pour les contrôles de position et d'effort des relevages T.C.E, et pour le contrôle de positionnement des synchroniseurs de la transmission TRACTOSHIFT :

— le relevage hydraulique Tracto-Control-Électronique utilisant la même structure que la version à commande mécanique, le capteur de position est commandé par une tringlerie reliée aux bras de relevage et le capteur d'effort (identique) mesure l'écrasement du ressort à boudin logé dans le « cylindre dynamométrique » du tracteur (se reporter au chapitre : les liaisons hydrauliques tracteur-outil, les relevages hydrauliques).

Les signaux de chaque capteur sont traités par un fréquencemètre et numérisés.

— dans la transmission TRACTOSHIFT (se reporter au chapitre : les transmissions mécaniques, les amplificateurs de traction), des capteurs à variation d'inductance sont utilisés pour le contrôle du bon positionnement des synchroniseurs avant que le micro-processeur n'autorise la mise en pression de l'embrayage multidisque concerné.

### • LES THERMOCOUPLES (fig. 51 et 52) :

La mesure des températures s'effectue le plus souvent au moyen de **capteurs thermiques** appelés **thermocouples**.

Un thermo-couple est un circuit constitué par la **jonction de deux conducteurs métalliques de nature différente A et B** (fig. 51). Lorsque la jonction est portée à une température, le couple de conducteurs est le siège d'une force électromotrice (f.e.m.), qui obéit à des lois relativement simples ; en particulier, la f.e.m. d'un thermocouple ne dépend que de la nature des conducteurs et de la température de la jonction. Ce phénomène physique est connu sous l'appellation « effet SEEBECK ».

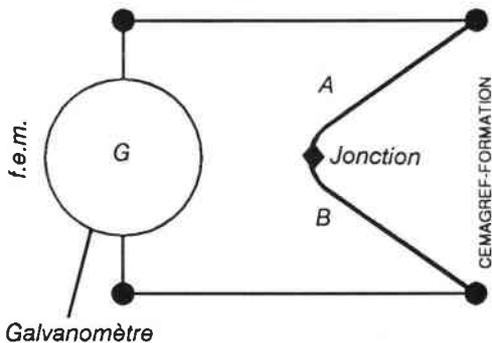


Fig. 51 — Principe d'un thermo-couple.

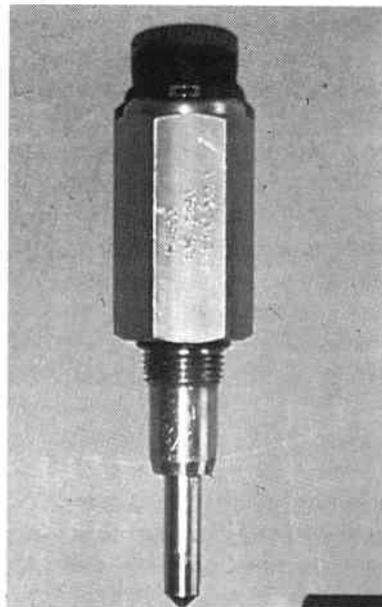


Fig. 50 — Vue d'un capteur de position linéaire à variation d'inductance Wabco (Photo Renault Agriculture).

Parmi les applications les plus connues des thermocouples, citons :

- les **transmetteurs de température moteur (eau, huile)**. Ne pas confondre les thermocouples avec les thermocontacts, ces derniers étant constitués d'un bilame qui actionne un contact tout ou rien, (enclenchement des ventilateurs débrayables ou allumage de voyants d'alarme).

- la **sonde de température d'échappement** qui permet le calcul de l'indication de couple moteur au moniteur de conduite ACET (Aide à la Conduite Économique du Tracteur), des tracteurs RENAULT.

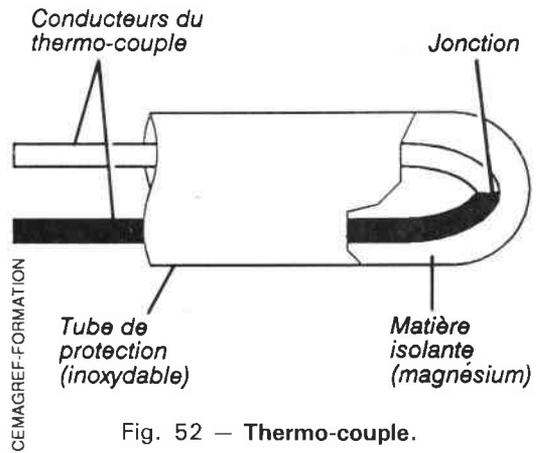


Fig. 52 — Thermo-couple.

### • LES JAUGES DE CONTRAINTES :

Une pièce mécanique soumise à des contraintes (sous l'effet d'une force ou d'un couple), se déforme faiblement. On appelle **jauge de contrainte**, le dispositif qui permet de mesurer ces très faibles déformations et de déterminer la valeur de la force qui les a créées. Ce type de mesure relève d'une discipline appelée « **extensométrie** ».

On distingue les **jauges de contraintes à fil résistant** et les **jauges magnéto-élastiques** :

#### – Les jauges de contraintes à fil résistant :

Une **jauge de contrainte élémentaire à fil résistant** est constituée d'un fil conducteur électrique (fig. 53), placé sur la pièce parallèlement à la contrainte (F). L'allongement du fil suit les variations de longueur de la pièce selon la direction (x) .

La relation  $R = \sigma \frac{l}{S}$

$\sigma$  : résistivité  
 $l$  : longueur  
 $S$  : section

nous rappelle que la résistance (R) est proportionnelle à la longueur du fil de la jauge. **En pratique, la variation de la résistance ( $\Delta R$ ) est aussi proportionnelle à la variation de longueur ( $\Delta l$ ) de la jauge :**

$$\frac{\Delta R}{R} = K \frac{\Delta l}{l} \text{ et } F = k \frac{\Delta R}{R} = k.K \frac{\Delta L}{L}$$

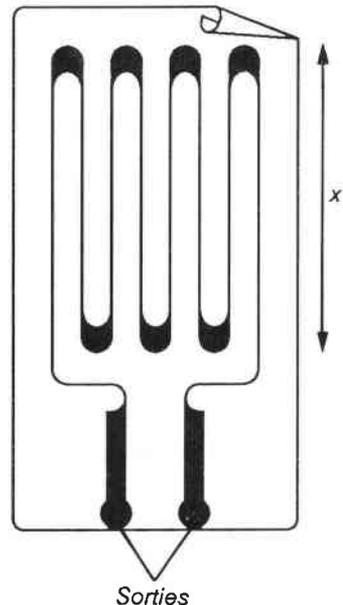


Fig. 53 — Jauge de contrainte avec son support souple collable.

La mesure de  $\frac{\Delta R}{R}$  se fait par un **Pont de Wheatstone** (fig. 54).

**Le pont de Wheatstone comprend quatre résistances collées sur la structure à étudier, de telle façon que les effets recherchés s'ajoutent et les effets parasites s'annulent.**

Or, pour rétablir l'équilibre d'un pont  $R1 \times R3 = R2 \times R4$ , il faut faire varier les résistances de telle façon que :

$$\frac{\Delta R1}{R1} + \frac{\Delta R3}{R3} = \frac{\Delta R2}{R2} + \frac{\Delta R4}{R4}$$

**C'est ainsi que deux résistances opposées agissent dans le même sens et deux résistances adjacentes agissent en sens contraire.**

- **Les capteurs de pesée** pour les bennes et les cellules à pesage intégré : dans ce cas le support travaille en flexion. Une butée mécanique de surcharge évite au pont de jauges de se détériorer.

- **Les capteurs de pression** (fig. 55) pour le contrôle électronique des pulvérisateurs : le corps d'épreuve est une membrane, déformée sous l'effet de la pression. Une quatrième jauge a en plus une fonction de compensation afin de rendre le montage insensible à la température.

— **Les jauges de contraintes magnéto-élastiques :**

Le phénomène physique de la **magnéto-élasticité** (ou magnéto-striction) à été démontré par M. JANOVSKY en 1933. Depuis cette date, des capteurs d'effort utilisant ce principe, sont utilisés dans l'industrie.

M. JANOVSKY s'est aperçu que la **courbe d'aimantation d'un matériau**

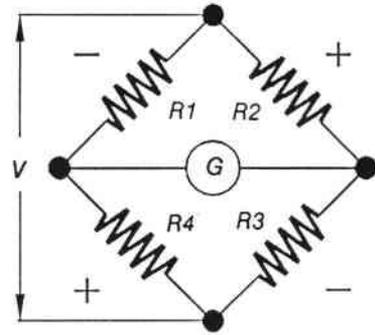


Fig. 54 — Pont de Wheatstone.

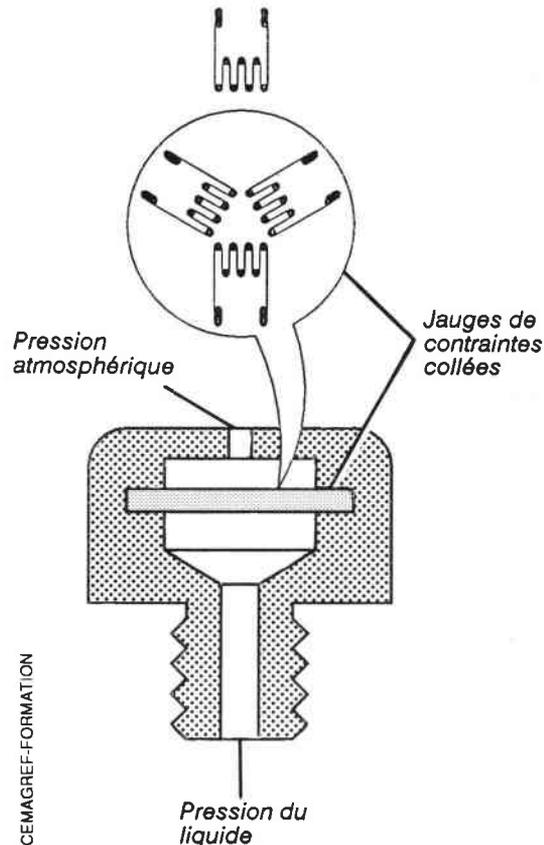


Fig. 55 — Capteur de pression à jauges de contrainte.

**ferro-magnétique diffère selon que ce matériau est soumis ou non à une contrainte mécanique (fig. 56).**

Les matières ferro-magnétiques soumises à un champ magnétique subissent une modification géométrique ou mécanique. **C'est l'effet magnéto-strictif direct.**

Réciproquement, toute contrainte, créée par exemple sous l'effet d'une force à mesurer, modifie la perméabilité magnétique du matériau. La perméabilité caractérise la facilité avec laquelle un flux magnétique peut traverser un matériau sous l'effet d'un champ magnétique (B). La résistance magnétique, ou **réductance**, est à l'inverse de la perméabilité. Par analogie avec la résistance en électricité,  $U = RI$ , **la réductance** ( $r$ ) détermine la valeur du flux magnétique ( $\Phi$ ) qui s'installera sous l'effet d'un champ magnétique B :

$$B = r (\Phi).$$

La magnéto-élasticité est appliquée par la société BOSCH dans la réalisation d'un capteur d'effort de traction pour les tracteurs à relevage à commande électronique (fig. 57). Ce capteur est intégré à l'axe qui relie, au tracteur, les barres inférieures de traction de l'attelage trois points. Pour cette raison, on l'appelle aussi « barreau » de mesure.

Il est positionné grâce à 3 méplats imposant le sens de montage. Les forces perpendiculaires au sens établi de mesure ne libèrent pas de signaux.

Il travaille en cisaillement et un décolletage, pratiqué sur le plan de mesure, détermine la zone sensible.

Son principe, basé sur l'effet **magnétostrictif inverse** (modification de la perméabilité suivant la contrainte) permet la mesure de la force de cisaillement par l'intermédiaire d'un **transformateur à variation de couplage**.

Une bobine primaire est placée dans le plan de cisaillement, elle est alimentée en courant alternatif haute fréquence (9 kHz) par l'intermédiaire d'un oscillateur.

Deux bobines secondaires, montées en pont, sont placées de chaque côté du plan de cisaillement (fig. 57). Leur disposition à angle droit par rapport à la bobine primaire supprime tout couplage lorsque le milieu est isotrope (barreau au repos).

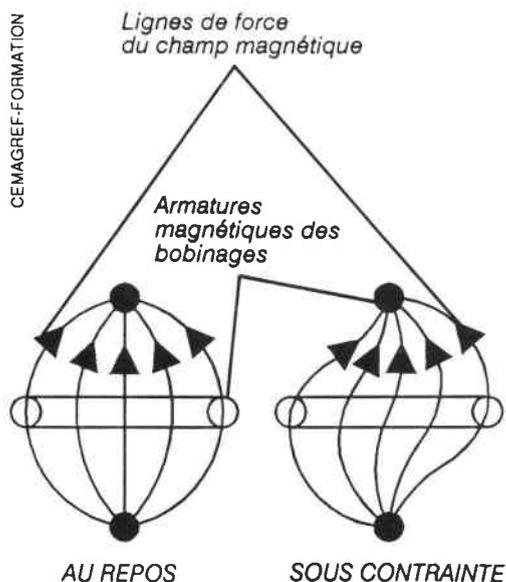


Fig. 56 — Principe de la magnéto-élasticité.

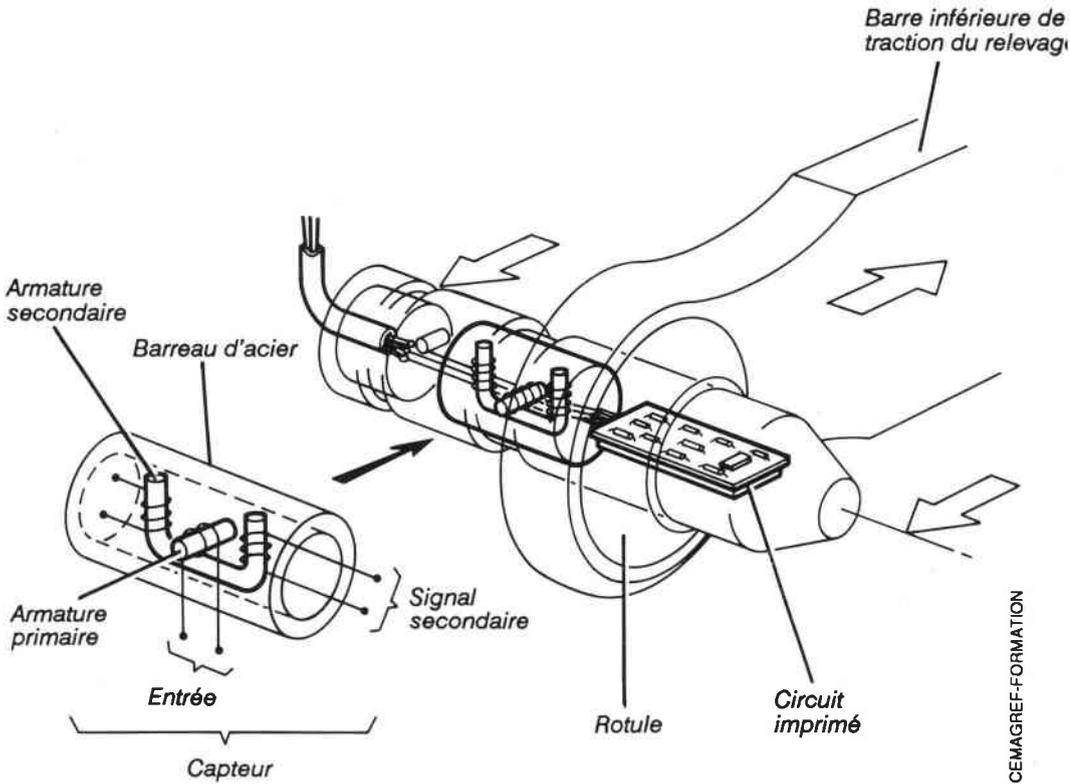


Fig. 57 — Principe d'un capteur d'effort magnéto-élastique Bosch.

Lorsqu'une force est appliquée, il en résulte une diminution de la perméabilité dans la direction de la force de compression et une augmentation dans la direction transversale.

La symétrie des lignes d'induction se trouve donc altérée par le cisaillement, de sorte qu'un signal est induit par le primaire dans le secondaire, d'amplitude proportionnelle à la force à mesurer.

La relation de phase entre signaux primaires et secondaires permet de connaître le signe de la force appliquée.

Pour une tension d'alimentation de 10 volts, le signal est constitué après traitement par une tension de 5 volts au repos, 2,5 volts en traction maximale et 7,5 volts en compression maximale.

• **LES CAPTEURS A ULTRA-SONS** (fig. 58 et 59) :

Ces capteurs utilisent le principe des émetteurs récepteurs d'ultra-sons. Ils sont utilisés pour la mesure des distances.

CEMAGREF-FORMATION

— **L'émetteur d'ultra-sons** le plus courant est basé sur **l'effet piézo-électrique inverse**. Un cristal de quartz, soumis à une différence de potentiel alternative (d.d.p), est le siège de contraintes et se met à vibrer à la même fréquence que la tension excitatrice. Pour obtenir le meilleur rendement, il est judicieux que cette fréquence corresponde à la fréquence de résonance du quartz.

— **Le récepteur** fonctionne sur **l'effet piezo-électrique direct** : un quartz soumis à une contrainte génère des charges électriques sur ses faces opposées.

Chaque capteur à ultra-sons comporte un ou plusieurs **transducteurs**, selon que l'on spécialise la fonction (émetteur et récepteur) ou que l'on utilise le même élément pour l'émission et la réception. Rappelons qu'un transducteur est un système qui convertit un type d'énergie en un autre, ici l'énergie électrique est transformée en énergie mécanique et inversement.

Le capteur émet des « **paquets d'ondes** » par l'intermédiaire du transducteur en configuration d'émetteur. Ces ondes sont réfléchies par la plupart des surfaces. Dès qu'un objet entre dans le faisceau, il peut renvoyer un écho vers le transducteur récepteur.

Une mesure de distance est alors possible car **le temps mis par le paquet d'ondes pour effectuer le trajet capteur-objet aller et retour est proportionnel à la distance parcourue**.

**La limite inférieure d'utilisation** correspond au temps nécessaire à émettre un train d'ondes. **Le domaine de mesure** est limité à quelques mètres pour les applications les plus courantes.

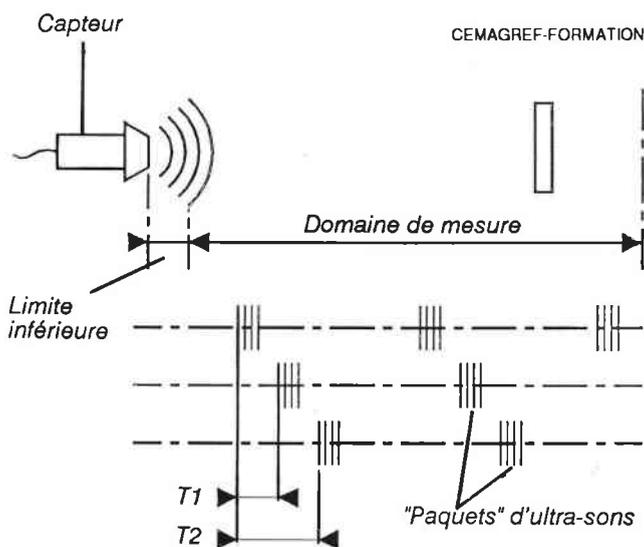


Fig. 58 — Principe d'action d'un capteur à ultra-sons.

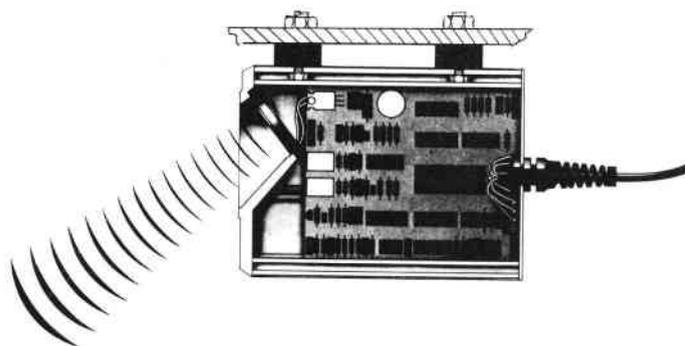


Fig. 59 — Vue d'un émetteur-récepteur d'ultra-sons : Sonar Track Star Laffineur (Document Micro-Star).

L'emploi d'ondes ultra-sonores permet de réaliser des mesures de distances sans contact, sur des grandeurs que ne peuvent pas atteindre d'autres détecteurs.

Parmi les applications des capteurs à ultra-sons, citons la mesure de la profondeur de travail d'une charrue et la correction automatique de devers des rampes de pulvérisateur :

La nécessité de maintenir les rampes de pulvérisation parallèles au sol et à une hauteur optimale pour le recouvrement des jets, a conduit les constructeurs à perfectionner les systèmes de suspension traditionnels.

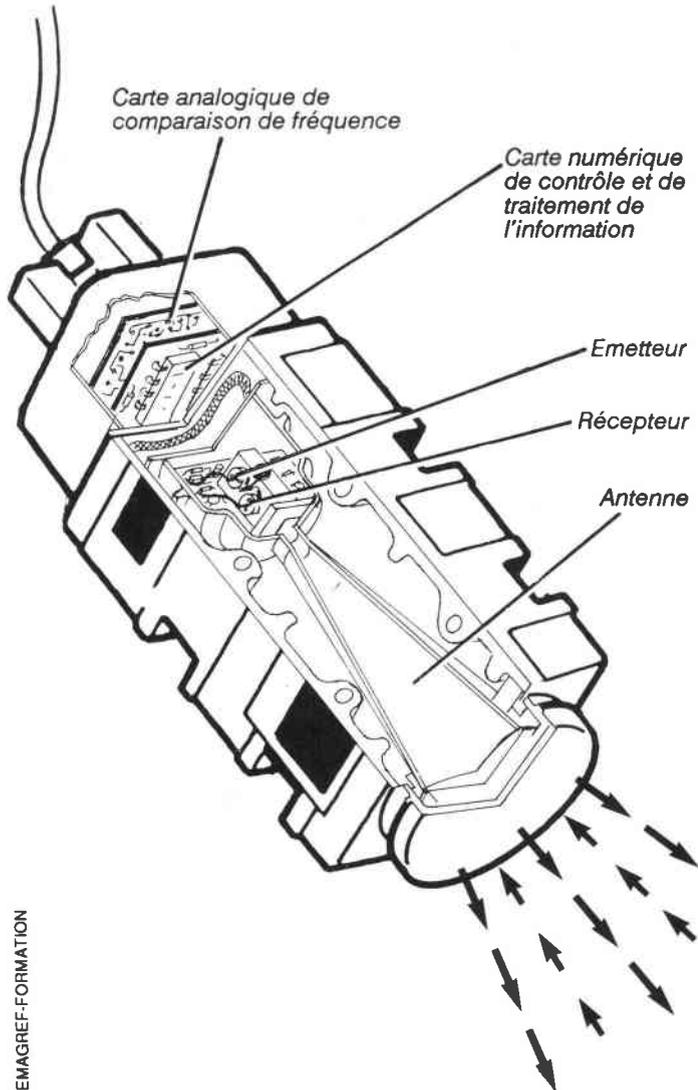
La société Française AGROTRONIX, spécialisée dans les applications agricoles de l'électronique, a réalisé un asservissement à l'aide de deux capteurs à ultra-sons situés aux extrémités de la rampe du pulvérisateur. Une unité électronique de traitement, en agissant sur un distributeur hydraulique proportionnel, maintient la rampe parallèlement au sol.

• **LES RADARS A EFFET DOPPLER**  
(fig. 60 et 61) :

La mesure des vitesses par radar est obtenue par l'émission continue d'ondes hyperfréquence.

Le phénomène utilisé pour cette mesure est basé sur l'effet **DOPPLER-FIZEAU**.

Le physicien Autrichien Christian **DOPPLER**, étudia au début du 19<sup>e</sup> siècle, la **variation de hau-**



CEMAGREF-FORMATION

Fig. 60 — Principe d'un radar à effet Doppler Dickey-John.

teur du son perçu lorsque la source sonore se déplace par rapport à l'observateur.

En 1849, le français Hyppolyte FIZEAU, effectua la première mesure directe de la vitesse de la lumière, et étendit à celle-ci le principe de Doppler.

Le principe peut se résumer de la manière suivante : **s'il existe un mouvement relatif entre un émetteur d'onde (sonore, lumineuse ou hertzienne) et un observateur, la fréquence de l'onde perçue est différente de la fréquence réelle. Précisons toutefois que les ondes acoustiques se déplacent à la vitesse du son (330 m/s dans l'air), tandis que les ondes lumineuses et les ondes radio-électriques se déplacent à la vitesse de la lumière (300 000 km/s).**

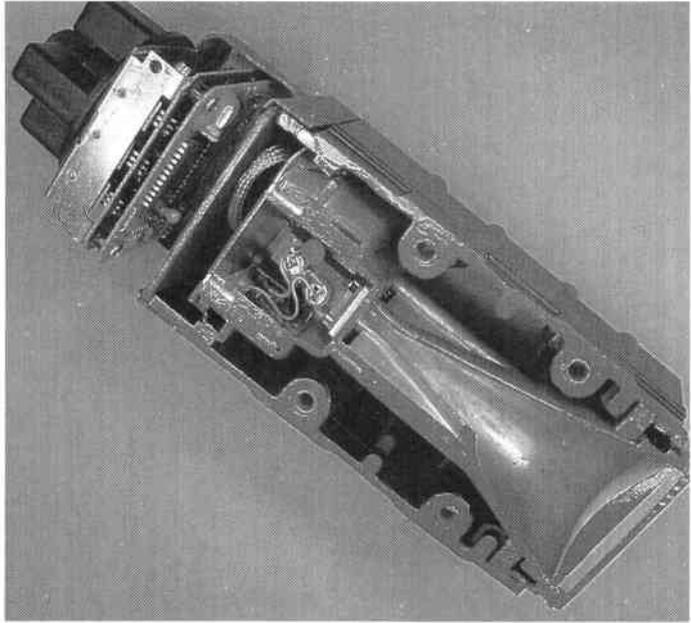


Fig. 61 — Vue en coupe d'un radar Dickey-John  
(Photo CEMAGREF-DICOVA).

Le phénomène se manifeste lorsque l'on perçoit le passage d'une voiture de course : le son est d'abord aigu lorsqu'elle s'approche, devient normal, puis plus grave lorsqu'elle s'éloigne.

Cela peut s'expliquer par l'image simple suivante : imaginons qu'une source de vibrations crée à la surface de l'eau, une « vaguelette » par seconde. La coque d'une embarcation recevra une « vaguelette » par seconde, si elle est immobile par rapport à la source, et ce, quelle que soit la distance (dans la limite de réception) et quelle que soit la vitesse de déplacement de l'onde sur l'eau.

Par contre, si l'embarcation se rapproche de la source, la coque rencontrera plus de vaguelettes par unité de temps, la fréquence du clapotis augmente ! et inversement si elle s'éloigne.

Si l'on appelle (fé), la fréquence émise et (fr), la fréquence de retour, la formule physique qui régit le phénomène d'émission-réception d'ondes qui induit le fonctionnement d'un radar s'établit comme suit :

$$fr - fé = fé \times \frac{\pm 2 \text{ vitesse du mobile}}{\text{vitesse de la lumière}}$$

Le signe + ou - dépend du sens du mouvement relatif, la fréquence pouvant être décalée vers le haut ou vers le bas.

Le radar émet **une onde hyperfréquence** (générée par un oscillateur à une fréquence de plusieurs millions de Hertz) cette onde est réfléchiée par l'objet dont on veut connaître la vitesse relative et perçue par le radar.

Un mélangeur de fréquences reçoit d'une part la fréquence émise et d'autre part, la fréquence retour, perçue par l'antenne du radar. En sortie du mélangeur, on retrouve la différence des deux fréquences.

La figure 61 montre la coupe d'un radar constitué d'une section radio fréquence qui comporte une antenne en forme de cornet et un émetteur récepteur micro-ondes. Tous les composants de l'émetteur et les différents circuits sont logés dans un moulage métallique étanche, non accessibles à l'utilisateur.

Ce type de radar fabriqué par DICKEY-JOHN est très utilisé sur les tracteurs. Sa fréquence est de 24,125 GHz.

Parmi les autres réalisations, citons :

— le **système Trak-star** (U.S.A), commercialisé en France par la société LAFFINEUR (fig. 59). Il s'agit d'un émetteur-récepteur d'ultra-sons (Sonar) à la fréquence de 60 kHz suivant un principe général de fonctionnement analogue au radar.

Il est utilisé en France sur des équipements électroniques de contrôle de pulvérisation.

— le **système RADAREX** de la société A.A.E.E SPAREX (fig. 62). De technologie Française, ce radar n'utilise pas moins de 3 brevets de centres de recherche et d'Universités. Il se caractérise par une antenne imprimée extra-plate, sur un support polypropylène, qui lui confère un encombrement réduit. De plus, son **rayonnement à double faisceau** le rend insensible aux changements d'assiette du tracteur. Un traitement numérique du signal complète le dispositif. L'émission se fait également à 24,125 GHz, fréquence agréée PTT.

Il équipe notamment l'indicateur de patinage des tracteurs John Deere, et l'AGROCENTRALE de la société PIONNER : ordonnateur de gestion de parcelle et de contrôle, embarqué sur tracteur.

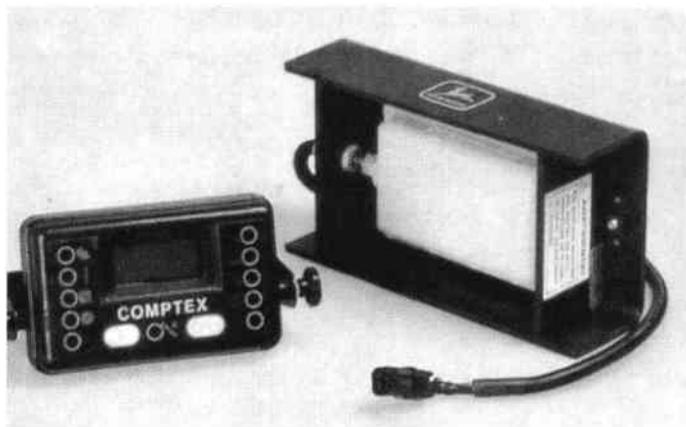


Fig. 62 — Radar à double faisceau Radarex : à droite l'émetteur-récepteur, à gauche la console d'indication (Document A.A.E.E. Sparex).

Les applications des radars sont les **indicateurs de vitesse réelle d'avancement**, les **indicateurs de patinage** et les **contrôleurs de glissement** :

**Malgré la très faible puissance d'émission des radars hyperfréquences, il convient de ne pas se placer dans leur champ en regardant le transducteur. Il y a risque de lésions pour les yeux.**

## • PRÉSENTATION DE QUELQUES RÉALISATIONS :

La description et le mode d'emploi de tous les systèmes électroniques n'étant pas possible dans cet ouvrage, observons les différents exemples de réalisations présentés par les figures **63**, **64**, **65**, **66** et **67**, et analysons le principe de trois dispositifs répandus, les **indicateurs de vitesse réelle d'avancement**, les **indicateurs de glissement** ou de **patinage** et les **contrôleurs de glissement** :

### – Les indicateurs de vitesse réelle d'avancement :

La mesure de la vitesse réelle est nécessaire dans la plupart des dispositifs de régulation de quantité/hectare de produits épandus ou pulvérisés.

L'obtention de cette vitesse par effet Doppler est proposée en option, en remplacement des détecteurs sur roues non motrices, par la plupart des constructeurs de consoles pour le calcul et la régulation des pulvérisateurs.

Parallèlement à cette utilisation, la quasi-totalité des constructeurs de tracteurs proposent un radar en option ou en série sur les tracteurs de haut de gamme.

L'indication de cet appareil est fournie en général à un petit ordinateur de bord, qui peut afficher, après calcul (fig. **63**) :

– la vitesse réelle d'avancement

– la distance parcourue  $d = v.t$

– la surface travaillée (à condition d'avoir « entré » et validé la largeur de travail).  
 $s = d.l$

### – Les indicateurs de glissement ou de patinage (fig. **63**) :

Le glissement d'une roue motrice sur un sol agricole se met en évidence facilement. Une même distance jalonnée sera parcourue avec un nombre de tours de roues plus grand si le tracteur exerce un effort de traction (outil au travail) par rapport au même parcours, outil levé.

On obtient d'ailleurs dans ce cas le seul glissement dû à l'outil, car lors de son parcours à vide le tracteur est déjà sujet à un glissement, par le simple fait qu'il doit prendre appui sur le sol pour sa propre propulsion.

Le glissement correspond à une perte de puissance par perte de la vitesse d'avancement, puisque pour un même nombre de tours de roues le tracteur parcourt une distance plus courte. Si (D) est la distance parcourue à vide et (d), la distance parcourue au travail, l'expression du glissement est :

$$g \% = \frac{D - d}{D} \times 100$$

En terme de vitesse, si (v<sub>th</sub>) est la vitesse théorique d'avancement et (v<sub>r</sub>) la vitesse réelle, l'expression se traduit par la relation :

$$g \% = \frac{v_{th} - v_r}{v_{th}} \times 100$$

A partir de l'information de vitesse réelle fournie par le radar, et de la vitesse théorique fournie par le capteur de vitesse de sortie de la transmission du tracteur, l'ordinateur de bord procède au calcul du taux de glissement, et à son affichage, laissant à l'agriculteur le soin de prendre les dispositions qui s'imposent.



Fig. 63 — Tableau de bord Case IH avec indicateur de vitesse réelle d'avancement et de patinage (Photo Case IH).



Fig. 64 — Console de commande d'un relevage avec contrôleur de glissement à taux fixe : FENDT (Photo R. Autellet).

## – Les contrôleurs de glissement :

Il s'agit de systèmes d'asservissement du relevage de certains tracteurs à la valeur du taux de glissement. Le terme contrôle est employé ici dans sa signification anglo-saxonne de « commande ».

Le contrôle d'effort conventionnel tend à maintenir le coefficient de traction des roues à une valeur sensiblement constante. Il constitue une forme de régulation du glissement qui peut être perfectionnée par la prise en compte directe de la valeur du glissement.

Les contrôleurs de glissement permettent, en réduisant l'excès de patinage, de réaliser un gain substantiel de temps, une réduction de la consommation de carburant et de l'usure des pneumatiques, tout en respectant la qualité du travail choisie au départ.

On peut classer les réalisations existantes en deux principes :

### - Le « taux fixe » :

Développé par la société BOSCH et adopté par les constructeurs FENDT (fig. 64), SAME (fig. 65) et DEUTZ, est réalisé jusqu'à présent dans un électronique analogique. C'est un circuit qui amplifie la différence entre la vitesse théorique ( $v_{th}$ ) et la vitesse réelle ( $v_r$ ).

Lorsque la différence  $v_{th} - v_r$  est supérieure à une tension de seuil correspondant à environ 0,8 km/h, le relevage est sollicité.



Fig. 65 – Console d'un contrôleur de glissement à taux fixe SAME (Photo R. Autellet).



Fig. 66 – Console du système « datatronic » Massey-Ferguson avec contrôle de glissement à taux ajustable (Photo Massey-Ferguson).

### - Le « taux ajustable » :

Plus élaboré, ce système s'adapte à toutes les situations de travail du sol, en permettant à l'agriculteur de fixer lui-même le seuil maximum à ne pas dépasser.

La première réalisation a été conçue par Massey-Ferguson avec le système « Datatronic » (fig. 66). L'ordinateur du système effectue le calcul du glissement instantané ; l'utilisateur peut fixer le seuil maximum par paliers de 3 % en 3 %.



Fig. 67 – Console du contrôleur de glissement à taux ajustable « tractoradar » des tracteurs Renault (Photo Renault Agriculture).

Pour mieux déterminer le seuil optimal, le système « tractoradar » de Renault Agriculture (fig. 67), calcule une valeur de référence appelée « taux moyen de glissement ». Cette valeur est affichée au terme d'une séquence d'initialisation réalisée dans des conditions de travail données. A partir de cette valeur de référence, le constructeur conseille un taux maximum de glissement plus élevé de 2 à 4 points.

Prenons un exemple :

Au terme de la séquence d'initialisation, l'ordinateur affiche un taux moyen de glissement de 15 %. Si le conducteur affiche un taux maximum de + 3 %, le contrôle d'effort du relevage hydraulique sera automatiquement sollicité par l'ordinateur lorsque le taux réel de patinage dépassera 18 % (15 % + 3 %). La fourchette de 3 %, permet de tenir compte des variations inévitables du glissement, dues à la nature du sol (fig. 68).

Gâce à cet ajustement très précis, l'asservissement ainsi obtenu empêche également le contrôle d'effort d'aller rechercher une profondeur plus grande lorsque la résistance du sol diminue. En effet, à effort constant, le glissement est plus grand dans les zones meubles, car la résistance au cisaillement y est plus faible.

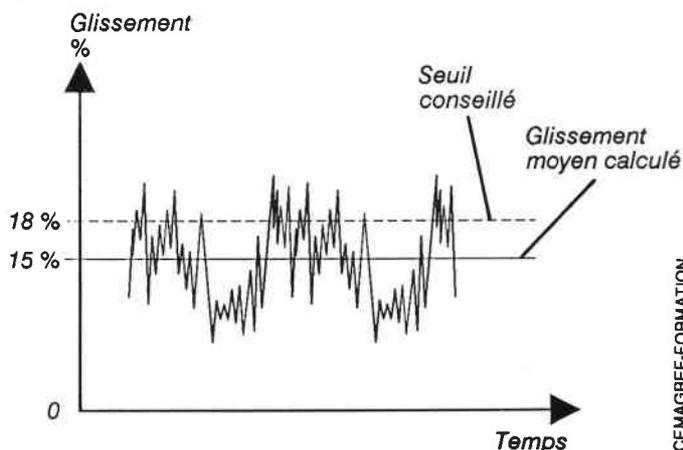
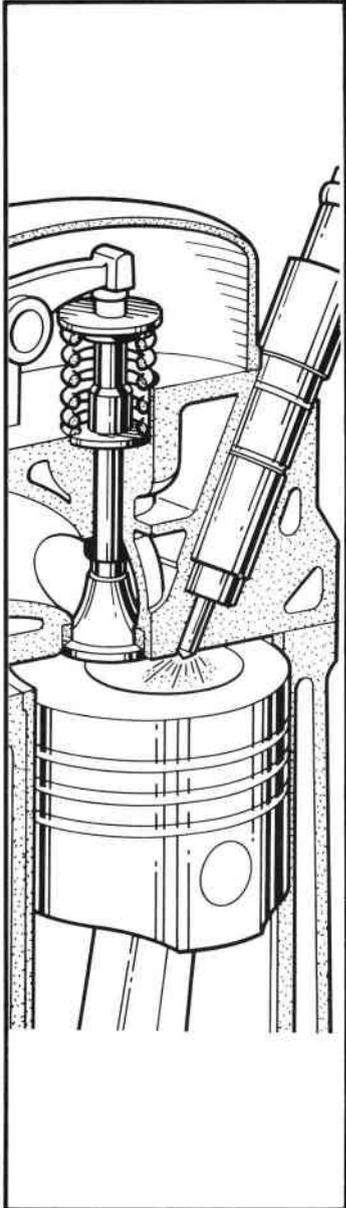
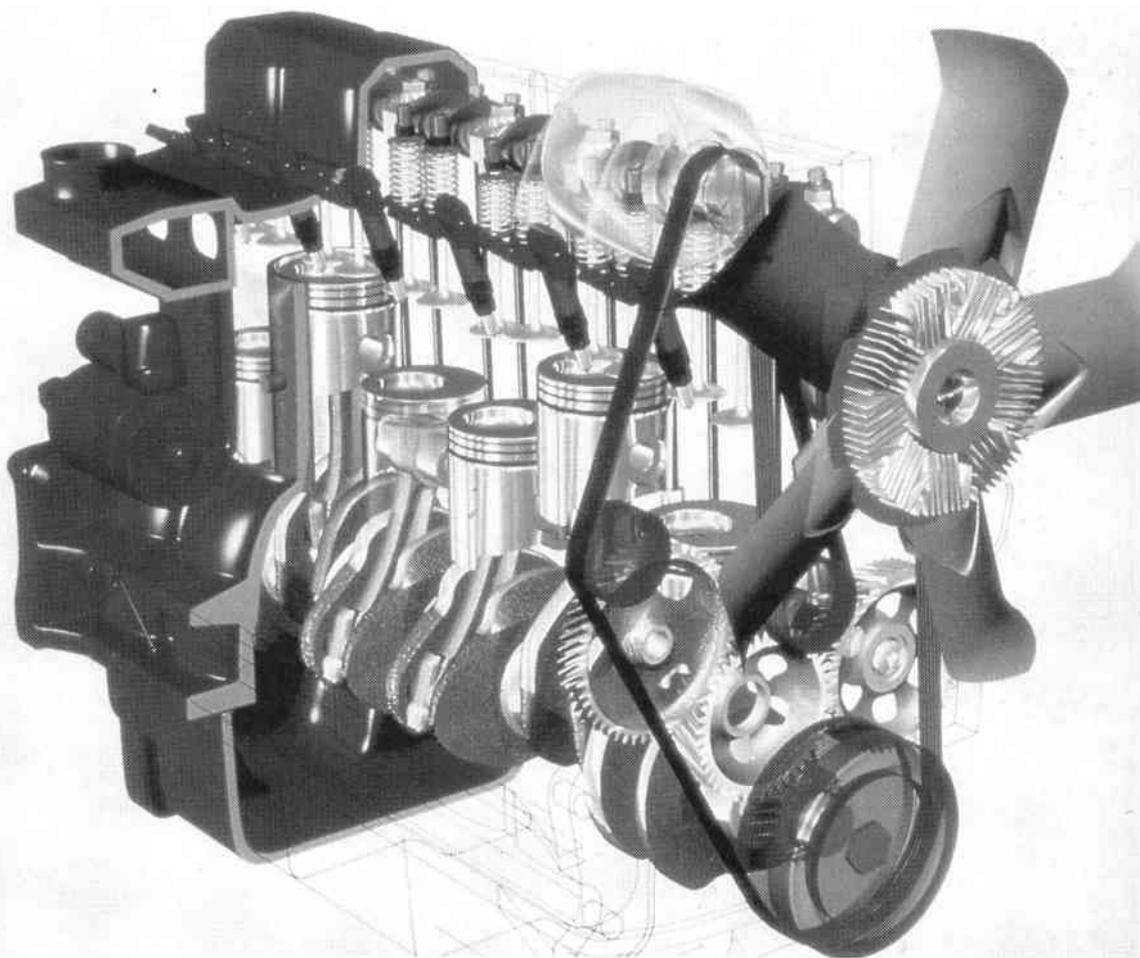


Fig. 68 – Exemple d'un enregistrement des variations de glissement au travail.



- Définitions générales ..... 77
- La combustion  
et l'avance à l'injection ..... 81
- L'injection directe ..... 85
- Les caractéristiques du fioul ..... 86
- L'utilisation des bio-carburants  
en agriculture ..... 87
- La filtration de l'air ..... 91
- Le circuit de carburant ..... 94
- Les pompes d'injection  
et les régulateurs ..... 97
- Les injecteurs ..... 111
- Les principaux réglages  
de l'équipement d'injection ..... 114
- La suralimentation ..... 115
- Le circuit de lubrification ..... 122
- Le refroidissement ..... 125



Vue en coupe d'un moteur diesel « Power Star », six cylindres (Photo FORD NEW-HOLLAND).

• DÉFINITIONS GÉNÉRALES :

Le parc de tracteurs agricoles est essentiellement équipé de moteurs diesel à quatre temps (fig. 69).

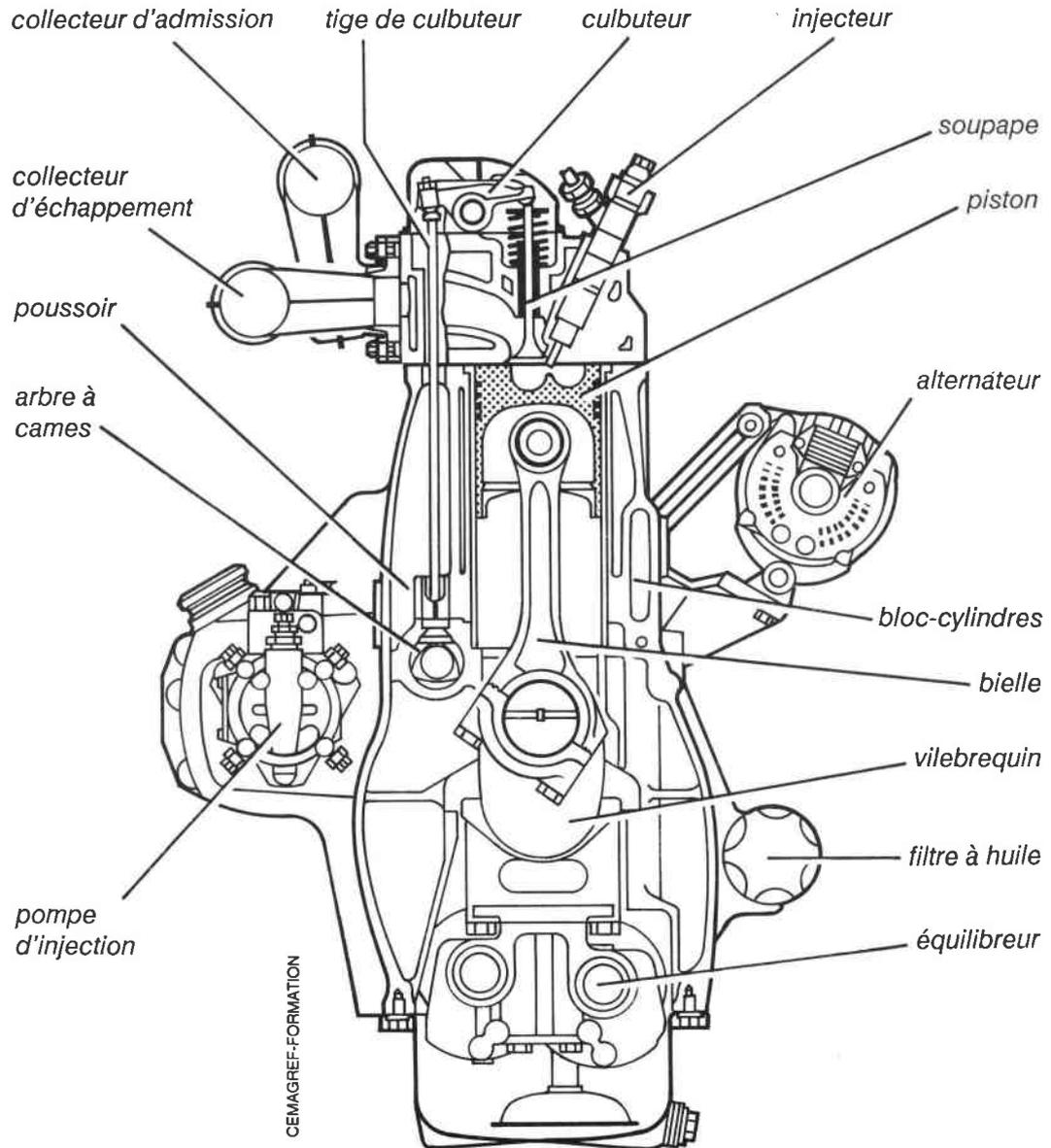


Fig. 69 — Moteur diesel à injection directe avec arbre à cames latéral.

Les moteurs diesel sont des moteurs thermiques **à combustion interne** : ils transforment de la chaleur en travail mécanique. La chaleur, ou « énergie thermique », est fournie par la combustion du carburant (fig. 70). Les moteurs diesel sont également appelés **moteurs à allumage par compression** car c'est la chaleur de compression de l'air qui provoque l'**auto-inflammation du carburant** (fig. 70) injecté dans les cylindres (se reporter aussi à l'annexe documentaire).

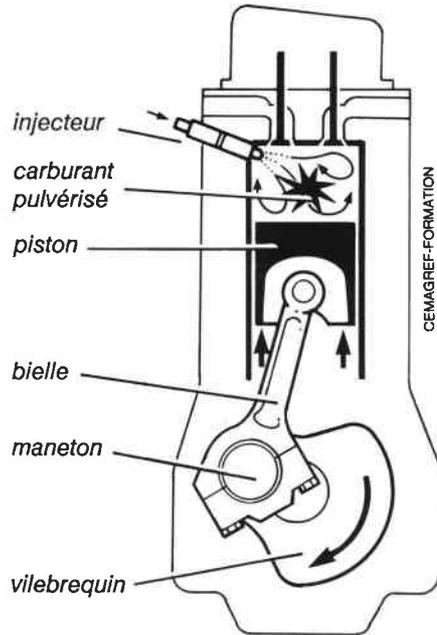


Fig. 70 — Le principe de diesel : le carburant, injecté sous pression dans le cylindre, s'enflamme spontanément au contact de l'air fortement réchauffé par la compression.

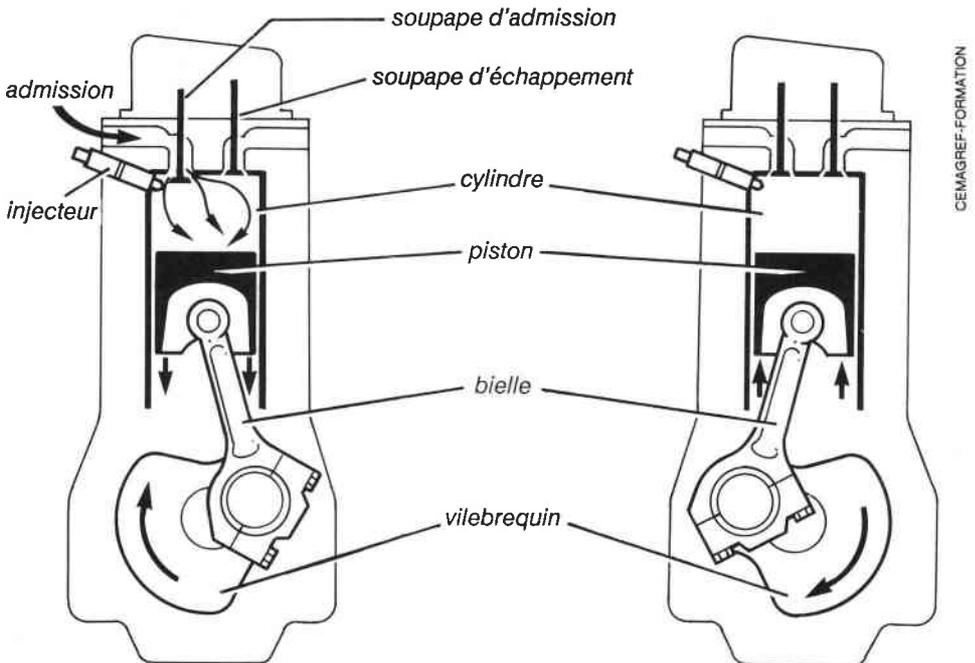


Fig. 71 — L'admission.

Fig. 72 — La compression.

Le cycle à quatre temps se déroule sur deux tours de vilebrequin. Pendant ces deux tours, le piston effectue quatre courses, qui correspondent chacune aux quatre phases du cycle : **admission** (fig. 71), **compression** (fig. 72), **détente** (fig. 73), **échappement** (fig. 74).

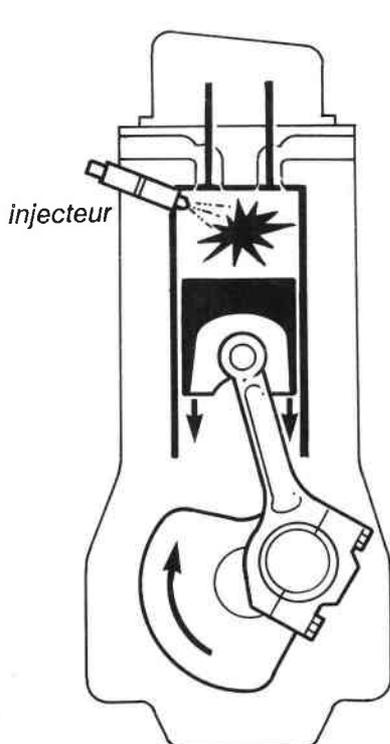


Fig. 73 — La détente.

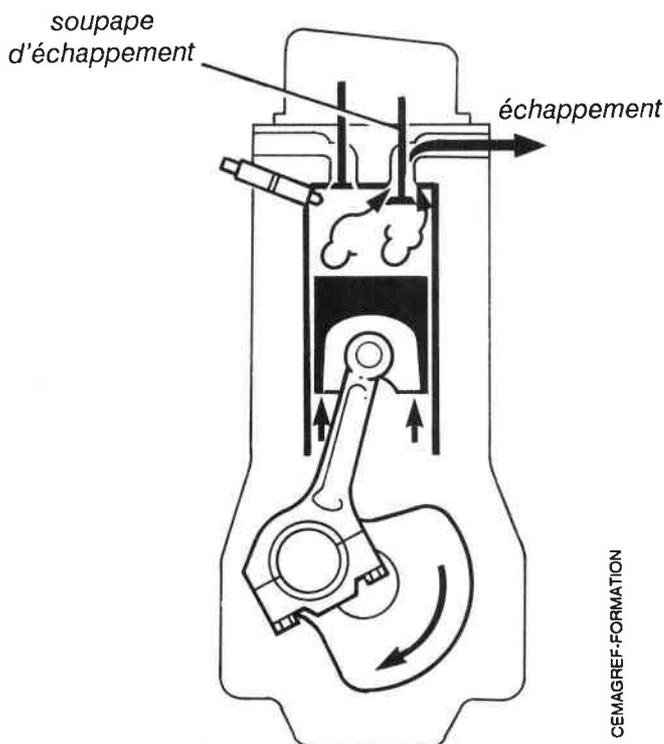


Fig. 74 — L'échappement.

CEMAGREF-FORMATION

Le déroulement de ces phases s'effectue grâce à la distribution qui commande l'ouverture et à la fermeture des **soupapes**.

#### — L' **épure de distribution** (fig. 75) :

Le moment et la durée d'ouverture de chaque soupape sont étudiés pour chaque type de moteur et sont représentés par un diagramme circulaire appelé **épure de distribution**. Le terme **distribution** s'applique à l'ensemble des organes qui commandent les soupapes.

Observons l'épure de distribution présentée à la figure 75 : l'ouverture de la soupape d'admission s'effectue avant le P.M.H (A.O.A), afin de tenir compte du délai d'ouverture de la soupape et d'utiliser l'**inertie** de l'air circulant dans les conduits d'admission. L'admission peut se terminer après le P.M.B (R.F.A), grâce à l'inertie de l'air aspiré qui permet d'achever le remplissage malgré le début de remontée du piston en compression.

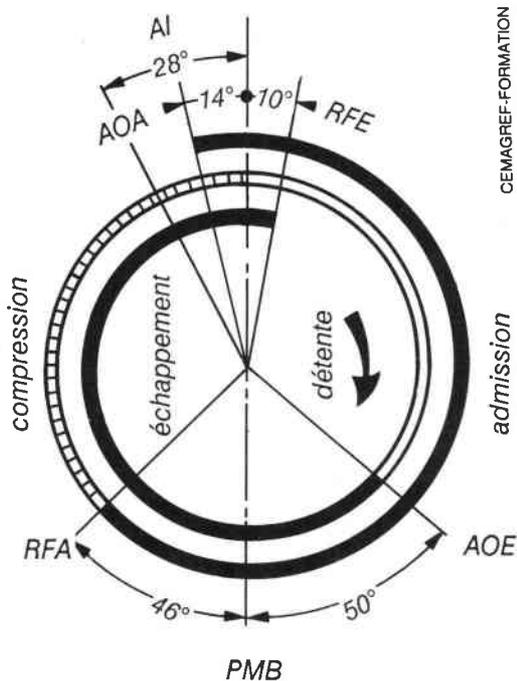
Au terme de la **détente**, la soupape d'échappement s'ouvre avant le P.M.B (A.O.E), afin d'utiliser la pression résiduelle des gaz de combustion, pour chasser les gaz brûlés vers l'extérieur.

L'échappement s'achève après le P.M.H (R.F.E), alors que la soupape d'admission est déjà ouverte (A.O.A), afin que l'air frais entrant dans le cylindre balaie le restant des gaz brûlés.

Les angles d'avance et de retard portés sur cette épure sont des exemples, ils sont définis par les constructeurs pour chaque type de moteur et pour un régime de rotation moyen.

— le **diagramme de fonctionnement des moteurs à quatre temps** (fig. 76 et 77) :

Le cycle d'un moteur à quatre temps se traduit dans chaque cylindre par **des variations de volume et de pression** qui peuvent être représentées graphiquement par un diagramme.



- AOA : Avance ouverture admission
- RFA : Retard fermeture admission
- AI : Avance à l'injection
- AOE : Avance ouverture échappement
- RFE : Retard fermeture échappement

Fig. 75 — L'épure de distribution.

Les plus célèbres inventeurs ont conçu des moteurs, dont le fonctionnement théorique se traduit par des diagrammes différents qui portent leurs noms : **cycle de CARNOT (1823)**, **cycle de LENOIR (1860)**, **cycle de BEAU DE ROCHAS (1862)** dit à volume constant, **cycle de DIESEL (1880)** dit à pression constante.

Le cycle de CARNOT, bien qu'ayant fortement contribué à la découverte des autres cycles, n'est pratiquement pas réalisable sur des moteurs à combustion interne. Le cycle DIESEL est un cycle utilisé seulement sur de très gros moteurs lents. En revanche le cycle des moteurs DIESEL modernes est un cycle intermédiaire entre le cycle DIESEL initial et le cycle de BEAU de ROCHAS. On l'appelle parfois « cycle mixte » ou cycle de SABATHE.

**Le diagramme théorique** de ce cycle est représenté à la figure 76, il montre le déroulement des quatre temps : admission (A à B), compression (B à D), détente (D à B), échappement (B à A).

Ce diagramme théorique est intéressant, dans la mesure où il permet de bien observer les phases essentielles du cycle, mais il s'agit là de conditions utopiques, car la

compression et la détente ne peuvent être adiabatiques (c'est-à-dire sans échange de chaleur). Chacun sait en effet qu'une partie importante des calories « produites » dans un moteur est dissipée dans les systèmes de refroidissement. D'autre part, l'étanchéité des cylindres n'est pas parfaite et l'air et les gaz d'échappement rencontrent des difficultés d'écoulement pour entrer et sortir des cylindres. Pour ces raisons, on remarque que le diagramme réel (fig. 77) est plus « arrondi » et occupe une aire plus réduite que celle du diagramme théorique. Le diagramme réel d'un moteur est influencé par :

- l'épure de distribution.
- la vitesse et la charge du moteur.
- le principe de combustion utilisé.
- les caractéristiques de l'injection.
- la présence ou non d'un dispositif de suralimentation.

### • LA COMBUSTION ET L'AVANCE A L'INJECTION :

A la fin du temps de compression, le carburant est introduit sous une pression levée (170 à 240 bars), de manière à obtenir un brouillard de gouttelettes très fines, dans une **chambre de combustion** remplie d'air comprimé et très chaud : il s'allume presque aussitôt et brûle. On appelle combustion, une réaction chimique à évolution rapide accompagnée d'émission lumineuse et d'un important dégagement de chaleur.

Cette combustion semble, à première vue, un processus très simple, un peu plus lent que « l'explosion » des moteurs à essence.

En réalité, la combustion dans les moteurs diesel met en jeu des phénomènes physiques et chimiques complexes qui sont l'objet de recherches incessantes et coûteuses,

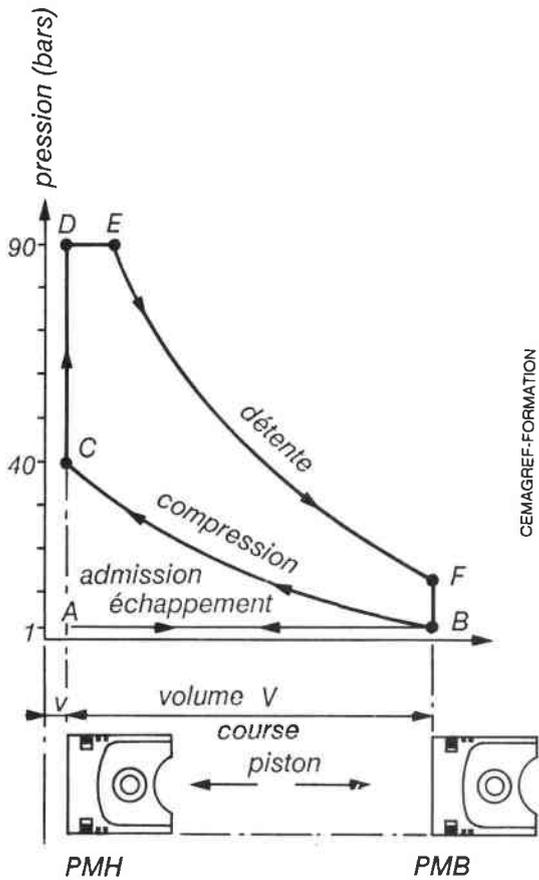


Fig. 76 — Le diagramme théorique du cycle diesel à quatre temps.

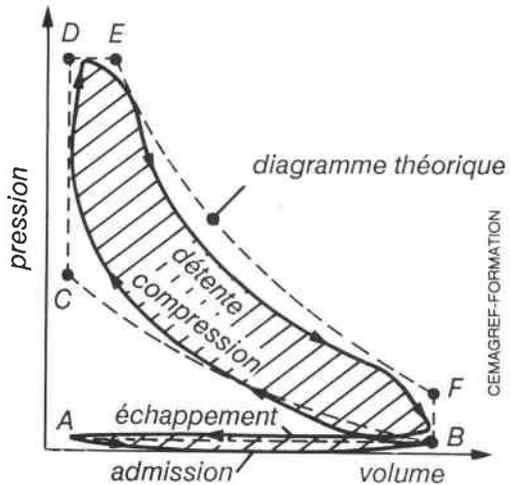


Fig. 77 — Le diagramme réel du cycle d'un moteur diesel à quatre temps.

CEMAGREF-FORMATION

CEMAGREF-FORMATION

afin d'améliorer le rendement des moteurs, de réduire le bruit et l'émission de polluants.

Pour comprendre de façon simple en quoi consistent ces phénomènes, il importe de se représenter tout d'abord la nature exacte du brouillard de carburant qui sort d'un injecteur de moteur diesel : vu au travers d'un instrument d'optique à fort grossissement, ce brouillard apparaîtrait formé d'un très grand nombre de fines gouttelettes. Par rapport à un moteur à essence, le fonctionnement d'un moteur diesel nécessite un dosage de carburant plus pauvre : 20 grammes d'air environ pour 1 gramme de gazole, afin de disposer d'une réserve d'oxygène suffisante pour compenser l'homogénéité imparfaite d'un mélange qui se réalise pratiquement en même temps que la combustion. Toujours de manière très simplifiée, examinons (fig. 78) le processus injection-combustion qui comprend en gros quatre phases : **l'introduction, l'échauffement et la vaporisation, l'auto-inflammation, la propagation de l'inflammation.**

— **L'introduction** : l'injecteur libère les premières gouttelettes de carburant dans la chambre de combustion. Ces gouttelettes, injectées sous pression, sont animées par une énergie suffisante pour pénétrer dans le volume d'air comprimé par le piston et pour trouver l'oxygène dont elles ont besoin pour brûler.

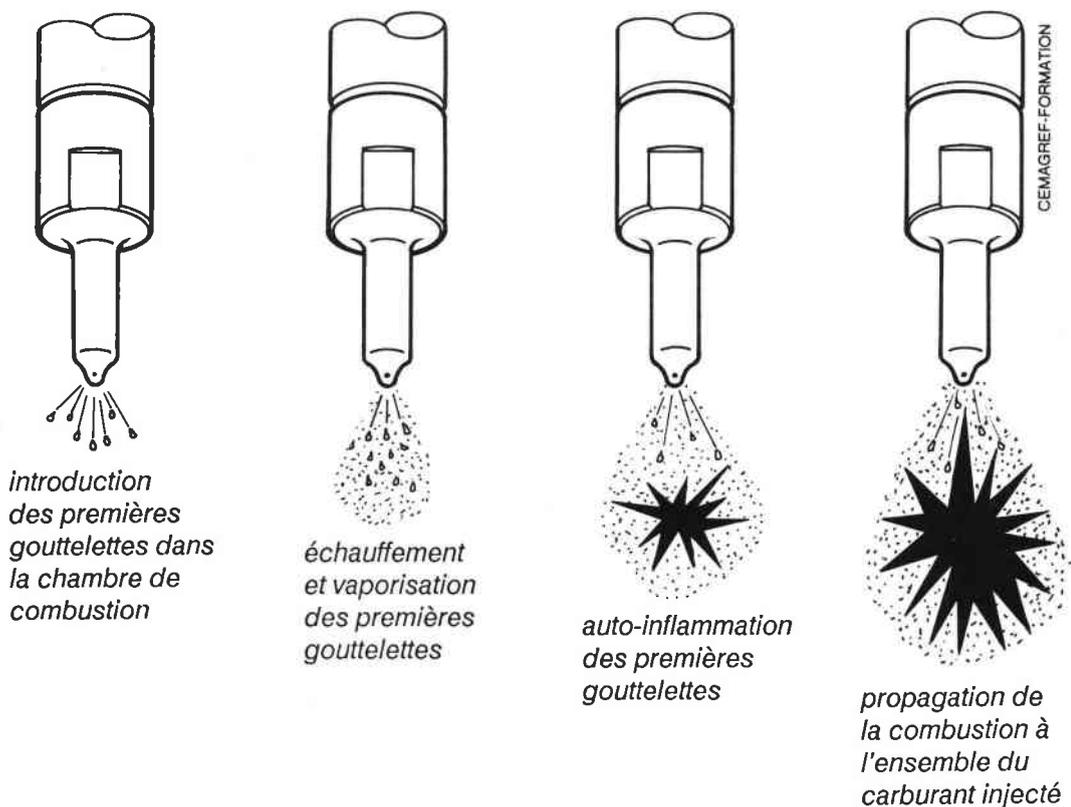


Fig. 78 — La combustion et le délai d'auto-inflammation.

— **L'échauffement et la vaporisation** : lorsqu'elles pénètrent dans la chambre, les premières gouttelettes encore froides, se réchauffent au contact de l'air fortement échauffé par la compression, puis elles s'évaporent.

— **L'auto-inflammation** : le carburant des premières gouttelettes ayant atteint une température suffisante et trouvé l'oxygène nécessaire, une **inflammation spontanée** se déclenche, la combustion commence réellement.

Le temps écoulé entre l'introduction et l'inflammation des premières gouttelettes s'appelle le **délai d'inflammation ou délai d'auto-inflammation**.

— **La propagation de l'inflammation** : pendant et après le délai d'inflammation, l'injecteur continue à introduire d'autres gouttelettes qui, avant d'avoir eu le temps de s'échauffer suffisamment, vont cependant se trouver au contact des gaz de combustion brusquement portés à forte température. Ce contact provoque « **l'inflammation en chaîne** » du combustible injecté et la combustion rapide qui en résulte, génère un **cognement** caractéristique des moteurs diesel.

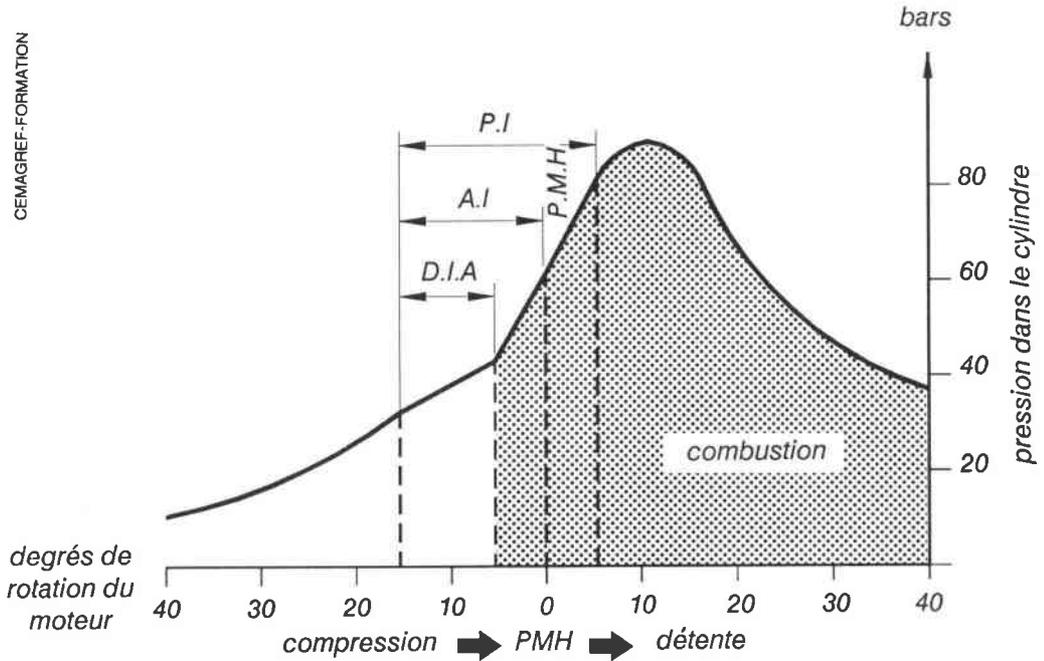
— **Le délai d'inflammation** :

Le délai d'inflammation (fig. 78 et 79) correspond donc aux quelques millièmes de seconde que mettent les premières gouttelettes pour s'auto-enflammer après leur introduction dans la chambre de combustion. Malgré la rapidité du phénomène, la maîtrise du délai d'inflammation est fondamentale pour le bon fonctionnement des moteurs diesel.

En effet, si les premières gouttelettes introduites dans la chambre de combustion mettent trop de temps à s'enflammer, le cognement devient intense, puisque l'auto-inflammation tardive conduit à la combustion violente d'une plus grande quantité de carburant. Ce fonctionnement anormal, causé par un **délai d'inflammation trop long, génère d'importants bruits et vibrations, ainsi que des contraintes de pression élevées qui peuvent être à l'origine de détériorations graves d'organes du moteur (culasse, pistons, embiellage...)**.

Au contraire, si dans la chambre de combustion d'un moteur diesel, les premières gouttelettes de carburant introduites s'enflamment facilement et rapidement dès leur introduction, le cognement est peu important, puisqu'il n'y a pas encore eu beaucoup de combustible accumulé dans la chambre de combustion. Le reste du combustible, injecté par la suite, peut alors brûler progressivement, au fur et à mesure qu'il jaillit de l'injecteur.

Précisons cependant que la réduction du délai d'inflammation se heurte à une limite due au « **délai de carburation** ». Le délai de carburation est le temps nécessaire au mélange de chaque gouttelette de carburant avec la quantité d'air indispensable à la combustion. Ainsi, pour chaque type de moteur, le délai d'inflammation optimal est le résultat d'un compromis délicat.



*A.I.* : avance à l'injection  
*D.I.A.* : délai d'injection et d'auto-inflammation  
*PI* : période d'injection

Fig. 79 – L'avance à l'injection et la combustion.

Les principaux facteurs qui contribuent à l'obtention d'un délai d'inflammation normal sont :

- L'utilisation d'un carburant ayant un indice de cétane correct (se reporter au chapitre : les caractéristiques du fioul).
- Le maintien d'une compression efficace, afin que l'injection du carburant se réalise dans de bonnes conditions de pression et de température.
- Le bon fonctionnement des injecteurs.
- Le respect du point d'injection défini par le constructeur (calage de la pompe et avance à l'injection).
- L'avance à l'injection (fig. 79) :

Nous venons d'observer que la combustion est certes rapide mais pas instantanée, puisqu'elle nécessite un délai d'auto-inflammation du carburant. De plus, entre le moment où la pompe d'injection commence à refouler et le moment où l'injecteur commence à s'ouvrir, il s'établit un **délai de transmission de l'injection**.

Pour ces raisons, il est indispensable que l'injection se réalise avant le point mort haut du piston, d'où le terme **avance à l'injection** (fig. 79). L'avance à l'injection est déterminée par les constructeurs pour chaque type de moteur après de nombreux essais. Cette avance comprend deux valeurs : l'**avance initiale** et l'**avance automatique**. L'**avance initiale** est une valeur angulaire statique qui détermine le **synchronisme ou le calage de la pompe d'injection** avec le moteur.

Les moteurs lents et les moteurs à régime constant peuvent fonctionner avec cette avance initiale, mais pour les moteurs rapides il est nécessaire d'augmenter cette avance automatiquement en fonction de la vitesse et de la charge du moteur, afin de compenser les délais de transmission de l'injection et d'auto-inflammation qui restent pratiquement constants.

Le dispositif de correction automatique de l'avance étant associé à la pompe d'injection, son action est décrite dans les paragraphes suivants.

**Le réglage de l'avance à injection est fondamental, il conditionne les performances et la durée de vie des moteurs.**

#### • L'INJECTION DIRECTE (fig. 80) :

Comme son nom l'indique, l'injection directe consiste à injecter le carburant directement dans les cylindres (fig. 80). La chambre de combustion est alors constituée d'une chambre ouverte, située dans la tête du piston (fig. 81). La forme de cette chambre varie selon les constructeurs, mais dans tous les cas, son dessin est soigneusement élaboré, afin de favoriser les **turbulences** propices à un délai d'allumage court et à une bonne homogénéité air-carburant. Généralement les moteurs diesel à injection directe ont un taux volumétrique de compression qui se situe entre 16 et 18, une pression d'injection entre 170 et 240 bars et un régime de rotation maximum d'environ 3000 tr/mn. En fin de compression, le combustible est pulvérisé par un **injecteur à trous** qui possède 3 à 5 orifices. Les jets de carburant sont judicieusement répartis et leur trajet, pour parvenir dans la chambre de combustion, est très court. De plus, ces jets sont dirigés vers les parois très chaudes du piston, ce qui accélère leur vaporisation.

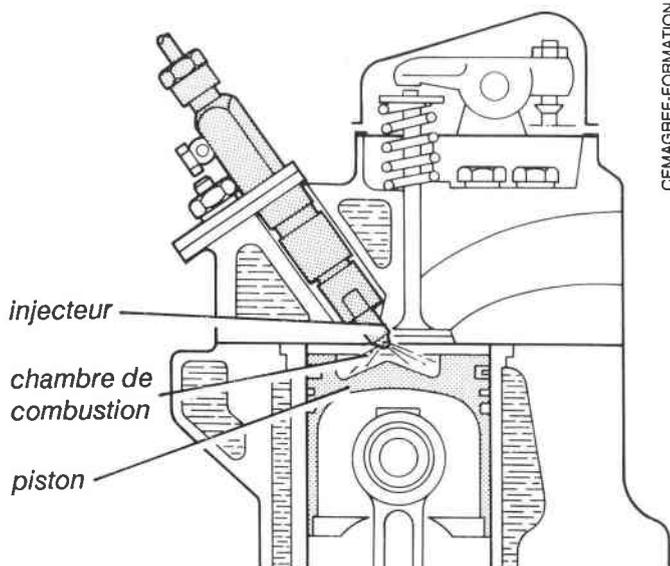


Fig. 80 — L'injection directe.

L'injection directe s'applique tout particulièrement aux moteurs diesel équipant les tracteurs agricoles (fig. 82), camions, engins de travaux publics et moteurs fixes. C'est à l'heure actuelle, le système qui permet les meilleurs rendements. Mais, en contre partie ces moteurs ont un rapport poids-puissance assez élevé et sont assez bruyants en raison de la rapidité avec laquelle se déroule leur combustion. Toutefois, de récents développements portant notamment sur l'optimisation des chambres de combustion et sur une gestion électronique du système d'injection, conduisent à des moteurs diesel plus performants, moins bruyants et moins polluants.

### • LES CARACTÉRISTIQUES DU FIOUL :

Depuis 1956 les tracteurs agricoles sont autorisés à utiliser le fioul domestique. Les caractéristiques de ce carburant faiblement taxé sont les suivantes :

- **couleur** : rouge.
- **teneur en soufre** : inférieure ou égale à 0,3 % en masse.
- **indice de cétane** : égal ou supérieur à 40.
- **température limite de filtrabilité** : inférieure ou égale à  $- 4^{\circ}$  C.

Ces caractéristiques correspondent seulement à celles du fioul domestique ; le gasole utilisé par les moteurs diesel routiers répond à des caractéristiques différentes : couleur jaune clair, indice de cétane supérieur à 48, température limite de filtrabilité inférieure à  $- 15^{\circ}$ . Il existe par ailleurs des fiouls lourds, réservés aux gros moteurs industriels et aux chaufferies.

— **L'indice de cétane**, caractérise l'aptitude à l'auto-inflammation des car-

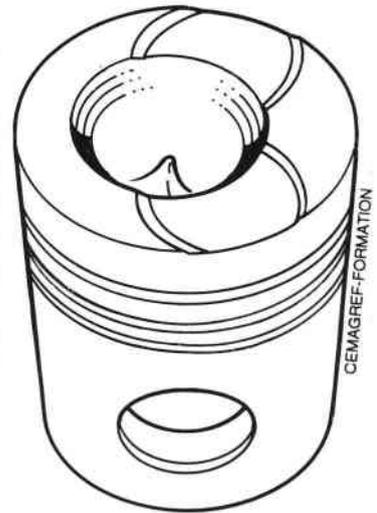


Fig. 81 — Piston d'un moteur à injection directe.

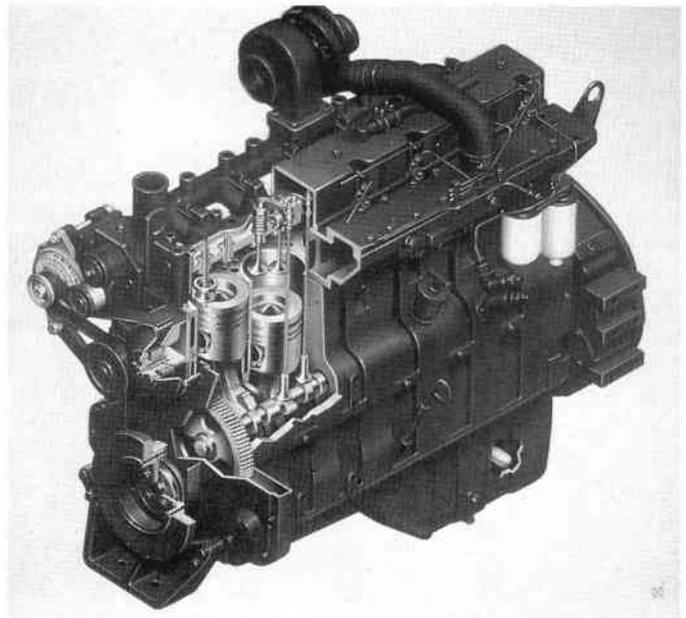


Fig. 82 — Moteur diesel Case IH à injection directe de tracteur agricole (Photo Case IH).

burants diesel. Cette caractéristique est très importante, car elle influence directement le bon déroulement de la combustion et le délai d'inflammation. L'indice de cétane est défini lors d'essais normalisés qui permettent de comparer, sur un moteur de référence, le carburant à analyser avec un mélange, produisant les mêmes effets, constitué de deux carburants primaires témoins :

– Le n. cétane qui représente l'indice 100 et qui possède un court délai d'auto-inflammation.

– L'alpha-méthyl-naphtalène qui représente l'indice 0 et qui possède un important délai d'auto-inflammation.

Un faible indice de cétane indique que le carburant s'enflamme difficilement avec un **délai d'inflammation** important, en provoquant une combustion violente et un cognement.

A l'inverse, un indice de cétane élevé correspond à un délai d'inflammation plus court et à une combustion moins brutale.

– **La température limite de filtrabilité (T.L.F) :**

Les carburants pour moteurs diesel et particulièrement le fioul contiennent de la paraffine. Par temps froid, des cristaux de paraffine se forment et le carburant atteint tout d'abord ce que les techniciens appellent « **le point de trouble** », moment où le carburant perd sa limpidité. Puis, si la température diminue encore, les cristaux de paraffine grossissent, s'accrochent entre eux et empêchent l'écoulement du carburant. C'est ce que l'on appelle le « **point d'écoulement** ». Si le moteur fonctionne entre ces deux points, les cristaux de paraffine sont arrêtés par les filtres qui se bouchent peu à peu, jusqu'à provoquer l'arrêt du moteur. C'est pourquoi, notamment au terme d'hivers particulièrement froids, l'administration et les compagnies pétrolières ont défini pour le gazole des valeurs limites de **température limite de filtrabilité**.

**La température limite de filtrabilité (T.L.F)** est définie par des mesures normalisées (norme NF M 07.042) qui consistent à déterminer la température limite d'écoulement du carburant au travers de filtres comparables à ceux qui équipent les circuits des moteurs diesel. Pour lutter contre le **figeage** en période hivernale, le gazole subit un déparaffinage plus important et reçoit des additifs anti-figeage. Par ailleurs, des équipements de réchauffage du carburant et des filtres peuvent être installés sur les circuits d'alimentation des moteurs.

• **L 'UTILISATION DES BIO-CARBURANTS EN AGRICULTURE :**

A propos des carburants, le qualificatif « bio » indique simplement qu'il s'agit de produits obtenus par la transformation de la « biomasse » ou, plus précisément, de la « masse » végétale.

Les moteurs diesel qui équipent les tracteurs agricoles peuvent techniquement, dans des conditions diverses utiliser des biocarburants. Il s'agit, des **huiles végétales, des esters d'huiles végétales et de l'éthanol.**

### — L'utilisation des huiles végétales ou de leurs dérivés :

Les huiles végétales ou leurs dérivés sont utilisables dans les moteurs diesels. Les huiles pures, filtrées et non dégommées, sont admissibles dans certains cas dans les moteurs à chambre de précombustion. Des composés plus élaborés, de type « **ester** », conviennent aux moteurs à injection directe actuels, sans modification. Le moteur allemand ELSBETT est un prototype de moteur à injection directe dont la chambre de combustion volumineuse est creusée dans le piston et les turbulences provoquées assurent une combustion complète. Les moteurs à injection directe peuvent également être équipés ou transformés par le montage d'une chambre de turbulence (système de combustion RICARDO). Ces deux types de moteurs sont de type **polycarburants** et peuvent accepter indifféremment de l'huile pure, un ester, du gazole, un mélange huile-ester, huile-gazole ou ester-gazole.

Des utilisations étendues à plus ou moins grande échelle ont déjà été réalisées avec de l'huile ou des esters méthyliques d'huile de colza, tournesol, coprah, palme, soja, arachide. Actuellement, en France, les essais s'orientent vers l'utilisation de l'**ester méthylique d'huile de colza** en mélange à 5, 20, 50 % dans le gazole, pour un usage banalisé dès que les conditions économiques et fiscales le permettront. Des essais sont également menés avec de l'ester pur et aussi avec de l'huile de colza non « estérifiée ». L'ester éthylique pourrait être envisagé et fait actuellement l'objet d'essais.

### — Les esters d'huiles végétales :

**Les esters** sont le résultat de l'action chimique des acides gras et d'un alcool, avec élimination de glycérol. Le mot ester ne doit pas être confondu avec le terme éther qui s'applique à des produits très volatils, obtenus avec des alcools.

Caractéristiques principales	Ether méthylique d'huile de colza	Huile de colza	Gazole d'hiver
Masse volumique à 20° C (kg/l) :	0,88	0,916	0,84
Température limite de filtrabilité (° C) :	- 15	+ 20	- 23
Indice de cétane :	48,7 à 52,6	31,8 (brute) 36,4 (semi-raffinée)	50
PCI (Pouvoir Calorifique inférieur), volumique 20° C (kJ/l) :	33 175	34 300	35 350
PCI massique (kJ/kg) :	37 700	37 440	42 083

Après traitement, on peut produire des esters à partir de différents produits, dont les huiles végétales. Les esters produits à partir des huiles végétales, présentent un certain nombre d'avantages sur les huiles elles-mêmes, notamment en matière de viscosité et d'aptitude à l'auto-inflammation (indice de cétane) ; le tableau ci-dessus permet

de comparer les principales caractéristiques de l'ester avec l'huile de colza et le gazole ; les différences physiques entre ester et gazole sont faibles.

### — Les conséquences sur l'environnement :

En matière de rejets par les gaz de combustion, des essais ont été effectués par l'Institut Français du Pétrole (IFP) sur un moteur diesel MWM à injection directe. Du gazole, de l'huile de colza et des esters méthyliques d'huile de colza ont été comparés. En voici les résultats :

	Ester	Huile	Gazole
Oxyde de carbone (CO) (g/kWh)	2,7	12,3	8
Hydrocarbures imbrûlés (HC) (g/kWh)	1,4	4,3	1,6
Oxyde d'azote (Nox) (g/kWh)	5,3	4,9	4,6
Indice de fumée (Bosch) (quantité de suie émise)	0,9	1,5	2,1

Source IFP 1985

Les émissions de CO, CO<sub>2</sub>, les hydrocarbures imbrûlés et les rejets de suie sont inférieurs avec les esters, en comparaison avec le gazole ou les huiles. Les émissions d'oxyde d'azote sont presque équivalentes avec chaque carburant.

Le moteur utilisé lors de l'essai décrit ci-dessus n'est pas adapté aux huiles pures, il convient donc d'analyser avec précaution les résultats obtenus. L'utilisation d'huile végétale avec un moteur équipé d'une chambre de turbulence peut également présenter des résultats intéressants. Trois constructeurs proposent actuellement ces moteurs adaptés : DEUTZ FAHR, FENDT et STEYR.

D'autres essais ont été effectués sur un moteur de véhicule léger, PEUGEOT XUD9 (1905 cm<sup>3</sup>) par ESSO/ONIDOL : les émissions obtenues avec l'ester sont inférieures à celles obtenues avec le gazole. C'est sans doute la conséquence d'une combustion différente qui engendre des températures d'échappement plus basses.

Par ailleurs, **l'ester d'huile végétale est une énergie renouvelable qui ne contribue pas à aggraver l'effet de serre dû entre autre au gaz carbonique.** En effet, le cycle du carbone est dans ce cas très court, car le CO<sub>2</sub> rejeté par la combustion est réabsorbé par la plante annuelle. De plus, à l'inverse du gazole, sa combustion ne rejette pas d'oxyde de soufre.

Notons, aussi, que la culture du colza maintient pendant l'hiver **une couverture végétale qui limite les risques de lessivage des éléments fertilisants contenus dans le sol et, par conséquent la pollution des eaux par les nitrates.**

## – Les essais effectués :

De nombreux essais ont déjà été effectués sur des véhicules industriels (poids lourds ou autobus) avec un carburant contenant 20 % d'ester méthylique de colza et 80 % de gazole.

Un essai intensif a été effectué avec l'ester méthylique d'huile de colza (EMC) pur sur deux tracteurs agricoles de forte puissance CASE IH pendant 13 mois. Ils ont fonctionné respectivement 800 heures et 1 059 heures.

L'utilisation de l'ester pur sur un tracteur agricole n'a mis en évidence ni incident de fonctionnement, ni restriction d'utilisation. On note cependant **une dilution du lubrifiant** par le carburant. Cette dilution entraîne une chute de la viscosité du lubrifiant de 40 % en moyenne et 65 % en hiver, (pour le fioul, la dilution provoque une chute de viscosité de l'huile de 15 % en moyenne et 19 % en hiver)

Un meilleur ajustement des paramètres d'injection pourrait vraisemblablement réduire cette dilution, et la périodicité des vidanges pourrait être ramenée de 150 h à 100 heures.

### **Les effets de l'utilisation de l'ester sur le fonctionnement du moteur sont :**

- une légère augmentation de la consommation horaire vers les fortes charges (3 %, environ). A puissance égale, on observe une augmentation de consommation de 8,5 % due au plus faible pouvoir calorifique de l'ester : (se reporter ci-dessus au tableau des caractéristiques).
- un rendement global identique dans les deux cas d'utilisation de l'ester et du fioul, voire une légère augmentation du rendement dans la zone de pleine charge.
- une légère diminution de la puissance, de quelques points (en %).

Cette expérimentation a montré la possibilité d'utiliser de l'ester méthylique de colza (EMC) pur comme carburant diesel. Toutefois on envisage plutôt son utilisation en mélange avec du gazole. Dans ce cas, les différences observées pourraient s'avérer moins importantes.

## – L'utilisation de l'éthanol

De nombreux tracteurs agricoles et moteurs diesel ont été adaptés pour fonctionner à l'éthanol additionné d'un produit détonnant. Dans ce cas, l'équipement d'injection et les réservoirs sont reconditionnés selon les principes mis au point par la Société MOTEURGARO. La technique semble bien au point (quatre autobus de la ville de TOURS ont parcouru 600 000 km et totalisent 40 000 heures de fonctionnement).

Ajoutons pour conclure ce paragraphe sur les bio-carburants d'origine agricole, que leur développement est très lié à des problèmes de taxation (volonté politique) et de stratégie des pétroliers.

## • LA FILTRATION DE L'AIR :

Sur un chantier de travail du sol ou de récolte de céréales, le taux de poussière peut facilement dépasser 500 milligrammes par mètre cube d'air. Lorsque l'on sait par exemple, qu'un moteur diesel suralimenté de 6 litres de cylindrée, qui tourne à une vitesse de 2 200 tr/mn, absorbe à pleine puissance environ **520 mètres cubes d'air à l'heure**, on imagine aisément l'importance du filtre à air qui doit retenir toutes ces poussières, afin qu'elles ne provoquent pas une usure rapide et des dégâts importants dans le moteur.

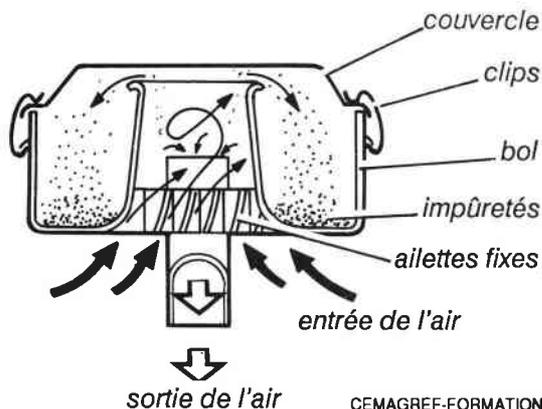


Fig. 83 — Préfiltre centrifuge.

Le principe et la capacité des filtres à air sont étudiés en fonction des caractéristiques du moteur.

L'entretien périodique du filtre à air, et le cas échéant, le remplacement de l'élément filtrant, doivent être impérativement effectués aux échéances prescrites par les constructeurs. En effet, un filtre à air colmaté réduit les performances du moteur, augmente notablement la consommation de carburant et l'émission de polluants. De plus, un filtre à air détérioré n'arrête plus les impuretés et peut-être la cause d'une usure prématurée du moteur.

Les moteurs diesel sont soit équipés d'un filtre à air à cartouche sèche, soit d'un filtre à air à bain d'huile, précédés d'un préfiltre centrifuge.

### — Le préfiltre (fig. 83) :

Son rôle est de séparer les plus grosses impuretés en les centrifugeant dans le corps circulaire du préfiltre, afin de les recueillir dans un bol. Le préfiltre centrifuge est aussi appelé cyclone.

### — Le filtre à air à cartouche sèche (fig. 84 et 85) :

Ce type de filtre équipe actuellement la majorité des moteurs diesel, surtout lorsqu'ils sont amenés à fonctionner dans

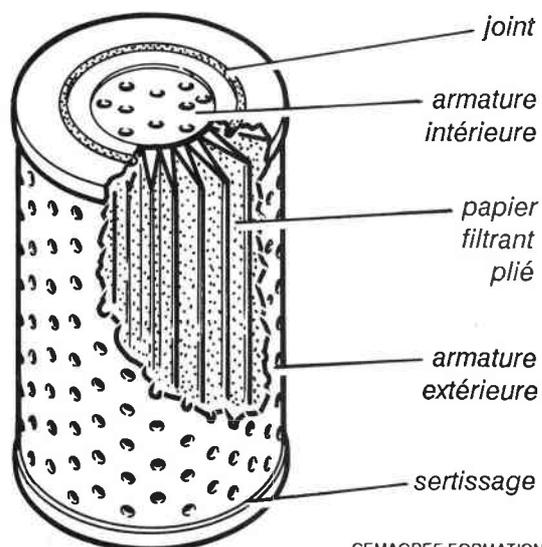


Fig. 84 — Cartouche filtrante, sèche.

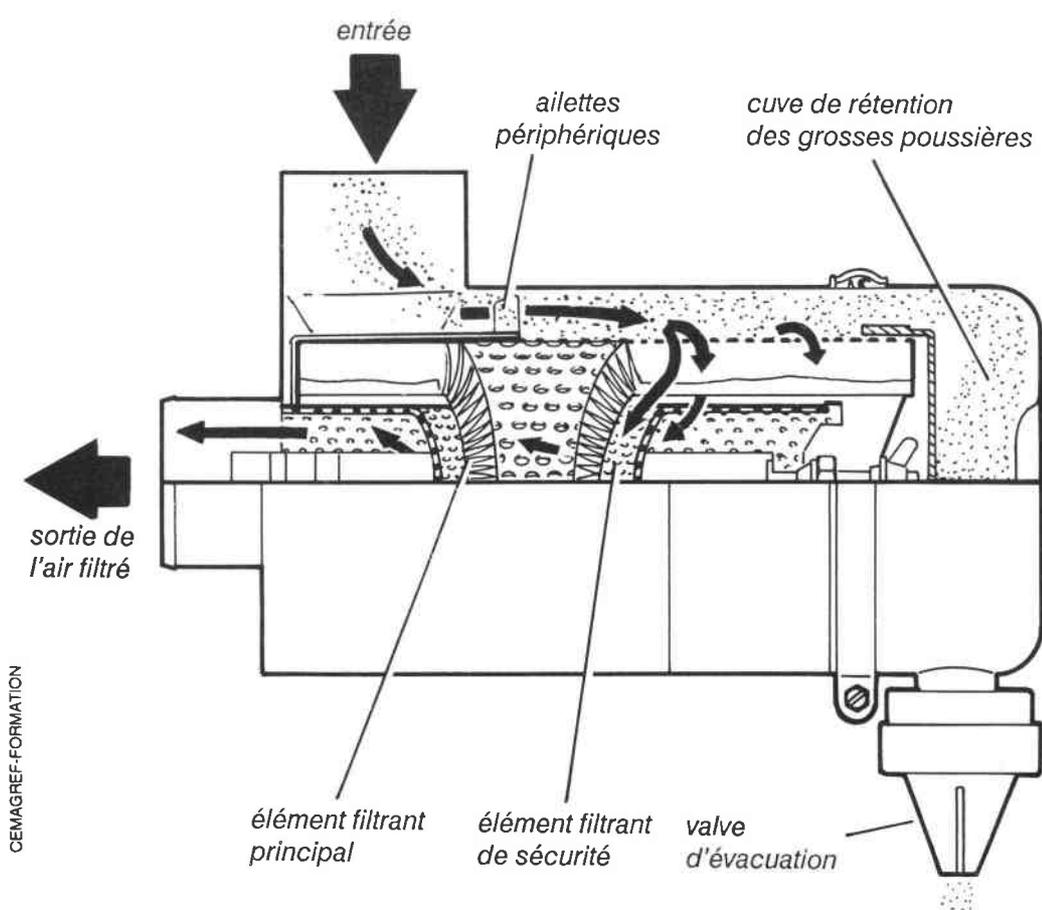


Fig. 85 – Filtre à air à cartouches sèches interchangeables.

une ambiance très poussiéreuse. Il assure une grande efficacité de filtration, quelque soit le régime du moteur et la nature des particules : silice, carbone, eau...

La figure 84 représente une cartouche d'un filtre à air. Elle est constituée de deux armatures métalliques serties et perforées qui contiennent l'élément filtrant proprement dit. L'élément filtrant, aussi appelé « média filtrant », est réalisé en papier cellulosique plissé, afin d'obtenir une grande surface de filtration. La filtration des particules est assurée par les fibres très denses du papier et par électrisation. En effet, les parois en papier, soumises à la vitesse et au frottement de l'air, s'électrifient. Ce type de cartouche peut-être nettoyée par soufflage à l'air comprimé, à pression modérée, en dirigeant le flux d'air en sens contraire du sens de filtration. Après 2 à 4 nettoyages, la cartouche doit être remplacée.

La figure 85 montre l'ensemble d'un filtre à air à cartouche sèche. Cet ensemble comprend : le corps du filtre en tôle avec une entrée d'air radiale et une sortie axiale, deux cartouches filtrantes coaxiales. La cartouche extérieure forme l'élément filtrant primaire et la cartouche centrale joue le rôle d'élément « finisseur » et de sécurité en

cas de perforation de la précédente. Cette cartouche de sécurité se remplace, mais ne doit jamais être nettoyée. L'étanchéité entre les cartouches et le corps de filtre est assurée par des joints et la fixation s'effectue par vis et écrous. Une préfiltration est assurée par des ailettes périphériques situées autour de la cartouche primaire. Ces ailettes font tourbillonner l'air autour de la cartouche et la force centrifuge conduit les impuretés dans une cuve de rétention. Selon les cas, cette cuve se vide manuellement ou automatiquement, grâce à une valve d'évacuation en caoutchouc qui est sollicitée par les pulsations provoquées par l'aspiration du moteur.

— **Le filtre à air à bain d'huile** (fig. 86)

Dans ce type de filtre, l'air passe d'abord dans un pré-filtre centrifuge (voir fig. 83), puis il est dirigé, par une conduite axiale, au-dessus d'une cuve contenant de l'huile qui retient une partie des impuretés. L'air se dirige ensuite vers le moteur, en traversant un réseau de mailles en métal ou en plastique qui achève la filtration.

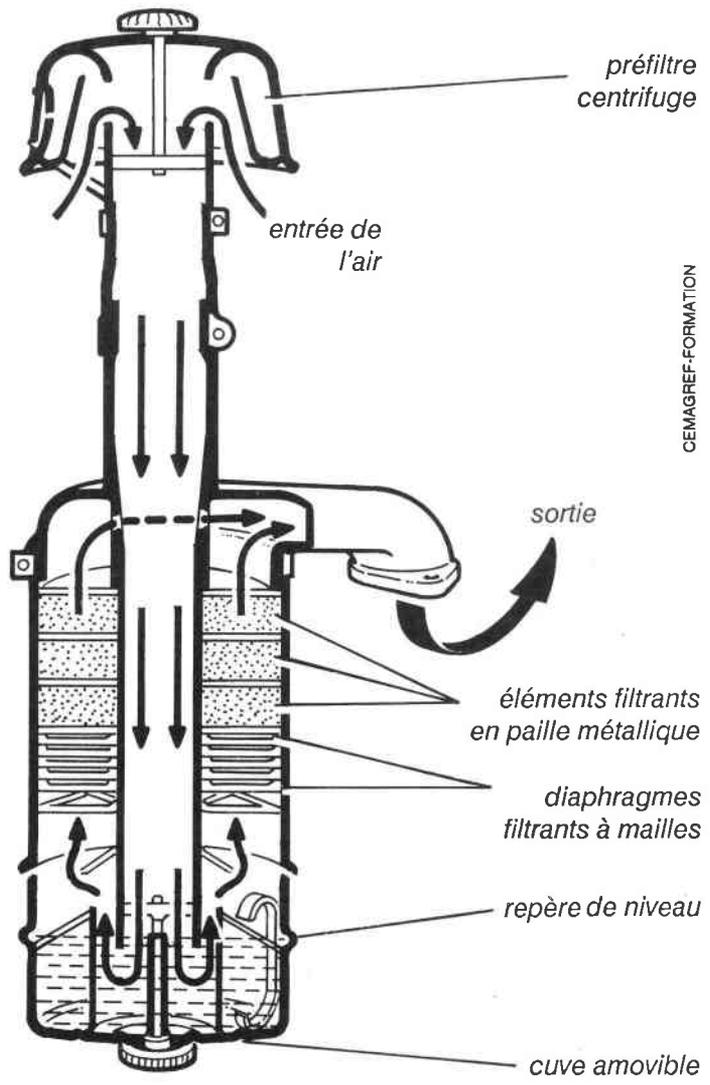


Fig. 86 — Filtre à air à bain d'huile.

L'efficacité de la filtration d'un filtre à bain d'huile est d'autant meilleure que la vitesse de l'air est élevée, ce qui convient particulièrement à des moteurs fonctionnant à des régimes constants. La périodicité de remplacement de l'huile, ainsi que le nettoyage de la partie inférieure du filtre correspondent à celle de la vidange de l'huile moteur. C'est d'ailleurs de l'huile moteur qui est utilisée dans la cuve du filtre.

Précisons que ce type de filtre ne peut être utilisé sur les moteurs suralimentés, en raison du risque d'aspiration de l'huile de la cuve par le turbocompresseur.

— L'indicateur de colmatage (fig. 87)

Afin de prévenir le colmatage des filtres, cause de réduction de puissance, de surconsommation et de dégradation de l'élément filtrant, les constructeurs placent souvent sur les engins agricoles et de travaux publics, un indicateur de colmatage de filtre. Le plus souvent cet indicateur est un mano-contact qui se déclenche pour une valeur de dépression donnée et qui actionne un avertisseur lumineux ou sonore.

• LE CIRCUIT DE CARBURANT :

Le circuit de carburant d'un moteur diesel comporte (fig. 88) : le réservoir, la pompe d'alimentation, le ou les filtres, la pompe d'injection et les injecteurs :

— **La pompe d'alimentation** refoule le carburant provenant du réservoir vers les filtres et la pompe d'injection sous une faible pression. Les pompes d'alimentation possèdent une commande manuelle qui permet l'amorçage et la purge des circuits. Comme nous le verrons plus loin, les pompes d'injection rotatives possèdent une pompe spéciale appelée **pompe de transfert** qui peut jouer le rôle de la pompe d'alimentation.

— **le ou les filtres**, qui purifient le carburant des impuretés diverses et de l'eau, afin d'éviter la détérioration des organes très précis de la pompe d'injection et des injecteurs.

— **la pompe d'injection**, qui reçoit le carburant filtré pour le doser et le distribuer sous pression vers les injecteurs selon un synchronisme et un ordre d'injection très précis.

— **les injecteurs** qui pulvérisent sous pression, dans les chambres de combustion, le carburant délivré par la pompe d'injection.

— **les filtres à carburant** (fig. 89) :

Les pompes d'injection et les injecteurs sont des mécanismes très précis et coûteux, qu'il convient de protéger par une filtration efficace du carburant. Le fioul et le gazole contiennent en effet des impuretés solides qui proviennent du pétrole brut et des éta-

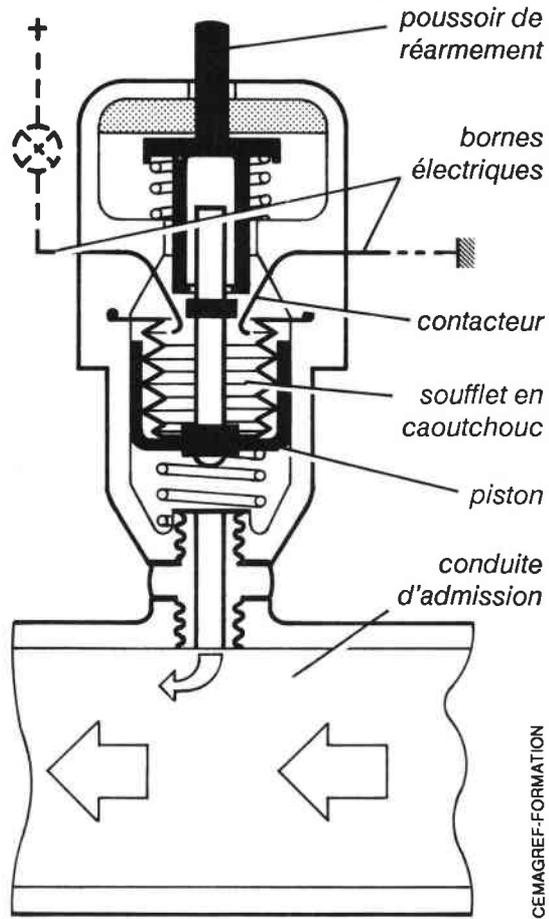


Fig. 87 — Indicateur de colmatage du filtre à air.

CEMAGREF-FORMATION

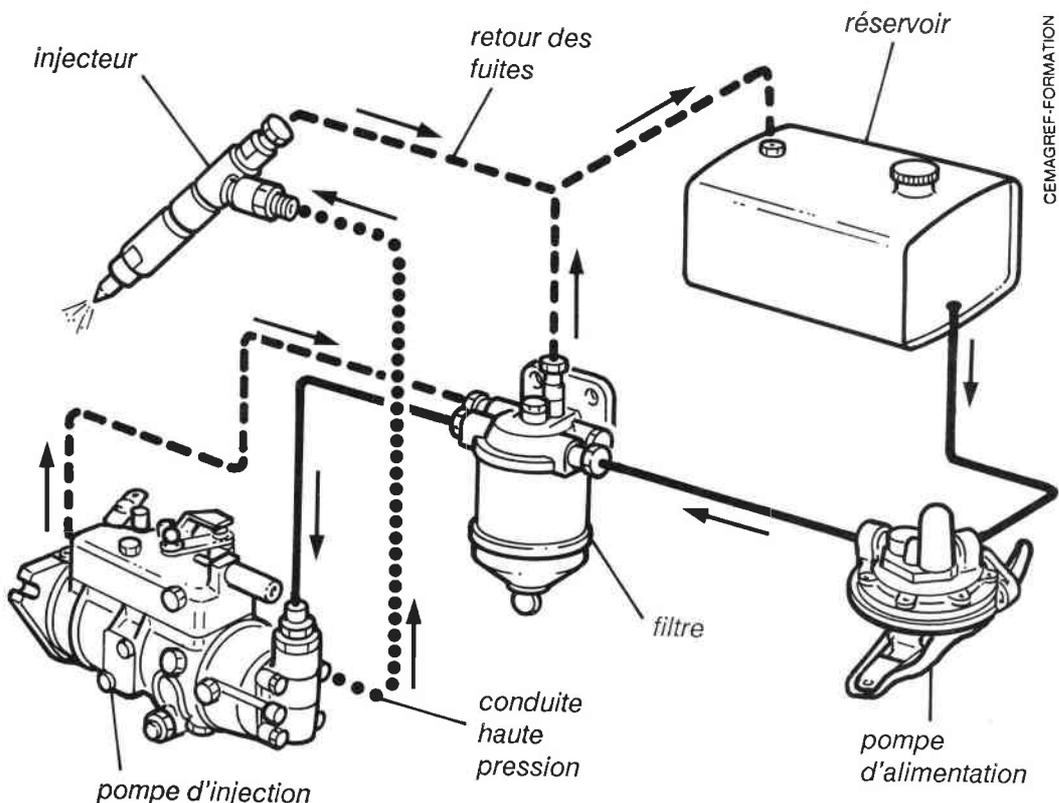


Fig. 88 – Circuit de carburant d'un moteur diesel équipé d'une pompe rotative.

pes successives de manipulation et de stockage. D'autre part, au cours des différents stockages, les phénomènes de condensation accroissent la teneur en eau des carburants. Comme chacun sait, l'eau est un redoutable agent corrosif pour les métaux et il est indispensable de la retenir avant son passage dans les pompes d'injection et les injecteurs.

La figure 89 montre un exemple de filtre à carburant comprenant : **un couvercle support, un bol décanteur et l'élément filtrant**. Le carburant pénètre dans le couvercle support, emprunte l'espace central du filtre, puis se décante dans le bol inférieur, avant de remonter au travers de l'élément filtrant pour ressortir finalement vers la pompe d'injection. Le bol décanteur possède une vis de purge qui permet périodiquement d'évacuer les impuretés lourdes et l'eau décantées. L'élément filtrant est constitué d'une armature métallique supportant un média filtrant réalisé en papier spécial plissé et qui peut retenir des impuretés de quelques microns. **Les éléments filtrants ne doivent jamais être nettoyés mais, remplacés aux échéances prescrites par les constructeurs**. Une vis de purge est située sur le couvercle supérieur, afin de réaliser la purge d'air du circuit après le remplacement de l'élément filtrant ou à la suite d'une panne de carburant.

En fonction des équipements, le circuit de carburant peut compter un ou deux filtres placés en parallèle ou en série. De plus, un décanteur supplémentaire est souvent placé

entre le réservoir et le filtre principal, afin d'arrêter l'eau et les plus grosses impuretés, surtout sur les matériels agricoles et de travaux publics.

Certains filtres possèdent une pompe manuelle d'amorçage pour faciliter les opérations de purge lorsque la pompe d'alimentation n'existe pas ou si elle ne peut être commandée manuellement.

#### — Le figeage du fioul :

Le figeage, se manifeste (voir également la partie de ce chapitre réservée au carburant) par temps froid lorsque la température devient inférieure au **point de trouble** du carburant. Il se traduit par la concentration de cristaux de paraffine qui gênent l'écoulement du carburant et qui obturent les filtres. Pour éviter ce phénomène, il existe trois solutions : l'utilisation d'un carburant pré-traité, l'adjonction par l'utilisateur d'un additif anti-figeant et le montage de réchauffeurs.

**L'utilisation d'un carburant pré-traité**, ayant une basse température limite de filtrabilité paraît la solution la plus séduisante. Elle est couramment pratiquée dans les pays nordiques et s'applique en France, dans une certaine mesure ( $- 15^{\circ} \text{C}$  à  $- 23^{\circ} \text{C}$ , selon les produits) pour le gazole commercialisé pendant l'hiver.

Le fioul domestique, utilisé notamment pour les matériels agricoles ne reçoit pas systématiquement un traitement aussi important et il possède une **température limite de filtrabilité** qui peut être seulement de  $- 4^{\circ} \text{C}$ . Précisons toutefois que les distributeurs proposent de plus en plus un fioul plus élaboré, ayant des caractéristiques proches du gazole.

- **L'adjonction d'un additif anti-figeant par l'utilisateur** est une solution envisageable pour le gazole comme pour le fioul, à condition toutefois d'opérer préventivement, avant que la température n'atteigne le point de trouble.

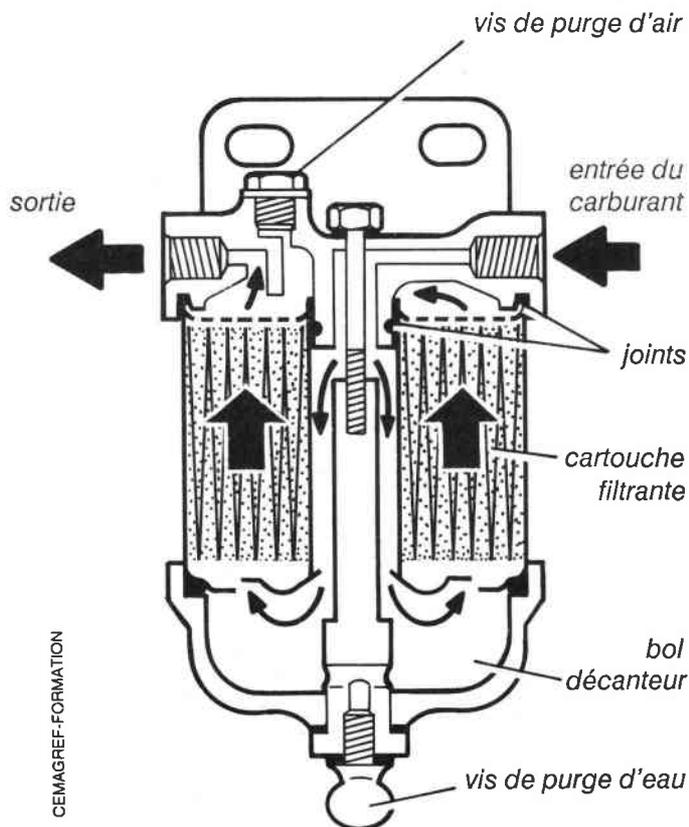


Fig. 89 — Filtre à carburant.

- Le montage de réchauffeurs (fig. 90) est assez fréquent et il constitue une sécurité supplémentaire, surtout pour les moteurs fonctionnant au fioul et quand l'utilisateur est surpris par un froid vif.

Les systèmes de réchauffage les plus courants se montent soit sur la canalisation en avant du filtre, soit sur le filtre lui-même comme l'indique la figure 90. Dans cet exemple, l'élément réchauffeur électrique est inséré à la base de l'élément filtrant. Le réchauffage assuré par des résistances auto-régulatrices alimentées par la batterie, permet avant le démarrage, de faire fondre la paraffine se trouvant dans le filtre. Pendant le fonctionnement du moteur, les résistances continuent à réchauffer le filtre pour faire fondre les cristaux de paraffine qui viennent du réservoir. Dans les situations plus extrêmes, régions nordiques ou périodes de froid intense, la paraffine se concentre au fond du réservoir et dans les conduites ; dans ce cas, seul un réchauffage spécial, placé dans le réservoir peut résoudre ce problème.

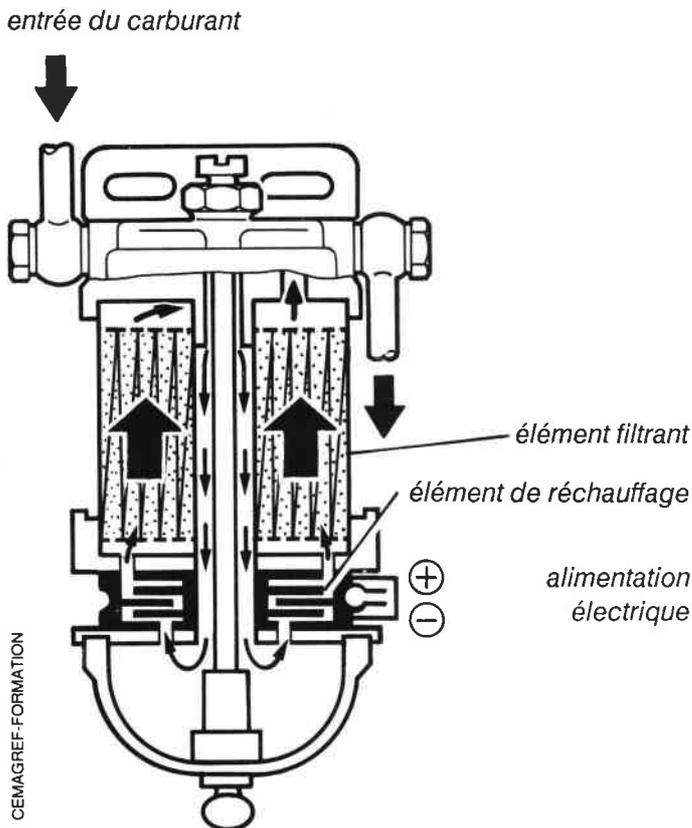


Fig. 90 – Filtre équipé d'un réchauffeur électrique.

## • LES POMPES D'INJECTION ET LES RÉGULATEURS :

Le rôle de la pompe d'injection (fig. 91) est de refouler vers l'injecteur, à un moment très précis, le volume de carburant nécessaire pendant seulement quelques millièmes de seconde. En effet, la période d'injection dure environ  $1/10^6$  de tour, soit 2,5 millièmes de seconde à 2 400 tr/mn.

En outre, la pompe doit assurer l'égalité des volumes injectés dans chacun des cylindres du moteur pour que le fonctionnement de celui-ci soit équilibré. Par exemple pour une cylindrée unitaire de 1 litre, lorsque le moteur travaille à pleine charge, il faut injecter à chaque cycle un vingtième de  $\text{cm}^3$  de carburant. Et pour que le moteur puisse fonctionner au ralenti, ce volume de carburant à injecter doit pouvoir être réduit à un centième de  $\text{cm}^3$ , ce qui représente en masse moins d'un centième de gramme. Afin de

maîtriser les problèmes de dosage, les pompes d'injection sont toujours associées à un **régulateur**.

Il est évident qu'injecter des volumes aussi faibles, sous une pression aussi forte et dans des temps aussi courts, exige une mécanique de haute précision, donc très coûteuse, dont le réglage et l'entretien ne peuvent être confiés qu'à des spécialistes possédant l'outillage approprié.

On jugera du degré de précision mécanique nécessaire, en remarquant que le jeu toléré entre le piston et le cylindre d'une pompe d'injection est de l'ordre de deux millièmes de millimètre. D'où la nécessité de filtrer toute particule solide (poussière ou autre) contenue dans le carburant, et susceptible de rayer au passage le piston de la pompe ou l'injecteur.

Compte tenu de la diversité des moteurs diesel, il existe deux grands principes de pompe d'injection : **les pompes en ligne et les pompes rotatives**.

— **Les pompes d'injection en ligne** (fig. 92 et 93) :

Les pompes en ligne comprennent autant d'éléments de pompage que le moteur compte de cylindres à alimenter. Chaque élément d'une pompe en ligne est constitué d'un piston alternatif actionné par un arbre à cames et rappelé par un ressort. La course de ce piston est constante, mais un usinage particulier de sa tête lui permet de doser le carburant grâce à une rotation commandée par un secteur denté et une crémaillère

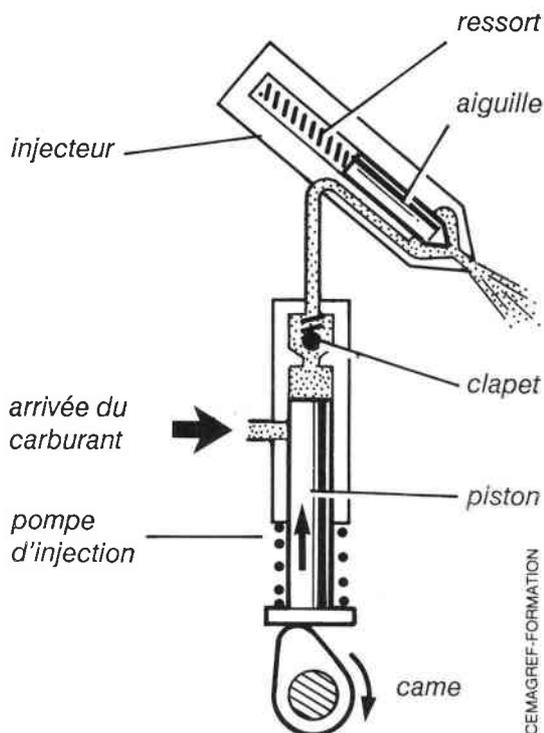


Fig. 91 — Principe de l'injection.

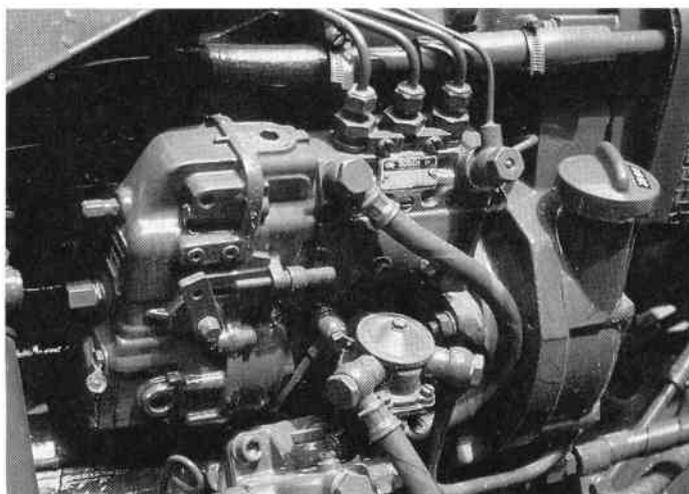


Fig. 92 — Vue d'une pompe d'injection en ligne (Photo CEMAGREF-DICOVA).

reliée au régulateur. La figure 94 montre le détail de cet usinage, qui comprend une rainure verticale et une rampe hélicoïdale. Au point mort bas, le carburant pénètre par des orifices latéraux percés dans le cylindre, c'est la **phase d'alimentation**. Lorsque le piston monte sous l'action de la came, il obture les orifices d'alimentation et refoule le carburant vers l'injecteur au travers d'un clapet de refoulement, c'est l'**injection**. Avant de parvenir au point mort haut, la rampe hélicoïdale du piston démasque un orifice d'alimentation, de manière à faire cesser rapidement l'injection, c'est la **fin d'injection**. Ainsi, malgré la course mécanique constante du piston, sa course utile et donc le débit injecté par coup peuvent varier selon sa position angulaire, la position de la rampe hélicoïdale modifiant le **moment de fin d'injection**.

Le dosage du carburant dépend donc de la position angulaire du piston réglée automatiquement par le régulateur, dont le fonctionnement est décrit plus loin dans ce chapitre. L'arrêt de l'injection et donc du moteur s'obtient également par la rotation du piston de la pompe d'injection, jusqu'à ce que la rainure verticale usinée dans sa tête coïncide avec un orifice d'alimentation.

Le plus souvent, les pompes en ligne comportent leur arbre à cames et leur régulateur (fig. 93) ; dans ce cas, les pistons sont lubrifiés par le carburant, tandis que tout le mécanisme de commande et de régulation est lubrifié par de l'huile contenue dans le carter de la pompe ou provenant d'une dérivation du circuit de graissage du moteur.

Selon les applications, les pompes d'injection en ligne peuvent être accompagnées d'un correcteur d'avance (fig. 95). Ce correcteur est incorporé à l'accouplement qui

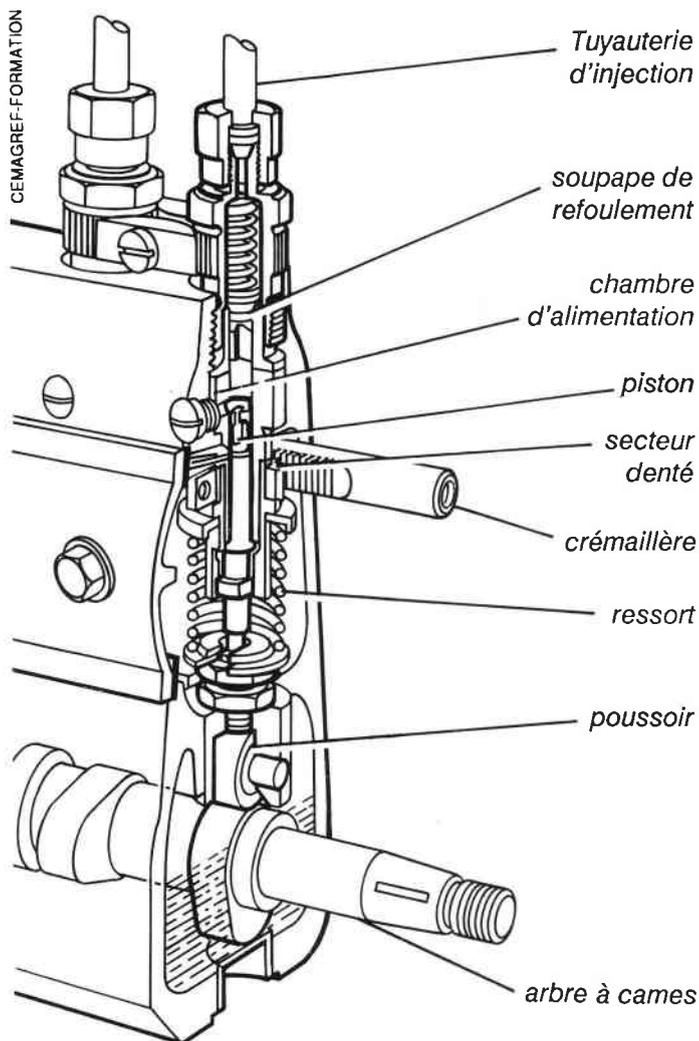


Fig. 93 — Vue en coupe d'une pompe d'injection en ligne.

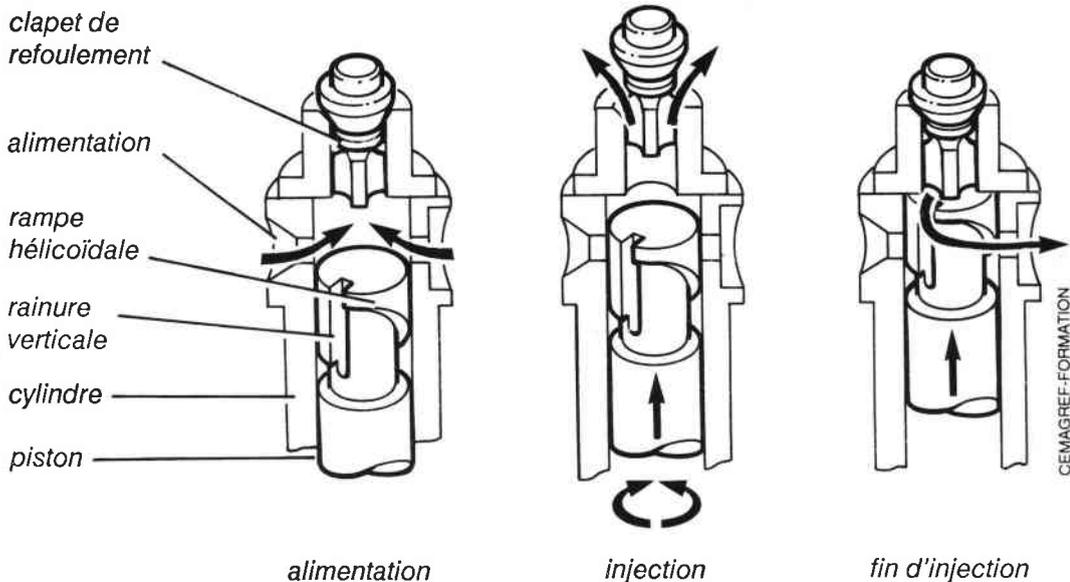


Fig. 94 — Fonctionnement d'un élément de pompe d'injection en ligne.

entraîne la pompe. Il comporte des masselottes qui se déplacent sous l'action de la force centrifuge. Quand le régime augmente par exemple, l'écartement des masselottes provoque le décalage angulaire de l'arbre à cames de la pompe d'injection de façon à accroître l'avance à l'injection.

Certains moteurs sont équipés d'éléments de pompes d'injection en ligne fixés sur le bloc-cylindres et actionnés séparément par l'arbre à cames du moteur. Le régulateur étant alors séparé de la pompe d'injection est intégré au mécanisme de distribution du moteur.

### — Les pompes d'injection rotatives :

Les pompes d'injection rotatives sont très compactes, elles ne possèdent qu'un seul élément qui distribue le carburant aux différents injecteurs du moteur. Le régulateur incorporé dans la pompe d'injection est de taille très réduite. L'ensemble des mécanismes d'injections et de régulation est lubrifié par le carburant. La précision d'usinage est du même ordre que celle des pistons et des cylindres des pompes en ligne.

Ces pompes d'injection s'appliquent aux moteurs de 3 à 6 cylindres, de puissance inférieure à 110 kW.

L'analyse technologique complète des différentes pompes d'injection rotatives dépasserait le cadre de cet ouvrage, c'est pourquoi nous avons simplement retenu pour exemple, deux principes très répandus : le système D.P.A du groupe Anglais LUCAS.CAV, fabriqué également en France par ROTO.DIESEL et le système EP/VE fabriqué par le groupe Allemand BOSCH.

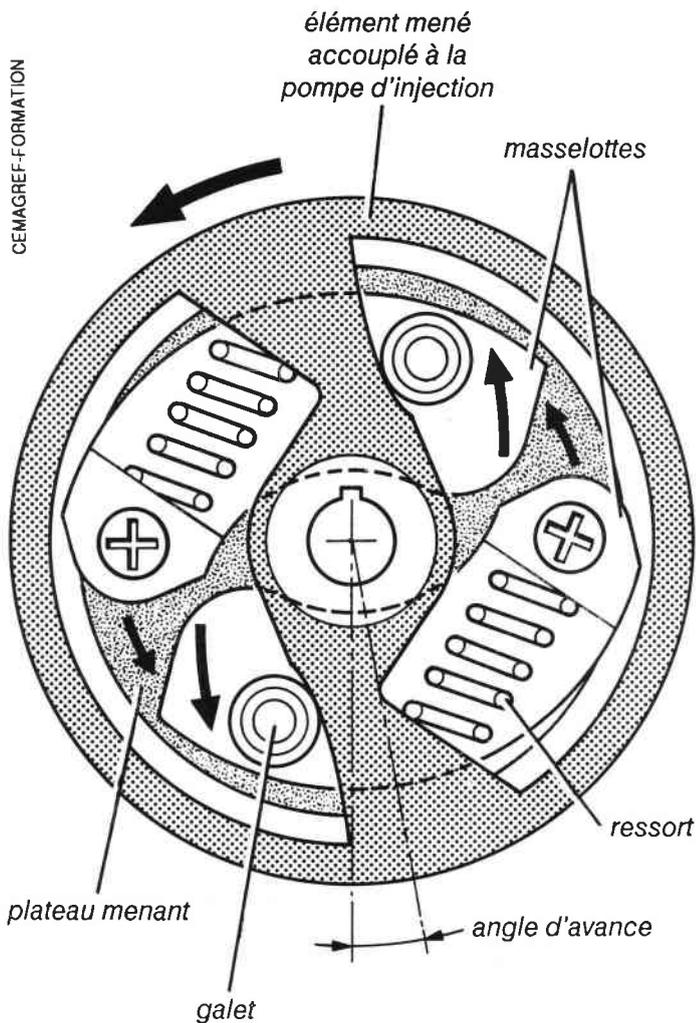


Fig. 95 — Correcteur centrifuge d'avance.

- La pompe d'injection rotative C.A.V. type D.P.A (fig. 96 et 97) :

La figure 96 montre en coupe l'ensemble de cette pompe d'injection ; on peut localiser à droite le mécanisme d'injection, à gauche le régulateur centrifuge, en haut la commande de régulateur et de dosage, en bas le correcteur d'avance à l'injection. Le fonctionnement du dispositif d'injection est représenté à la figure 97 : l'organe rotatif ou rotor est entraîné par le moteur et étroitement ajusté dans un cylindre fixe appelé tête hydraulique. La tête hydraulique et le rotor de pompe sont deux pièces usinées avec précision qui ne peuvent être remplacées séparément.

Dans le rotor, à gauche, un alésage transversal reçoit deux petits pistons antagonistes disposés radialement. Quand le rotor est entraîné, ces pistons s'écartent sous l'effet

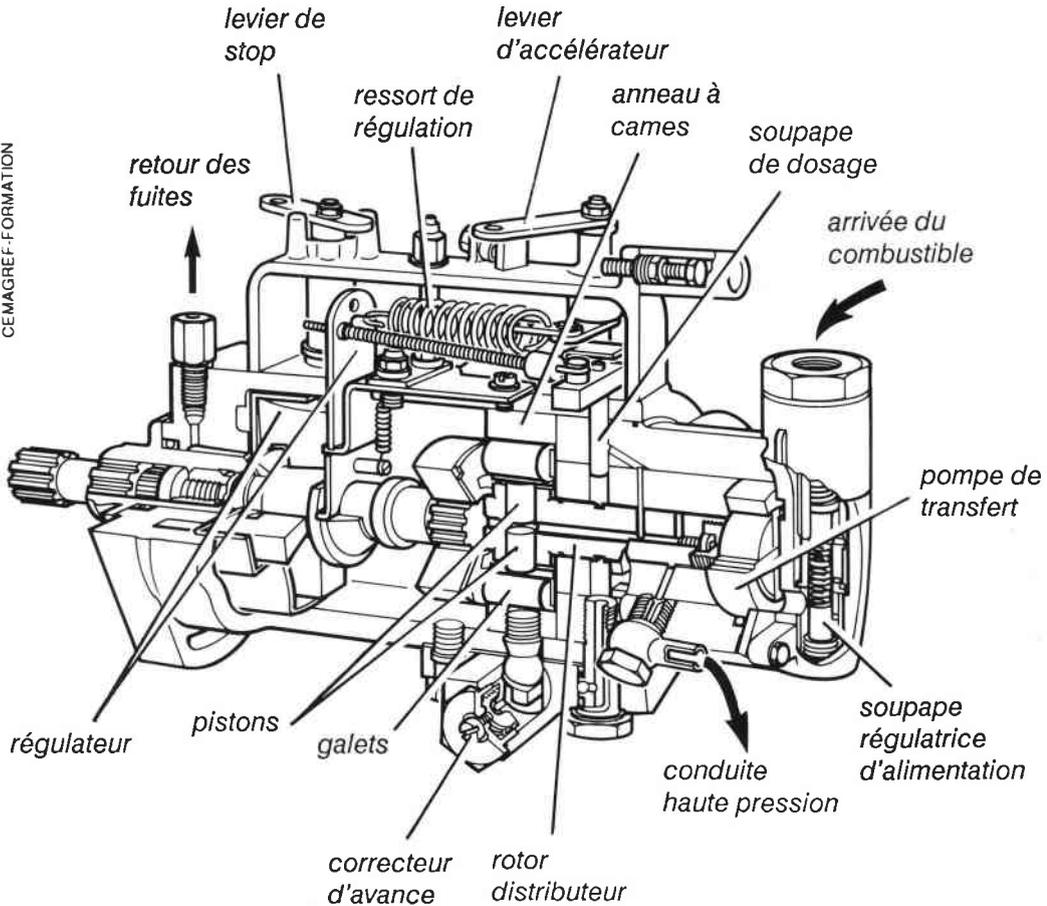


Fig. 96 — Vue en coupe d'une pompe d'injection rotative CAV, type DPA.

de la pression de carburant venant d'une pompe de transfert, puis se rapprochent vivement pendant la phase de refoulement (c'est-à-dire d'injection) par l'action de galets roulants à l'intérieur d'un anneau fixe muni de cames intérieures. Ces galets sont liés aux pistons par des patins qui couissent dans des guides usinés dans l'épaulement du rotor.

Le fonctionnement peut être divisé en deux phases : **l'admission du carburant et l'injection.**

Chacune de ces phases est synchronisée par la mise en communication tour à tour des orifices percés dans le rotor avec ceux de la tête hydraulique. Il n'existe qu'un seul orifice d'alimentation fixe dans la tête hydraulique et un seul orifice distributeur tournant avec rotor. Le nombre d'orifices d'alimentation du rotor et celui de sortie de la tête hydraulique, ainsi que le nombre de cames varient avec le nombre de cylindres du moteur.

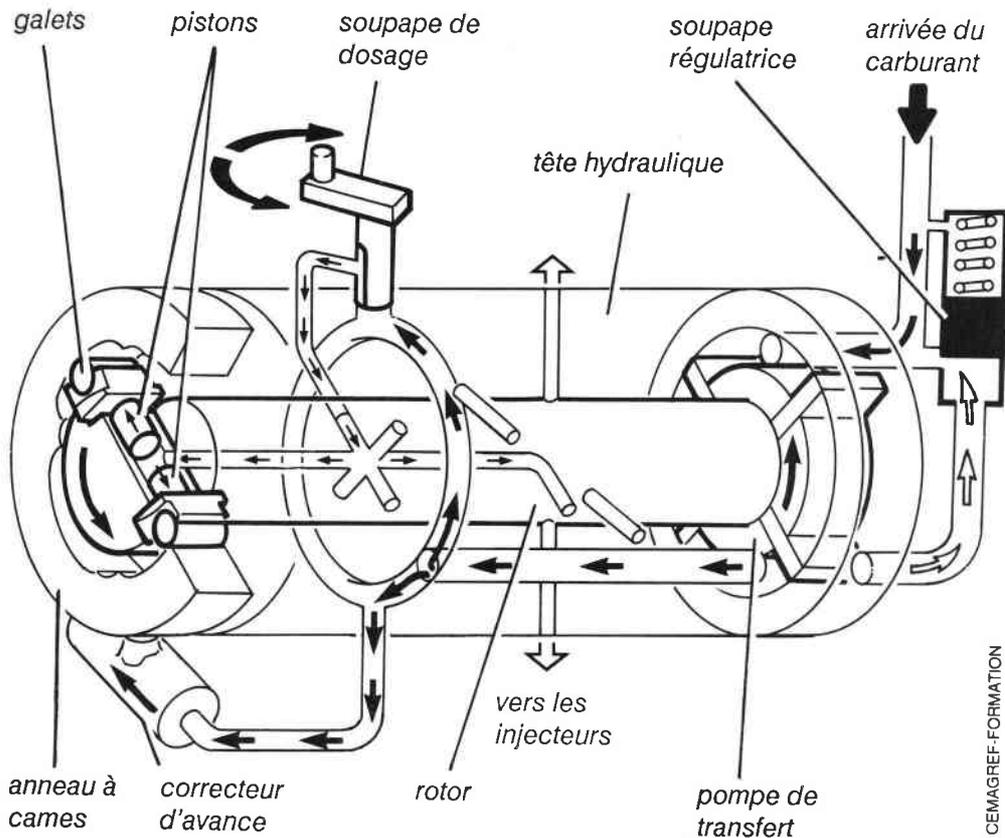


Fig. 97 – Principe de la pompe d'injection rotative CAV, type DPA.

Le rapport d'entraînement est tel que le rotor effectue un tour pour deux tours moteurs.

- **1<sup>re</sup> phase : L'admission du carburant dans le rotor** : le rotor entraîne une pompe auxiliaire, appelée pompe de transfert, qui aspire le carburant venant du réservoir et des filtres. Le débit de cette pompe, réglé par une soupape régulatrice de manière à obtenir une pression sensiblement proportionnelle à la vitesse de rotation, est dirigé vers une soupape de dosage qui contrôle l'alimentation du rotor. Lorsqu'un orifice d'alimentation du rotor coïncide avec le canal venant de cette soupape de dosage, le carburant pénètre dans les canaux du rotor et sa pression écarte les pistons antagonistes. Le rotor continuant à tourner, les orifices d'alimentation se séparent et le combustible est alors emprisonné dans le rotor. **L'admission est terminée.**

- **2<sup>e</sup> phase : L'injection** : immédiatement après l'admission, l'orifice distributeur du rotor s'approche d'un orifice de sortie de la tête hydraulique pendant que les galets, sous l'effet des cames, repoussent les pistons antagonistes qui expulsent le carburant du rotor vers l'injecteur raccordé à la sortie correspondante de la tête hydraulique, **c'est l'injection.** Un autre cycle peut alors recommencer pour l'injection suivante. Rappelons que la pompe d'injection tourne deux fois moins vite que le moteur, puisque le

cycle à quatre temps des moteurs diesel nécessite, pour chaque cylindre, une injection tous les deux tours.

La quantité de carburant ainsi injectée dépend de la position de la soupape de dosage qui est commandée par le régulateur, dont nous verrons plus loin le rôle. L'arrêt du moteur est obtenu soit mécaniquement par un levier de stop qui ferme la soupape de dosage, soit électriquement par un clapet électromagnétique qui obture le canal de dosage. Le **correcteur d'avance** est constitué par un petit vérin hydraulique qui peut modifier la position angulaire de l'anneau à cames sous l'action de la pression du carburant refoulé par la pompe de transfert. Ainsi, lorsque la vitesse du moteur augmente, la pression de transfert croît et le vérin du correcteur d'avance déplace l'anneau à cames de quelques degrés en sens inverse de la rotation du rotor, afin que l'injection se réalise plus tôt.

- La pompe d'injection rotative BOSCH type EP/VE (fig. 98 et 99) :

Cette pompe diffère de la précédente par le fonctionnement de son rotor et par le système de dosage qui agit en fin d'injection au lieu d'agir sur le remplissage du rotor.

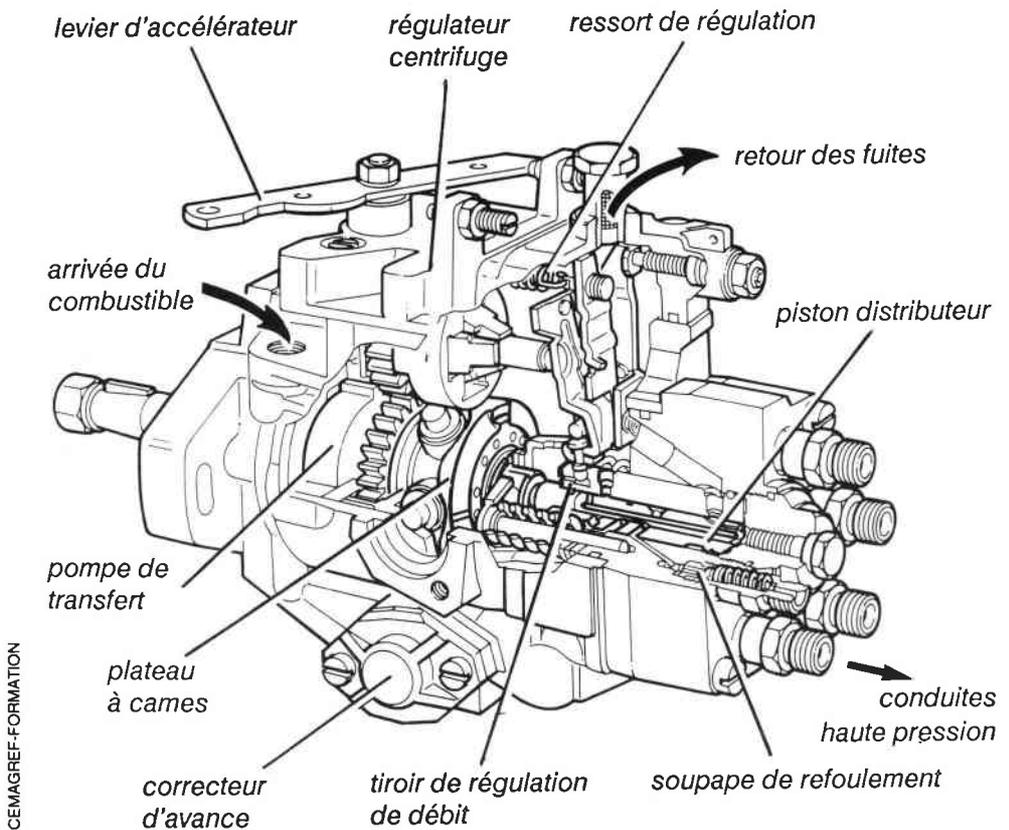


Fig. 98 – Vue en coupe d'une pompe d'injection rotative Bosch, type EP/VE.

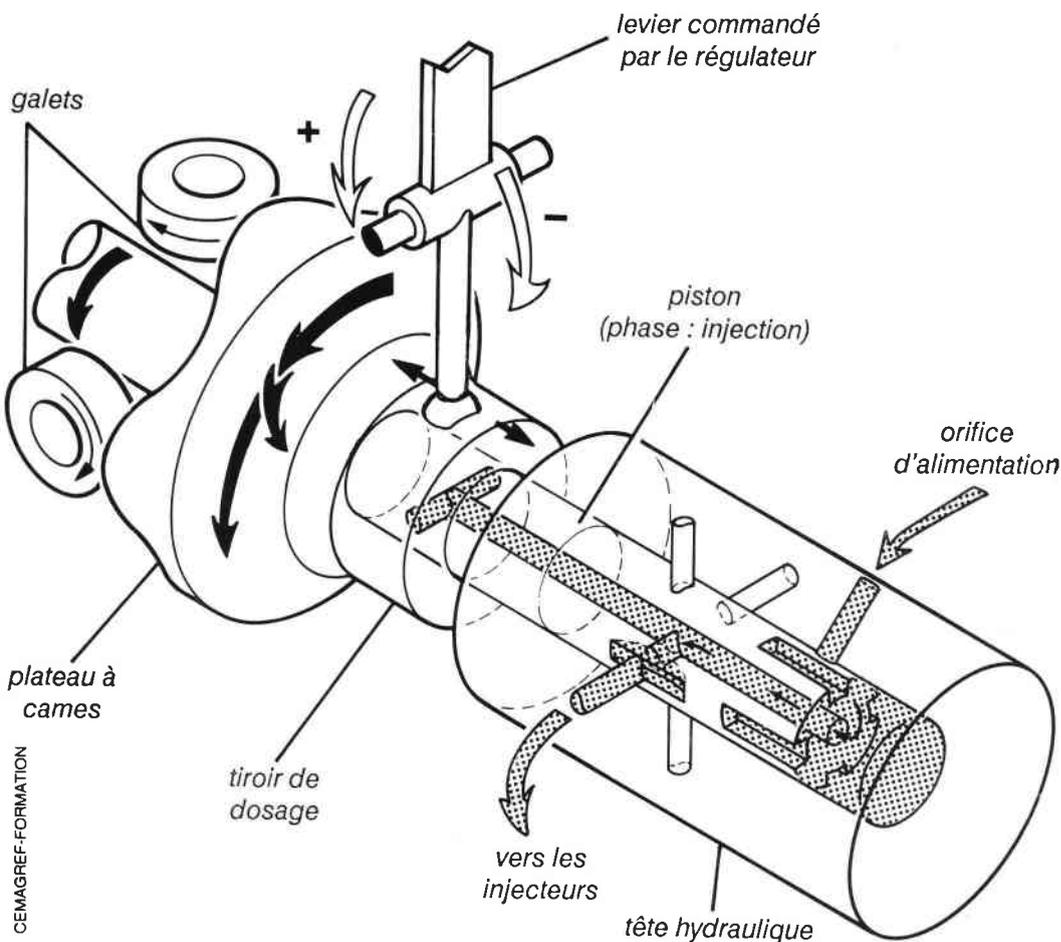


Fig. 99 — Principe de la pompe d'injection rotative Bosch, type EP/VE.

Le rotor est mû par deux mouvements combinés, l'un alternatif qui permet l'admission et l'injection, l'autre rotatif qui assure la distribution du carburant vers les injecteurs du moteur. Le mouvement alternatif du piston est assuré par un **plateau à cames axiales**, qui tourne devant des galets montés sur un support fixe. L'arbre de la pompe est entraîné par le moteur et il tourne deux fois moins vite que celui-ci.

Une **pompe de transfert** et une **soupape régulatrice** de pression maintiennent, dans le carter de la pompe, une pression d'alimentation du rotor qui est fonction de la vitesse de rotation. Le fonctionnement du rotor comprend, de manière simplifiée : **une phase d'alimentation, une phase d'injection et la fin d'injection.**

**Pendant la phase d'alimentation** (fig. 99), le piston recule et l'une des **rainures d'alimentation** située autour de sa tête, coïncide avec le **canal d'alimentation** de la tête hydraulique jusqu'à ce que le piston atteigne son point mort bas. Au terme de cette course d'alimentation, la rotation du piston provoque la fermeture des orifices d'ali-

mentation et amène en coïncidence la **rainure de distribution du piston** avec un orifice de sortie relié à l'injecteur correspondant. **L'injection commence** sous l'action simultanée de la rotation et de la remontée du piston.

Le canal axial qui relie la tête du piston à la rainure de distribution, se prolonge jusqu'à la base du piston qui coulisse dans un tiroir de dosage (fig. 99). Si on considère que ce tiroir de dosage est fixe, on s'aperçoit qu'en fin d'injection, il démasque le canal mobile du piston, ce qui entraîne **l'arrêt immédiat de l'injection**. Ce tiroir peut en fait se déplacer, afin de modifier la course réelle d'injection et donc le débit de carburant injecté. Plus le tiroir se déplace vers la gauche, plus la fin d'injection est tardive, plus le volume finalement injecté est grand et vice-versa. La position précise du tiroir de dosage est assurée par le régulateur, dont le rôle est expliqué dans le paragraphe suivant.

Cette pompe est également équipée d'un **correcteur d'avance à l'injection**. Celui-ci est constitué d'un vérin hydraulique qui peut modifier la position angulaire du support porte-galets, sous l'action de la pression de transfert. Aussi, lorsque la vitesse du moteur croît, la pression de transfert augmente et conduit le vérin du correcteur à modifier de quelques degrés la position angulaire du support des galets, en sens inverse de la rotation des cames, afin que l'injection se réalise plus tôt.

## • LES RÉGULATEURS :

Les pompes d'injection qui équipent les moteurs diesel sont toujours accompagnées d'un régulateur, dont le rôle principal est d'ajuster avec précision le débit de la pompe d'injection en fonction de la position de l'accélérateur et du travail que le moteur doit fournir. De plus, le régulateur limite le régime maximal de rotation du moteur afin d'éviter son emballement.

La régulation des moteurs diesel diffère selon les applications. En effet, le conducteur d'un véhicule routier (automobile ou utilitaire) est conscient des variations d'efforts qui doivent être fournies par le moteur et peut lui-même corriger la position de l'accélérateur en fonction de la charge du véhicule et lorsqu'il monte ou descend une côte par exemple. Dans ce cas, le régulateur de la pompe d'injection est souvent du **type mini-maxi**, c'est-à-dire que le régulateur contrôle seulement les régimes minimum et maximum du moteur. En revanche, sur les matériels agricoles et de travaux publics par exemple, le conducteur n'est pas en mesure d'apprécier exactement la nature de l'effort que le moteur doit fournir en fonction de la dureté du sol, de la profondeur de travail, de la vitesse d'avancement, de la densité de la récolte...

Ces applications requièrent la présence d'un **régulateur du type « toutes vitesses »**, c'est-à-dire un régulateur capable d'adapter automatiquement le débit de la pompe d'injection aux besoins du moteur pendant le travail, quelle que soit la position du levier d'accélération affichée par le conducteur.

## — Les régulateurs mécaniques :

La figure 100 montre le principe d'un régulateur centrifuge toutes vitesses qui équipe une pompe en ligne. Il comprend : des masselottes entraînées par l'arbre à cames de la pompe d'injection (voir aussi la fig. 92) ou directement par le moteur si la pompe ne possède pas d'arbre à cames, un **système de butée et de leviers** reliés à la crémaillère de dosage, un **ressort antagoniste** dont la tension est réglée par le **levier de commande du régulateur**. Pour le travail, l'opérateur définit, au préalable, une vitesse de rotation du moteur en choisissant une position du levier. Pour le travail donné, **la vitesse du moteur résulte alors d'un équilibre** entre d'une part, le travail fourni et le carburant reçu, et d'autre part, entre la force centrifuge des masselottes et la force antagoniste du ressort tendu par le levier de commande d'accélération.

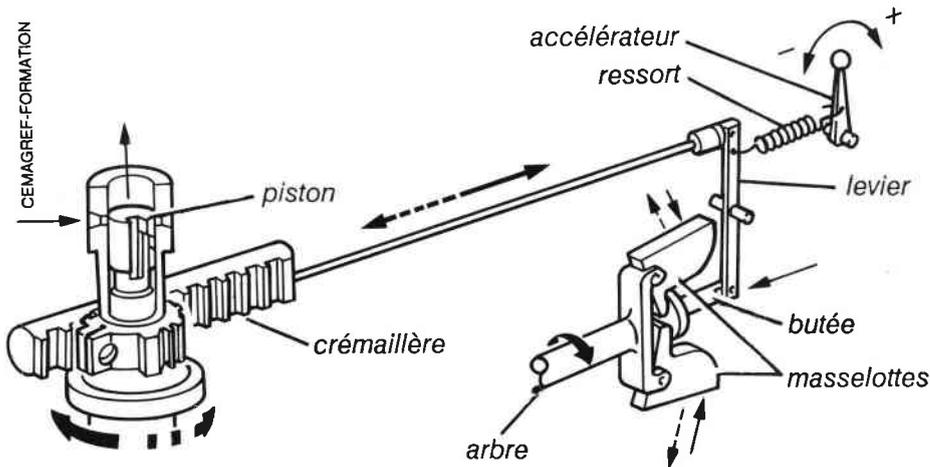


Fig. 100 — Principe d'action du régulateur centrifuge d'une pompe en ligne.

Si au cours du travail, la vitesse du moteur tend à diminuer parce que l'effort demandé augmente, la force centrifuge diminue immédiatement et l'action du ressort, devenue prépondérante, conduit la tringlerie à augmenter le débit de la pompe d'injection. Si au contraire, la vitesse du moteur tend à augmenter parce que l'effort demandé diminue, le régulateur repousse la crémaillère afin de réduire le débit injecté.

Le régulateur toutes vitesses est donc un automatisme mécanique capable de maintenir le régime de rotation du moteur à la valeur affichée au levier d'accélérateur et malgré les variations d'efforts rencontrées au travail.

Précisons toutefois que le fonctionnement du régulateur étant basé sur une variation de la force centrifuge, il est nécessaire d'admettre une légère modification du régime moteur pendant son fonctionnement.

L'écart entre la vitesse du moteur à effort nul et sa vitesse à la puissance maximale s'appelle le **degré d'irrégularité du régulateur** qui, exprimé en pourcentage, est de l'ordre de 8 %, (se reporter aussi au chapitre : les caractéristiques et les performances des tracteurs).

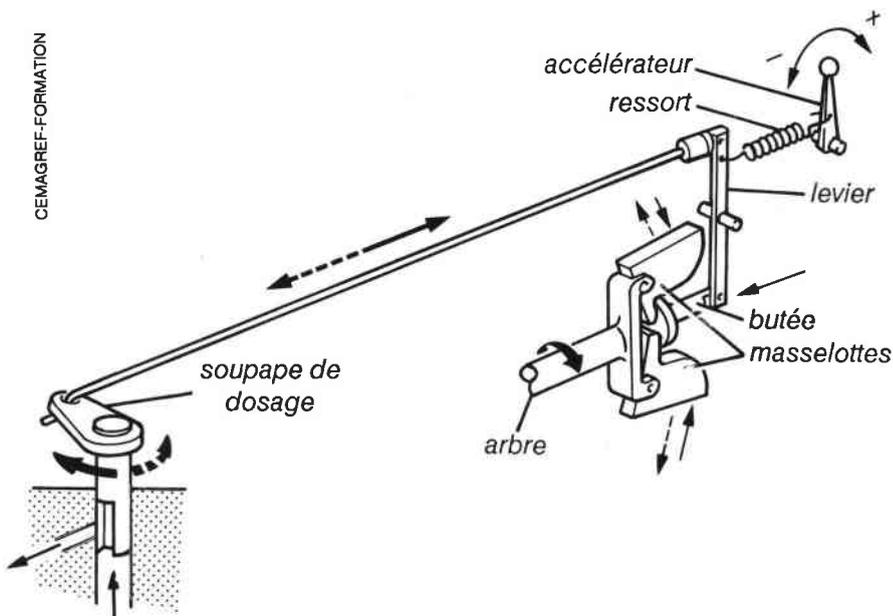


Fig. 101 — Principe d'action du régulateur : pompe rotative CAV, type DPA.

**Le régime maximum du moteur étant défini par le réglage du régulateur, il convient de ne jamais modifier ce réglage.**

Pour les pompes d'injection rotatives, le processus de régulation s'effectue selon le même principe. Pour la pompe rotative type D.P.A (fig. 101 et 96), le régulateur agit sur la soupape de dosage de la tête hydraulique et pour la pompe rotative type EP/VE (fig. 102 et 98) le régulateur agit sur le tiroir de dosage coulissant à la base du piston. Dans ce dernier cas, nous pouvons remarquer sur la figure 98 que les masselottes du régulateur ont une rotation surmultipliée par rapport à celle de la pompe d'injection.

#### — Le correcteur de débit :

Il s'agit d'un dispositif complémentaire au régulateur, capable de corriger le débit de la pompe d'injection, en dehors de la zone d'action du régulateur. L'action du correcteur de débit permet d'adapter la courbe de couple du moteur et, dans certains cas, de réaliser des moteurs à plage de puissance contrôlée, (se reporter au chapitre : les caractéristiques et les performances des moteurs).

Les correcteurs de débit se présentent sous la forme de butées étagées mécaniques (au niveau des régulateurs centrifuges), ou hydrauliques (pression de transfert des pompes rotatives).

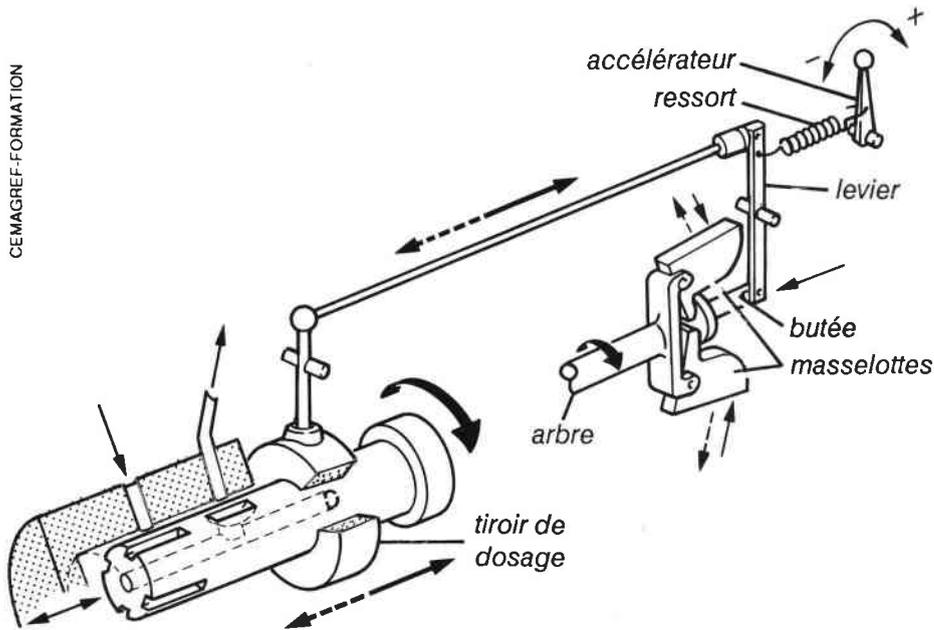


Fig. 102 — Principe d'action du régulateur :  
pompe rotative Bosch, type EP/VE.

#### — Les régulateurs électroniques (fig. 103 et 104) :

Le fonctionnement des moteurs à allumage commandé (se reporter, dans la même collection à la brochure « les moteurs à essence ») fait déjà largement appel à l'électronique pour l'allumage et l'injection d'essence. Pour les moteurs diesel, la réalisation d'une injection totalement électronique n'est pas réalisée actuellement, en raison des fortes pressions d'injection. En revanche, le remplacement du régulateur centrifuge par un régulateur électronique est tout à fait possible.

Ce type de régulation, proposée par la plupart des constructeurs d'équipements d'injection, commence à équiper les moteurs diesel.

Ce système faisant appel aux techniques de micro-informatique et d'électronique, il serait hors de propos de vouloir traiter dans cet ouvrage le fonctionnement de ces dispositifs. Cependant la figure 103 présente le principe d'organisation de la régulation électronique d'une pompe d'injection rotative. Ce dispositif comprend un **calculateur électronique** (1) qui pilote une servo-commande de dosage (3). Cette servo-commande est constituée d'un micro-moteur électrique qui actionne la soupape ou le tiroir de dosage de la pompe d'injection. Le calculateur qui reçoit les ordres du conducteur grâce à un **capteur** de position de l'accélérateur, calcule le débit (3) et l'avance à l'injection (5) en fonction des informations transmises par différents capteurs et sondes qui mesurent :

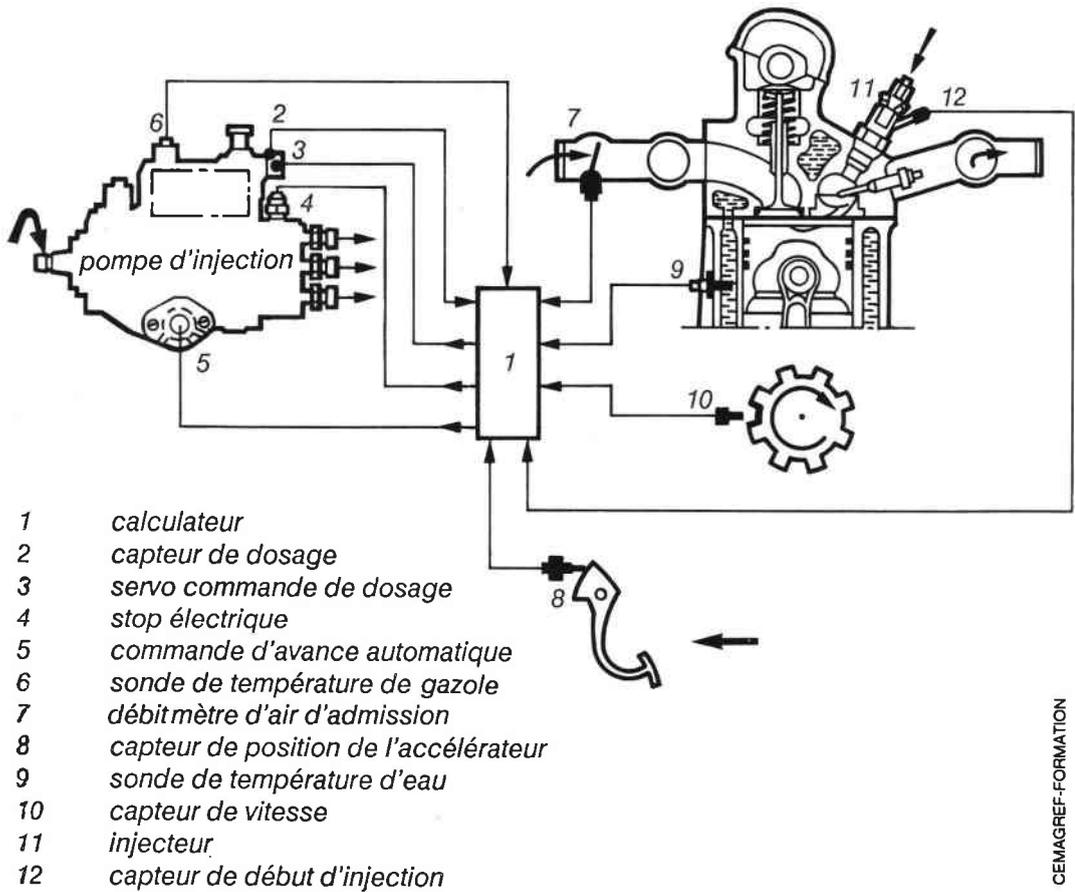


Fig. 103 – Principe d'un système d'injection à commande électronique.

- Le dosage du carburant (2).
- La température du gazole (6).
- Le débit d'air aspiré (7).
- La température du moteur (9).
- La vitesse de rotation du moteur (10).
- Le début de l'injection (12).

La régulation électronique de l'injection dans les moteurs diesel permet un dosage très précis de la quantité de carburant injectée et la prise en compte de nombreux paramètres. Ceci conduit alors à une meilleure maîtrise de l'injection (dosage, avance...) et à une combustion plus efficace, plus propre et moins bruyante.

La figure 104 montre la commande de régulation électronique de l'injection (REI) des tracteurs SAME. Trois touches remplacent l'accélérateur manuel, une pour augmenter

le régime, l'autre pour réduire le régime et la troisième active la fonction « régime constant ». Au travail, le degré d'irrégularité du régulateur étant très faible, le moteur peut absorber des variations de charge sans changement sensible de régime. A chaque instant, le conducteur peut opter pour une conduite traditionnelle en actionnant l'accélérateur à pied.

## • LES INJECTEURS :

Un injecteur se compose essentiellement d'une soupape d'injection ou aiguille et d'un logement appelé corps ou buse. L'aiguille coulisse dans son logement et la précision de l'usinage est de l'ordre du millième de millimètre. Ces deux pièces sont donc appariées et elles ne peuvent être remplacées séparément. L'aiguille obture le ou les orifices d'injection par son extrémité conique, grâce à un ressort réglable qui s'appuie sur le porte-injecteur (fig. 105). Le carburant refoulé par la pompe d'injection parvient au porte-injecteur par des tubulures, puis entre dans la chambre entourant l'aiguille. La pression s'exerce alors sur la partie tronconique de l'aiguille. Lorsque la force verticale engendrée par la pression du carburant devient supérieure à la force antagoniste du ressort, l'aiguille se soulève et le carburant pénètre dans la chambre de combustion du moteur, pulvérisé en fines gouttelettes.

Dès que la pression diminue, le ressort repousse l'aiguille sur son siège et l'injection cesse.

La pulvérisation doit être telle que les fines gouttelettes de carburant puissent se mélanger rapidement et de manière homogène avec l'air, afin de créer les meilleures conditions d'auto-inflammation et de combustion.

Au même titre que la pompe d'injection, les injecteurs sont usinés avec une grande précision et ils doivent résister aux fortes pressions (100 à 600 bars) et aux hautes températures (jusqu'à 600° C). L'extrémité de l'injecteur débouche, soit dans la chambre de précombustion ou de turbulence, soit directement au-dessus du piston lorsque le moteur est à injection directe.

L'injecteur est associé à un support appelé porte-injecteur (fig. 106), fixé sur la culasse par une bride appropriée munie d'un joint d'étanchéité. L'aiguille et son siège



Fig. 104 — Vue de la commande d'un régulateur électronique SAME (Photo R. Autellet).

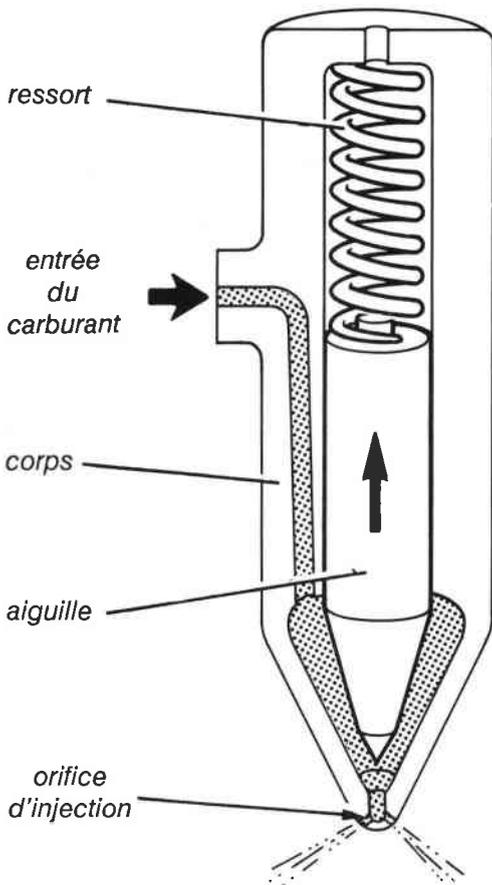


Fig. 105 — Principe d'un injecteur.

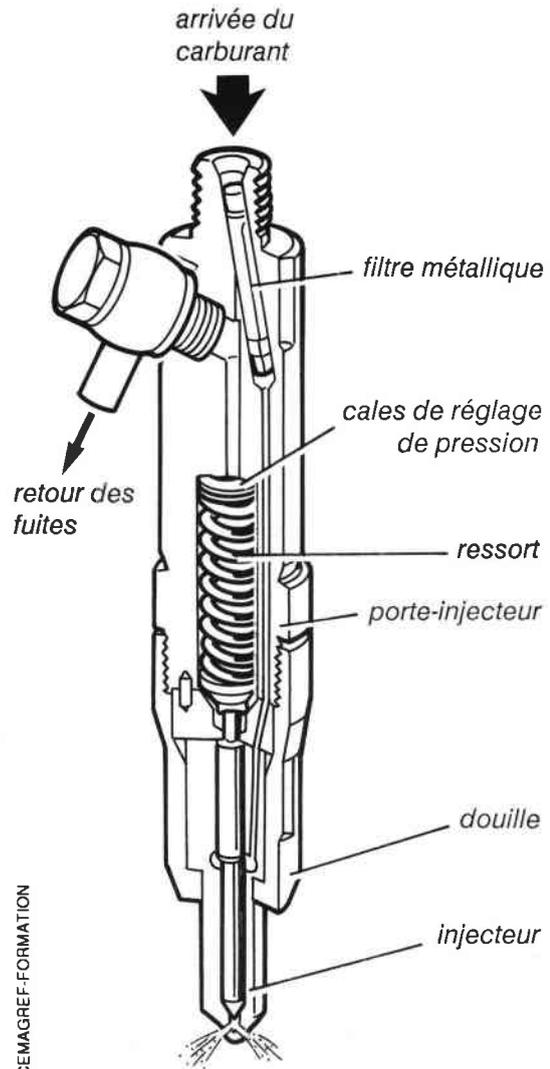


Fig. 106 — Porte-injecteur avec injecteur à trous.

appelé corps ou buse forment un ensemble fixé au porte-injecteur par une douille filetée. De son côté, le porte-injecteur comprend le ressort antagoniste appelé ressort de **tarage** et les orifices d'entrée du combustible et de retour des fuites. L'orifice d'entrée du carburant est souvent muni d'un filtre métallique à chicanes qui arrêtent les éventuelles impuretés. L'orifice de retour des fuites est indispensable pour évacuer vers le réservoir les légères fuites de carburant qui passent entre l'aiguille et le corps et qui contribuent à lubrifier l'injecteur.

La pression d'ouverture de l'injecteur, appelée **pression de l'injecteur**, est réglable par des cales en acier placées sous le ressort ou par un système vis-écrou qui agit sur la tension du ressort.

**Les injecteurs à trous** (fig. 107) s'appliquent aux moteurs diesel à injection directe. L'extrémité de l'aiguille se termine par un cône qui obture une cavité comprenant 3 à 5 orifices d'injection de très petit diamètre (0,2 mm environ). Selon les moteurs, la pression de tarage des injecteurs à trous varie de 170 à 240 bars.

La figure 108 représente un injecteur particulier appelé **injecteur crayon**. Ce type d'injecteur, développé par la société STANADYNE (U.S.A), a la particularité d'être de taille réduite, ce qui lui confère une **faible inertie**. Il forme un ensemble indissociable du porte-injecteur et il possède une vis de réglage de la pression de tarage et une vis de réglage de la **levée d'aiguille**.

L'**inertie d'un injecteur** est un phénomène que les constructeurs tentent de réduire au maximum. Cette inertie se traduit par un ou plusieurs rebonds de l'aiguille de l'injecteur sur son siège et par une injection secondaire (qui suit l'injection principale) à l'origine de fumées et de bruits de combustion.

La **levée d'aiguille** est une donnée importante de l'injection. Elle correspond à la course de l'aiguille qui est limitée, soit de manière définitive lorsque l'aiguille vient en butée contre le porte injecteur (fig. 106), soit de manière réglable (fig. 108).

La **levée d'aiguille de l'injecteur étant limitée, la pression dynamique**, c'est-à-dire la pression réelle de l'injection peut dépasser 500 bars quand le moteur fonctionne à pleine puissance. Cette pression dynamique ne doit pas être confondue avec la pression de tarage qui est une valeur statique servant de référence pour le réglage de la pression d'ouverture des injecteurs.

Ajoutons que la levée d'aiguille a une influence sur la fin d'injection qui doit être la plus brève possible.

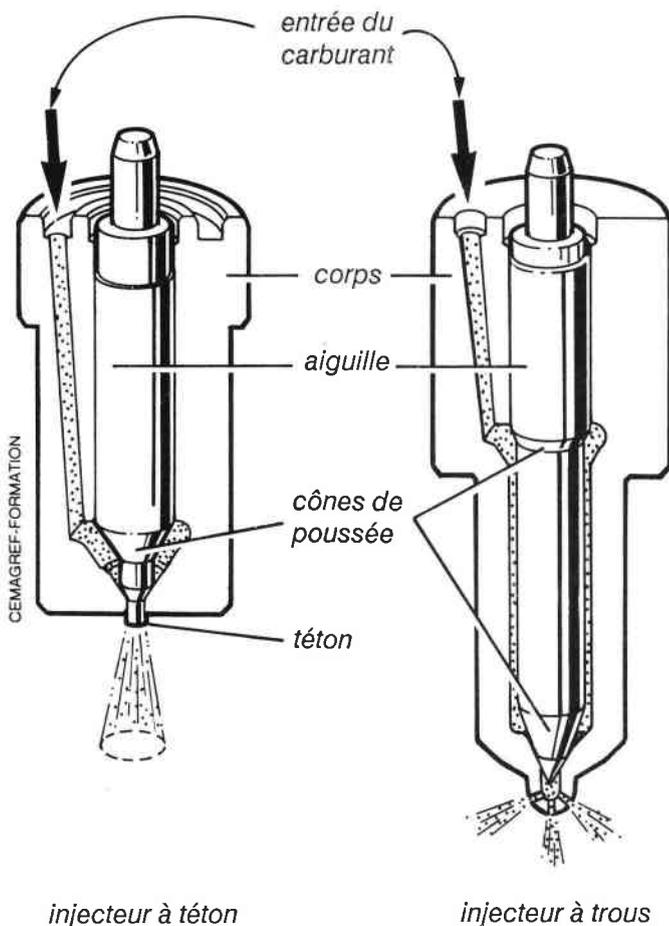


Fig. 107 — Les deux principaux types d'injecteurs.

## • LES PRINCIPAUX RÉGLAGES DE L'ÉQUIPEMENT D'INJECTION :

Les interventions concernant l'équipement d'injection sont l'affaire de spécialistes que la profession désigne par le terme de « dieselistes ». Seuls ces professionnels, reconnus par les constructeurs, possèdent les compétences, les valeurs de réglage, l'outillage d'intervention et les bancs d'essais indispensables.

Parmi les opérations qui sont pratiquées sur les équipements d'injection citons : **le contrôle des injecteurs, le contrôle de la pompe d'injection et son calage** :

— **Le contrôle des injecteurs** consiste à régler la pression de tarage, à vérifier l'étanchéité, à contrôler la pulvérisation, et le cas échéant, à remplacer les injecteurs défectueux. Ces opérations sont effectuées à l'aide d'une pompe d'essai aussi appelée pompe de tarage.

— **Le contrôle des injecteurs doit être réalisé périodiquement, aux échéances prescrites par les constructeurs, afin d'éviter une mauvaise combustion qui est souvent à l'origine de difficultés de démarrage, de surconsommation, de fumées à l'échappement et à terme de détérioration du moteur.**

— **Le contrôle de la pompe d'injection** permet de déceler les pièces défectueuses et de régler toutes les fonctions de la pompe en respectant les références des constructeurs : étanchéité, début d'injection, débit de carburant, égalité des débits, action du régulateur, vitesse maximale, ralenti...

— **Le calage de la pompe d'injection** est l'opération qui permet la synchronisation précise de la pompe d'injection avec le moteur, de manière à ce que l'injection se réalise

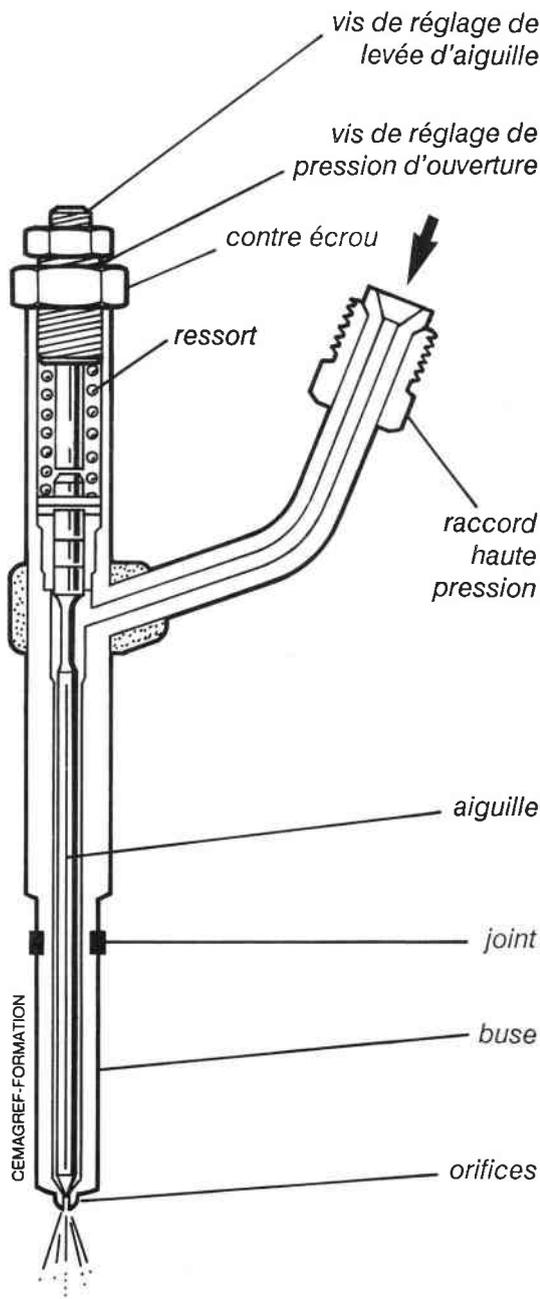


Fig. 108 — Injecteur « crayon ».

dans chaque cylindre du moteur au moment précis et compte tenu de l'avance initiale décrite précédemment.

Tout mauvais réglage sur les injecteurs et les pompes aura en outre un effet défavorable sur les performances des moteurs (couple, puissance, consommation,...).

## • LA SURALIMENTATION :

Les performances des moteurs diesel à aspiration naturelle sont limitées par le taux de **remplissage** de leurs cylindres qui est de l'ordre de 85 %. Afin d'**accroître le travail fourni pour une cylindrée donnée**, les constructeurs adoptent de plus en plus la **suralimentation** sur les moteurs diesel.

La suralimentation consiste à comprimer l'air dans les cylindres, à l'aide d'un **turbocompresseur** actionné par les gaz d'échappement.

### — Le turbocompresseur :

Le turbocompresseur est, comme son nom l'indique, un compresseur à turbines. Les deux turbines d'un turbocompresseur (fig. 109), ont des rôles complètement opposés. L'une d'elle appelée turbine d'échappement, parce qu'elle est entraînée par les gaz

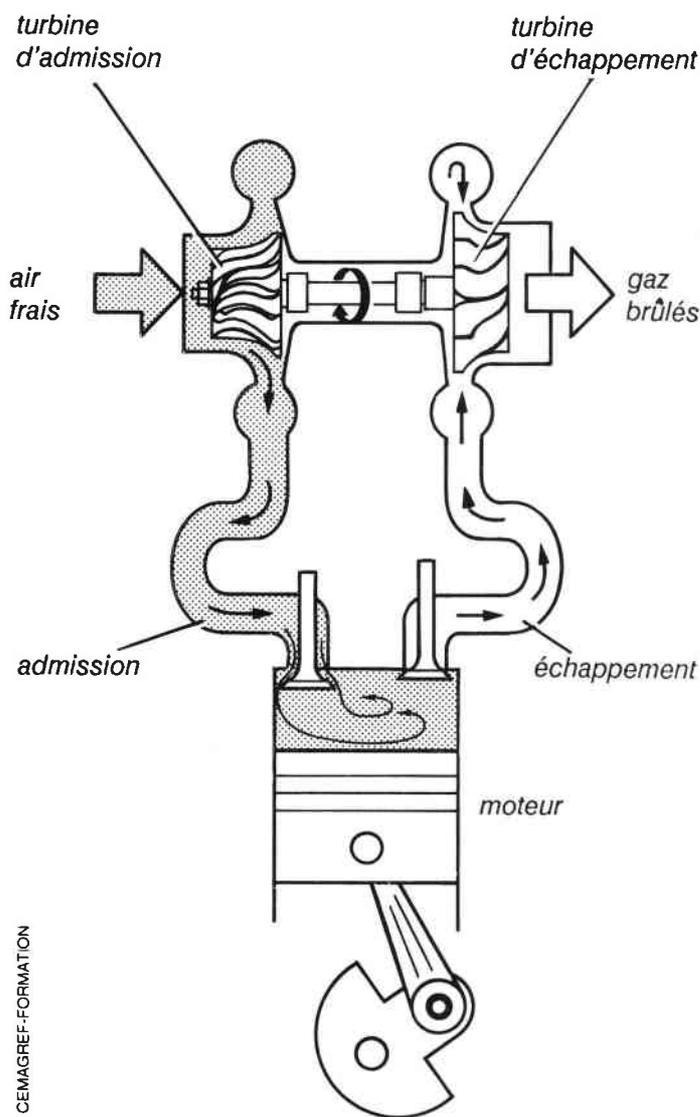


Fig. 109 — Principe de la suralimentation par turbocompresseur.

d'échappement, est en fait l'**élément moteur**. L'autre, appelée turbine d'admission est l'élément pompe. Elle est entraînée mécaniquement par la turbine d'échappement et elle comprime l'air frais dans les cylindres du moteur.

Un turbocompresseur comprend (fig. 110) : Une volute d'échappement, une turbine d'échappement et une turbine d'admission calées sur un axe commun, une volute d'admission et un corps central.

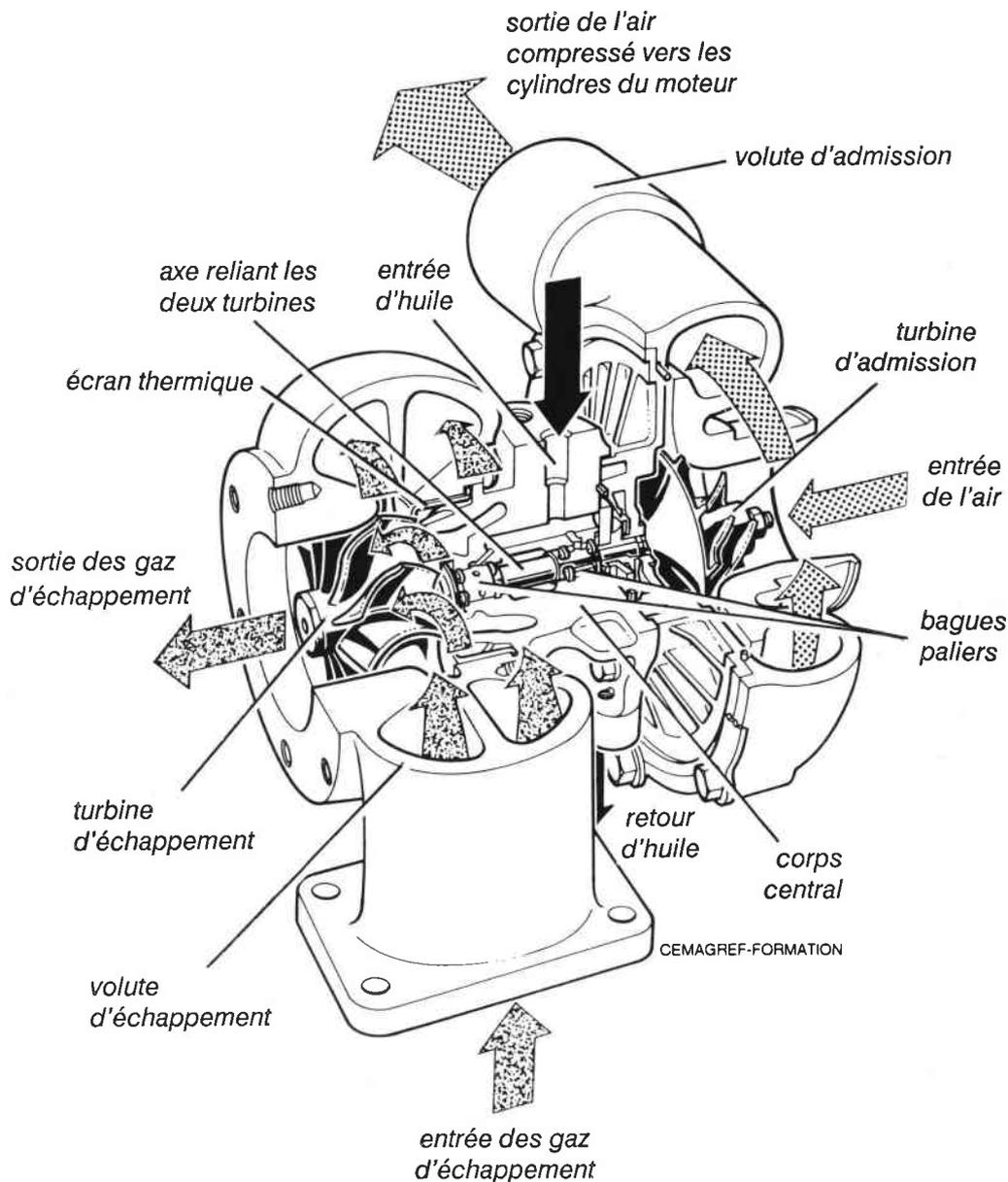


Fig. 110 — Coupe d'un turbocompresseur.

- **La volute d'échappement** est raccordée directement au collecteur d'échappement par une entrée tangentielle, tandis que sa sortie axiale se raccorde au tuyau d'échappement, par l'intermédiaire d'un raccord rigide ou élastique. La volute d'échappement est réalisée en fonte et elle est fixée latéralement au corps central.

- **La turbine d'échappement** est constituée d'aubes ayant un profil très complexe étudié pour un rendement optimal. La turbine d'échappement est réalisée dans un alliage d'acier spécial réfractaire afin de résister aux **très hautes températures (700° à 950°)**. Certaines turbines d'échappement sont maintenant fabriquées en **céramique**.

A leur sortie du collecteur d'échappement, les gaz entrent dans la volute d'échappement qui les conduit sur la périphérie de la turbine d'échappement. L'énergie cinétique des gaz entraîne alors cette turbine à **très grande vitesse (60 à 120 000 tr/mn)**. La volute et la turbine d'échappement sont appelées « **centripètes** » car le flux des gaz se déplace concentriquement de l'extérieur vers l'intérieur. Après avoir effectué leur travail, les gaz d'échappement sont dirigés vers le pot d'échappement.

- **La turbine d'admission** est entraînée par la turbine d'échappement grâce à un axe commun. Elle est réalisée en alliage léger et porte également des aubes de forme complexe. La turbine d'admission aspire l'air axialement et le refoule sur sa périphérie dans la volute d'admission. La turbine et la volute d'admission sont appelées « **centrifuges** », car le flux d'air circule concentriquement de l'intérieur vers l'extérieur.

- **La volute d'admission** comprend une entrée axiale qui alimente la turbine d'admission. Cette volute recueille les gaz frais autour de la turbine d'admission et les dirige vers une conduite tangentielle reliée à l'admission du moteur. Elle est réalisée en alliage léger par moulage et fixée latéralement au corps central.

- **Le corps central** supporte les volutes d'échappement et d'admission, les paliers de l'arbre des turbines et un circuit d'huile assurant la lubrification et le refroidissement du turbocompresseur.

Les deux paliers sont constitués par des bagues en bronze ou en alliage léger, logées dans le corps principal avec un jeu suffisant pour permettre leur rotation. Ainsi l'axe des turbines tourne dans les bagues qui, à leur tour, peuvent tourner dans leur logement. Cette disposition permet de partager la très grande vitesse de l'arbre (60 à 120 000 tr/mn) entre l'axe et les bagues d'une part et les bagues et le corps d'autre part. De plus, toujours en raison de l'importante vitesse de rotation, l'huile sous pression passant par des gorges et des orifices, vient s'interposer simultanément entre l'axe et les bagues et entre les bagues et le corps afin de créer de véritables **paliers fluides**. L'huile qui traverse le turbocompresseur sert également à le refroidir ; mais la température de fonctionnement de la turbine d'échappement est tellement élevée (700 à 950° C), que la présence d'un **écran thermique** entre cette turbine et le corps central est indispensable. Cet écran thermique est constitué d'un déflecteur en acier inoxydable. Afin d'éviter des fuites d'huile côté turbine d'admission et d'échappement, des joints spéciaux, souvent à segments métalliques sont placés à chacune des extrémités de l'axe.

Rappelons à tout conducteur, afin d'éviter la détérioration rapide des paliers du turbocompresseur, de n'arrêter le moteur que lorsque celui-ci fonctionne au ralenti. En effet, à haut régime la pression d'huile retomberait à zéro, alors que le turbocompresseur tournerait encore à grande vitesse ; de même, lors de la mise en service, attendre 30 secondes afin que le circuit d'huile s'établisse avant d'accélérer le moteur.

#### — La suralimentation par air refroidi :

Dans un turbocompresseur normal, l'air aspiré par la turbine d'admission s'échauffe (100 à 150° C) en raison des frottements et en raison de la proximité de la chaleur d'échappement. Or, plus l'air s'échauffe, plus sa densité diminue et plus la masse d'air réellement apportée dans les cylindres diminue. C'est pourquoi certains moteurs sont équipés d'un turbocompresseur associé à un refroidisseur d'air. Ce refroidisseur est un échangeur soit air-air (fig. 111), soit eau-air (fig. 112), qui permet d'abaisser la température de l'air à environ 75°-90° C à la sortie du turbocompresseur.

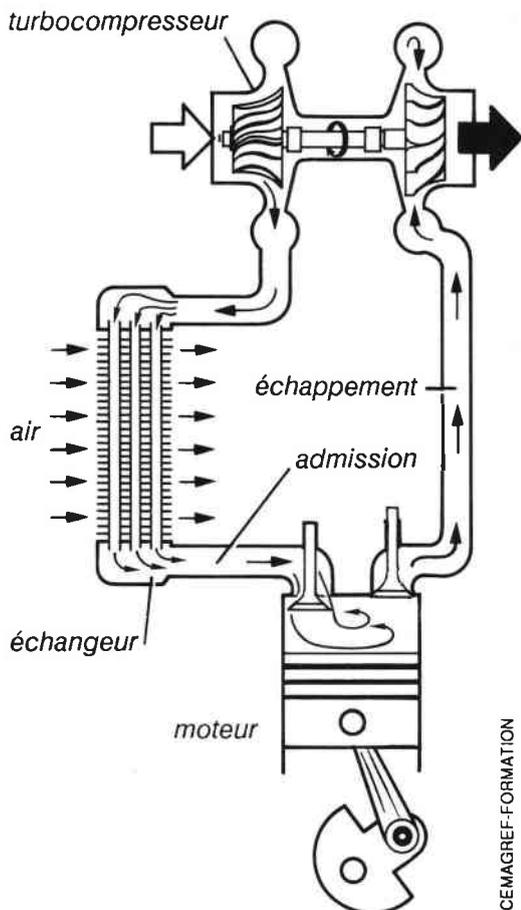


Fig. 111 — Turbocompresseur avec échangeur air-air.

Cette technique, souvent désignée par les constructeurs sous l'appellation « **inter cooling** », permet un gain très sensible de puissance.

#### — La régulation des turbocompresseurs (fig. 113 et 114) :

Cette régulation, située juste à l'entrée de la volute d'échappement, est constituée d'une **soupape** commandée par un **diaphragme**. La soupape est normalement fermée par un ressort, mais lorsque la pression d'admission du moteur atteint une certaine valeur, elle agit sur le diaphragme, par l'intermédiaire d'une conduite de pilotage, afin de commander l'ouverture de la soupape. Lorsque la soupape s'ouvre, une partie des gaz d'échappement est alors déviée vers le pot d'échappement sans passer dans la turbine.

Lorsqu'il est utilisé, ce dispositif permet le montage d'un turbocompresseur de petite taille qui permet d'accroître la suralimentation et le couple à bas régime.

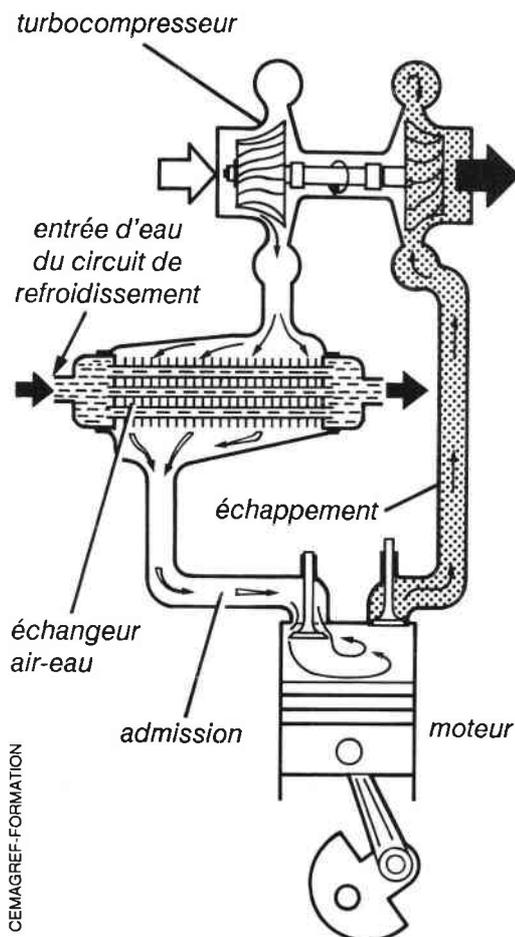


Fig. 112 — Turbocompresseur avec échangeur air-eau.

— **Les moteurs suralimentés et la régulation du débit de carburant** (fig. 115 et 116) :

Afin d'adapter le débit de carburant de la pompe d'injection à la pression d'air de suralimentation, les moteurs diesel suralimentés sont équipés d'un correcteur de débit. Ce correcteur, placé sur la pompe d'injection (fig. 115), comprend un ressort et une membrane déformable reliée à une butée mobile.

La membrane est soumise sur sa face inférieure à la tension du ressort et sur sa face supérieure à la pression de suralimentation grâce à une conduite de pilotage qui la relie au collecteur d'admission du moteur.

Ainsi, lorsque la pression de suralimentation est insuffisante, la membrane reste au repos et le débit maximum de la pompe d'injection ne peut dépasser une valeur limite

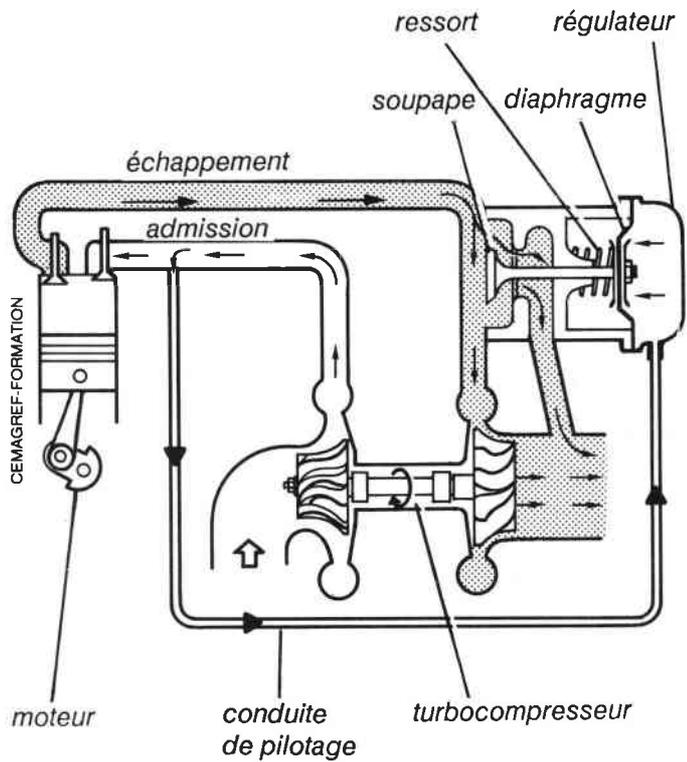


Fig. 113 — Régulateur de pression de suralimentation.

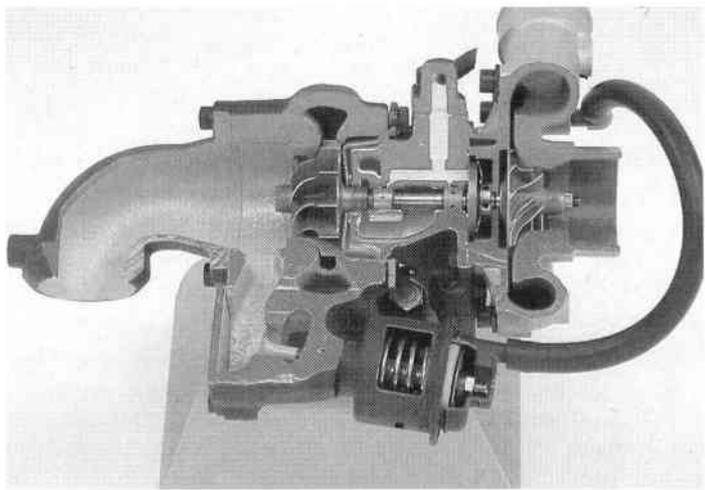


Fig. 114 — Vue d'un turbo-compresseur avec soupape by-pass de régulation (Coupe et photo CEMAGREF-DICOVA).

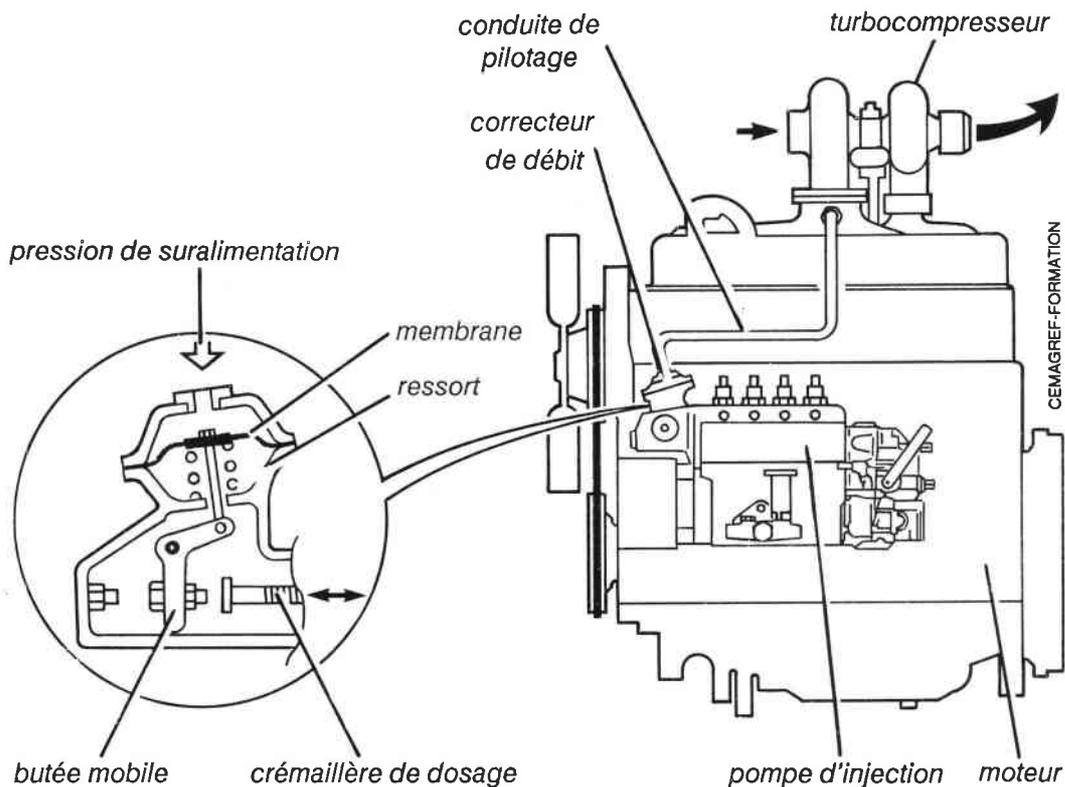


Fig. 115 – Correcteur de débit de carburant d'un moteur suralimenté.

correspondant sensiblement à un moteur à aspiration naturelle. Lors des accélérations et des variations de charge, après le temps de réponse du turbocompresseur, l'augmentation de la pression de suralimentation sollicite la membrane qui déplace alors la butée de manière à ajuster le débit de carburant à la quantité d'air effectivement admise dans les cylindres.

La figure 115 représente, à titre d'exemple, un correcteur de débit associé à une pompe d'injection en ligne, mais ce dispositif peut éga-

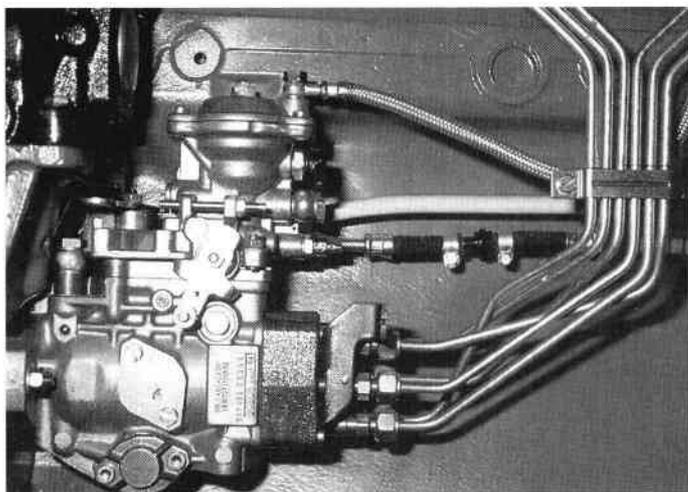


Fig. 116 – Vue d'une pompe d'injection rotative Bosch EP/VE équipée d'un correcteur de débit de suralimentation (Photo CEMAGREF-DICOVA).

lement équiper les pompes d'injection rotatives (fig. 116).

### • LE CIRCUIT DE LUBRIFICATION (fig. 118) :

La lubrification ou graissage consiste à établir **un film lubrifiant** entre les pièces en mouvement (fig. 117), afin d'éviter leur grippage et de réduire les frottements. La réduction des frottements permet de diminuer les pertes de puissance et l'usure.

La lubrification des moteurs est assurée par de l'huile conduite sous pression vers les organes à lubrifier (fig. 118) : manetons, tourillons, arbre à cames, culbuteurs...

En plus de la fonction essentielle de lubrifier, l'huile de graissage :

- contribue à l'évacuation de la chaleur.
- maintient l'étanchéité par réduction des fuites.
- protège les surfaces contre la corrosion.
- permet l'évacuation, vers le filtre, des résidus de combustion et des particules dues à l'usure.

Les huiles contiennent entre autres, **des additifs détergents et dispersifs** (se reporter au chapitre : les lubrifiants). **Les additifs détergents** évitent la formation de dépôts et **les additifs dispersifs** maintiennent les particules en suspension afin de les conduire vers le filtre avant qu'elles ne se déposent. Le rôle du filtre est à l'évidence complémentaire à l'action de l'huile. Ce filtre vient se visser sur le bloc moteur (fig. 119). Il comprend un élément filtrant placé en série entre la pompe et le circuit de graissage proprement dit. Un clapet by-pass assure la continuité de l'écoulement de l'huile en cas d'un éventuel colmatage du filtre.

**Il est très important de remplacer le filtre, aux échéances prescrites par le constructeur, c'est-à-dire avant l'ouverture du by-pass, sinon la lubrification du moteur s'effectuerait sans filtration.**

Souvent, des injecteurs placés sur la rampe de graissage (fig. 120), projettent de l'huile sous les têtes de pistons afin de les refroidir.

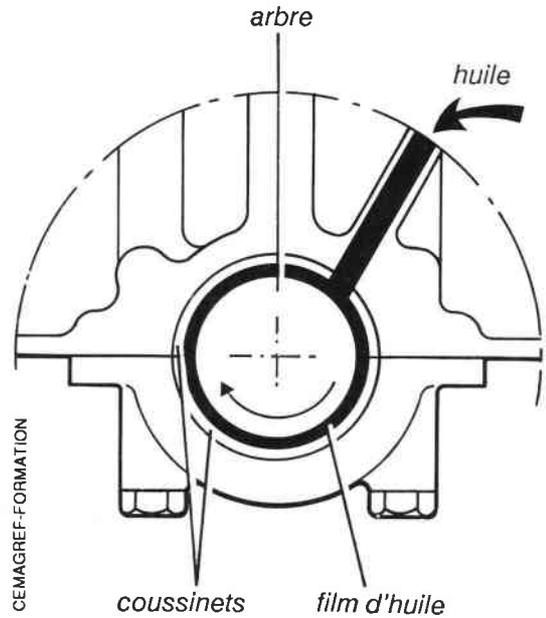


Fig. 117 – Le graissage consiste à interposer un film lubrifiant.

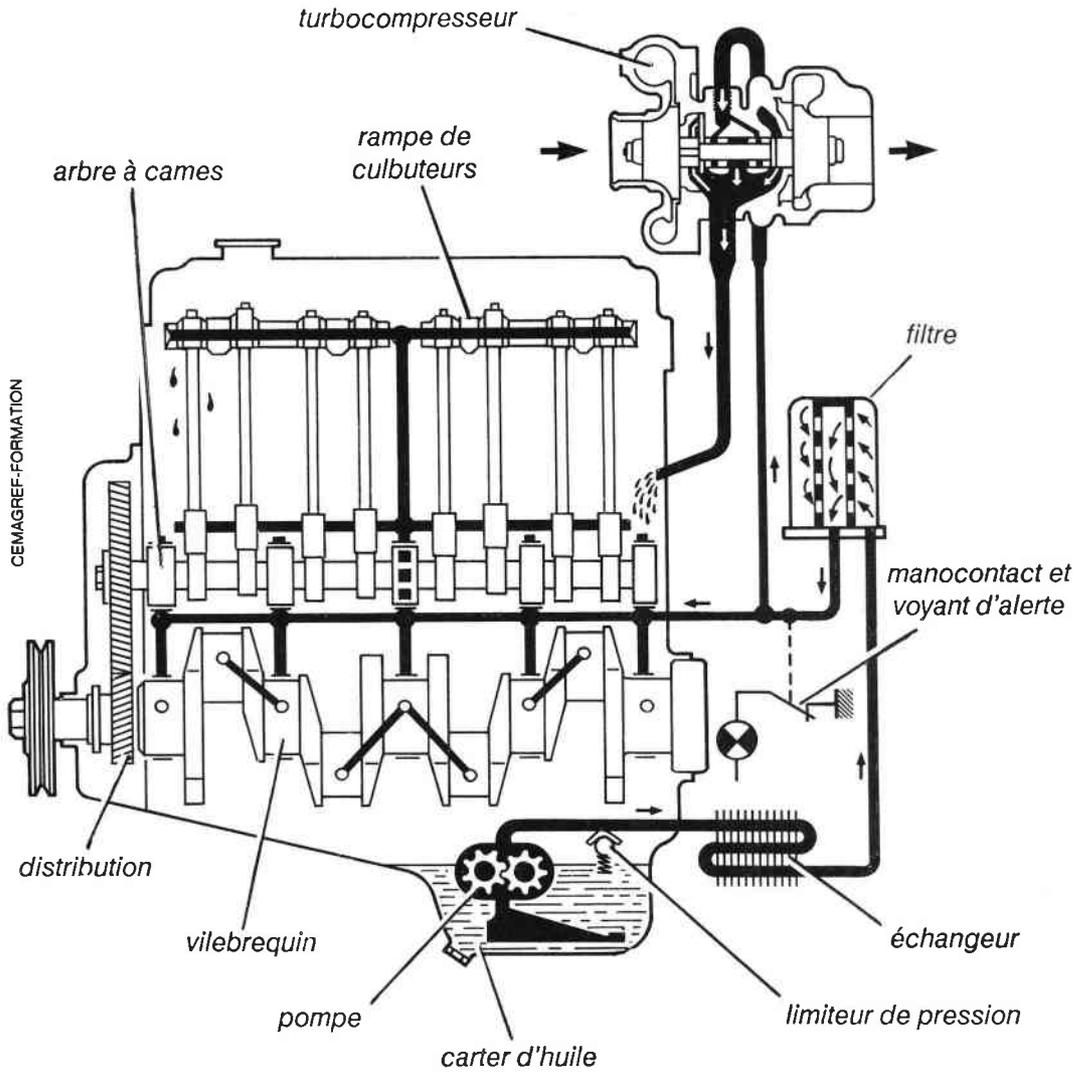


Fig. 118 — Circuit de graissage d'un moteur suralimenté.

L'huile au contact des parties chaudes du moteur, peut atteindre des températures élevées, en particulier dans les moteurs suralimentés. Ceci conduit alors les constructeurs à placer un refroidisseur d'huile. Ce refroidisseur est situé en série sur le refoulement de la pompe. L'échange thermique peut s'effectuer soit avec l'eau de refroidissement du moteur : refroidissement huile-eau, soit avec l'air du ventilateur : refroidissement huile-air.

- **Le refroidissement huile-eau** (fig. 121) est assuré par un échangeur constitué d'un boîtier contenant un faisceau tubulaire. Des joints d'étanchéité séparent les extrémités du faisceau, raccordées au circuit d'eau, avec la partie centrale traversée par l'huile.

Fig. 119 — Filtre à huile.

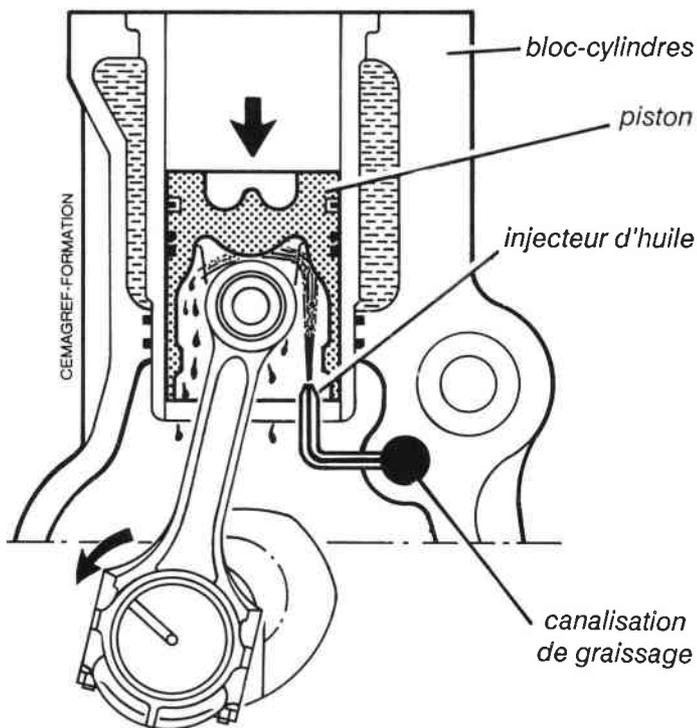
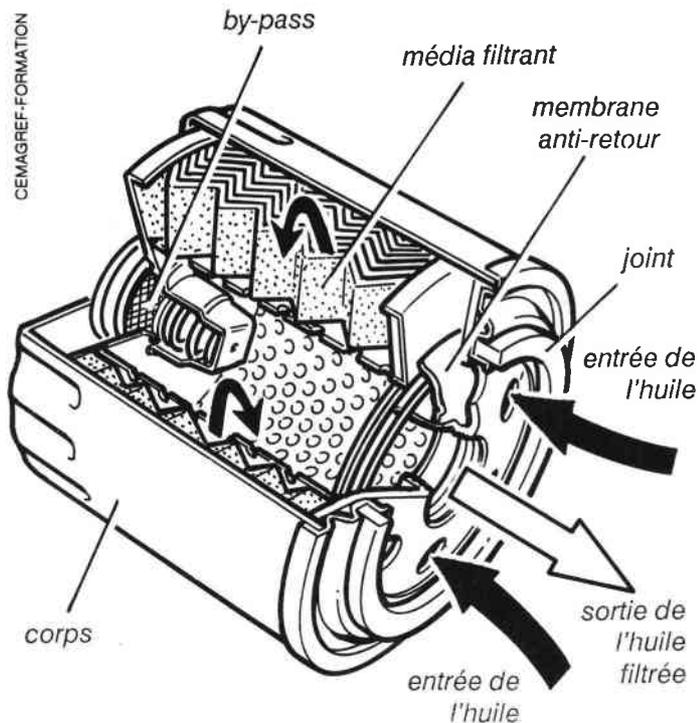


Fig. 120 — Refroidissement d'un piston par injection d'huile.

sortie de  
l'eau

En circulant autour des parois extérieures du faisceau, l'huile de lubrification cède une partie de sa chaleur aux tubes qui sont parcourus par l'eau du circuit de refroidissement du moteur.

- **Le refroidissement huile-air** (fig. 122) comprend un échangeur comparable à un radiateur refroidi par le courant d'air du ventilateur de refroidissement du moteur.

### • LE REFROIDISSEMENT :

Les combustions successives dans les cylindres dégagent beaucoup de chaleur. Les lois de la thermodynamique et l'état actuel de la technologie font que le rendement maximal des moteurs diesel est de l'ordre de 35 %, ce qui signifie que 65 % de l'énergie absorbée par les moteurs est dissipée sous forme de chaleur dans les gaz d'échappement et le système de refroidissement. Les systèmes de refroidissement ont donc pour rôle d'évacuer cette chaleur, afin d'éviter la déformation et le grippage des organes des moteurs. Rappelons, d'autre part, que l'huile ne pouvant supporter des températures supérieures à 150° sans perdre ses qualités lubrifiantes, il faut éviter la formation de points chauds.

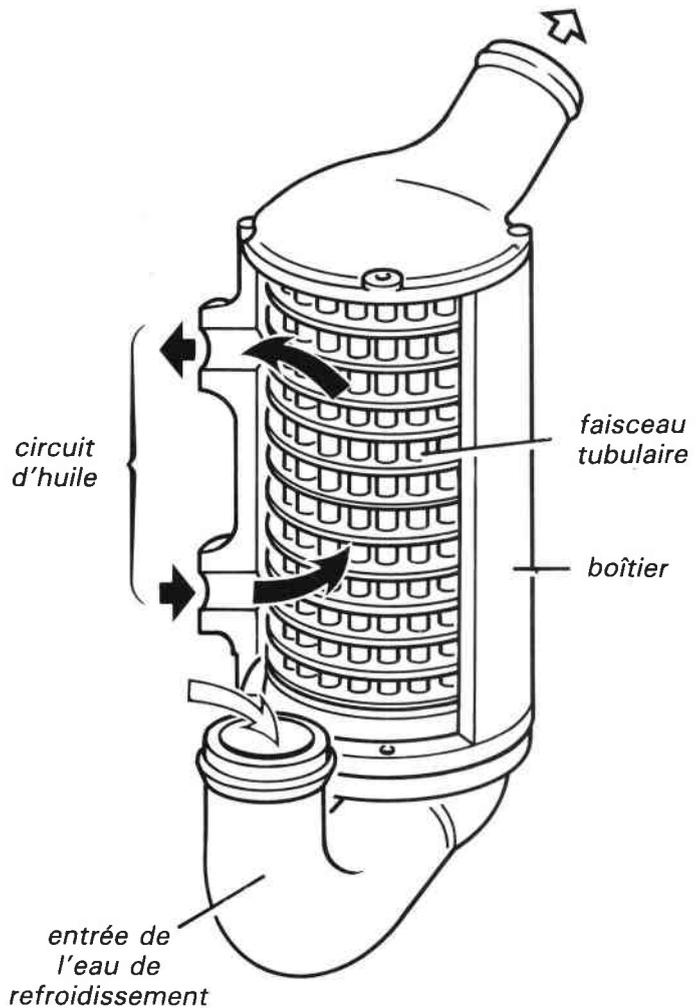


Fig. 121 — Échangeur huile-eau.

Il existe trois moyens pour refroidir un moteur : **le refroidissement par air**, **le refroidissement par eau** (ou, plutôt, dit « par eau », car l'eau est associée à un antigel et à un agent anticorrosif et l'air reste toujours l'agent final de refroidissement), **le refroidissement par huile**.

Dans chaque cas, on utilise un fluide transporteur ou caloporteur : air, eau ou huile, pour évacuer la chaleur excessive du moteur en l'échangeant avec l'air ambiant.

— **Le refroidissement par air** (fig. 123) :

Ce dispositif, souvent adopté pour les moteurs monocylindriques en raison de sa simplicité, est également utilisé par des constructeurs de moteurs diesel plus gros (Same, Deutz,...). Les cylindres et les culasses séparés sont, sur leur face externe, munis d'aillettes (fig. 123). Ces ailettes sont entourées par une gaine qui canalise le courant d'air d'un ventilateur, appelé soufflante, entraîné par le moteur. Ce principe de refroidissement est efficace, à condition toutefois que la gaine d'air et les espaces compris entre les ailettes soient propres.

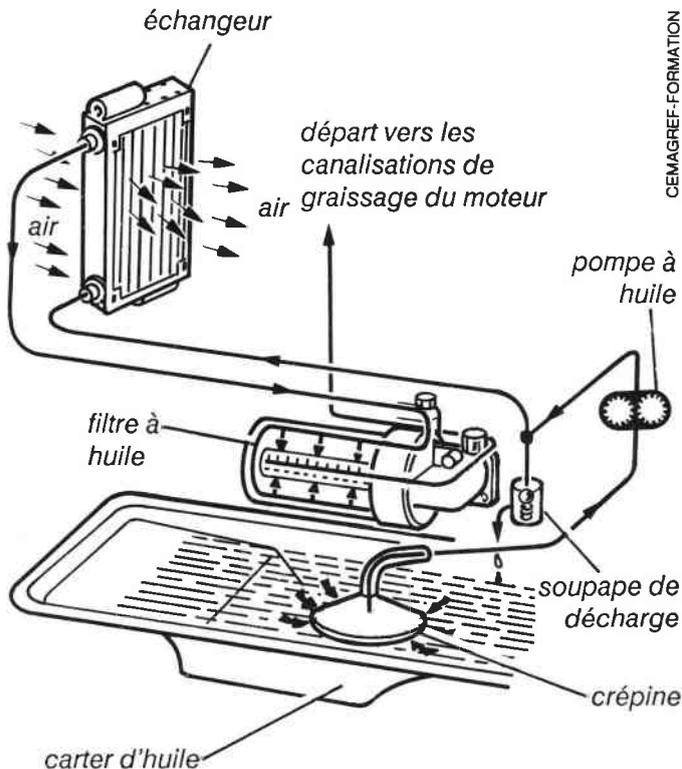


Fig. 122 — Échangeur huile-air.

**Il convient de contrôler périodiquement la tension de la courroie d'entraînement du ventilateur et de veiller à la propreté du moteur, afin d'éviter toute surchauffe.**

— **Le refroidissement par eau** (fig. 124) :

Dans un moteur refroidi par eau (fig. 124), le bloc-cylindres et la culasse comportent des cavités dans lesquelles circule l'eau de refroidissement. Les cavités du bloc-cylindres et de la culasse sont reliées à un radiateur extérieur par des canalisations souples ou « durites ». Le radiateur comporte un important faisceau de fines canalisations dans lesquelles circule l'eau à refroidir. Un courant d'air créé par un ventilateur traverse ce faisceau et active le refroidissement. On accélère le mouvement de l'eau dans le circuit à l'aide d'une pompe à eau qui reprend l'eau du radiateur et l'envoie dans le bloc-cylindres du moteur. Cette pompe à eau est animée par un système poulie-courroie, et prend son mouvement sur la poulie du vilebrequin. Le ventilateur est entraîné par l'arbre de la pompe à eau ou par une transmission séparée avec des courroies.

Le circuit de refroidissement par eau des moteurs comprend également un **thermostat** ou « **calorstat** » (fig. 124). Cet appareil est en fait un clapet automatique fermé au repos et qui ne commence à s'ouvrir pour laisser passer l'eau que lorsque la température atteint 85° C environ. L'ouverture du clapet est commandée par un élément à cire thermodilatable. Le thermostat est situé dans la conduite qui relie la culasse du moteur à la partie supérieure du radiateur. Ainsi, la température du moteur s'élève plus rapidement au démarrage et reste constante en fonctionnement.

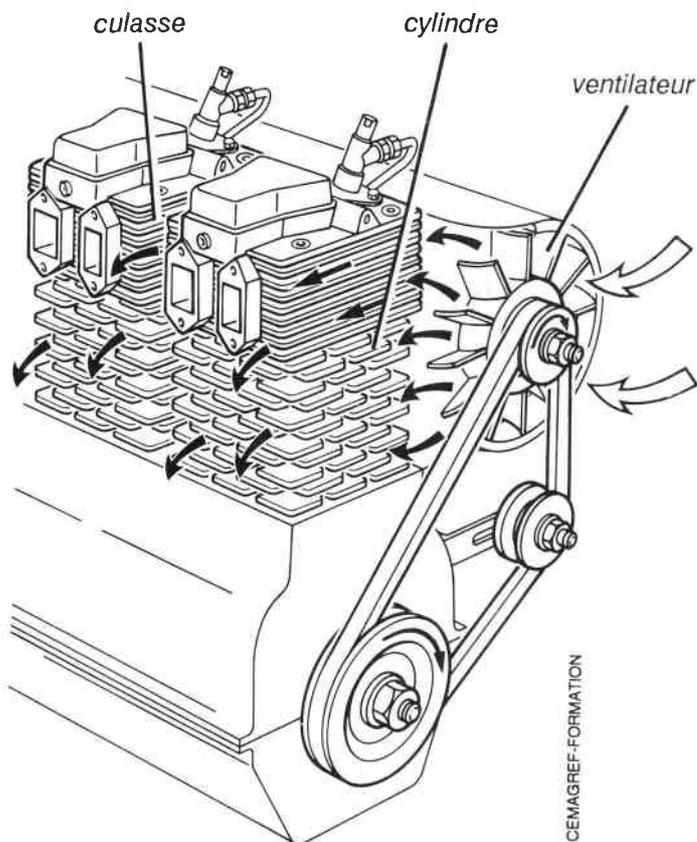


Fig. 123 — Refroidissement par air.

Afin de permettre un fonctionnement, en toute sécurité des moteurs, à une température proche de 100° C, les circuits de refroidissement par eau sont légèrement pressurisés. De plus, un **vase d'expansion** (fig. 124), relié au radiateur, permet de visualiser le niveau du liquide de refroidissement, sa dilatation et son dégazage. Le vase d'expansion est fermé par un bouchon de remplissage muni d'une soupape double action : elle joue le rôle de soupape de sécurité en cas de surpression et de soupape de réaspiration d'air, afin de compenser le retrait de liquide lors du refroidissement.

Compte tenu de la nécessité de protéger d'une part le circuit de refroidissement contre les risques de gel, et d'autre part d'éviter la corrosion interne du moteur, on traite l'eau de refroidissement (eau neutralisée et déminéralisée) avec un produit antigel associé à des additifs anti-corrosion, anti-mousse, anti-cavitation....

La préparation vendue « prête à l'emploi » sous l'appellation « liquide de refroidissement » ou « liquide quatre saisons », est préférable à la réalisation par l'utilisateur d'un mélange d'antigel et d'eau dont il ne connaît pas les caractéristiques. Il existe depuis 1991, une norme française de qualité des liquides de refroidissement, (NFT-15- 601).

Les constructeurs préconisent l'utilisation de ces liquides de refroidissement adaptés aux moteurs modernes qu'il convient par ailleurs de protéger parfois contre un phé-

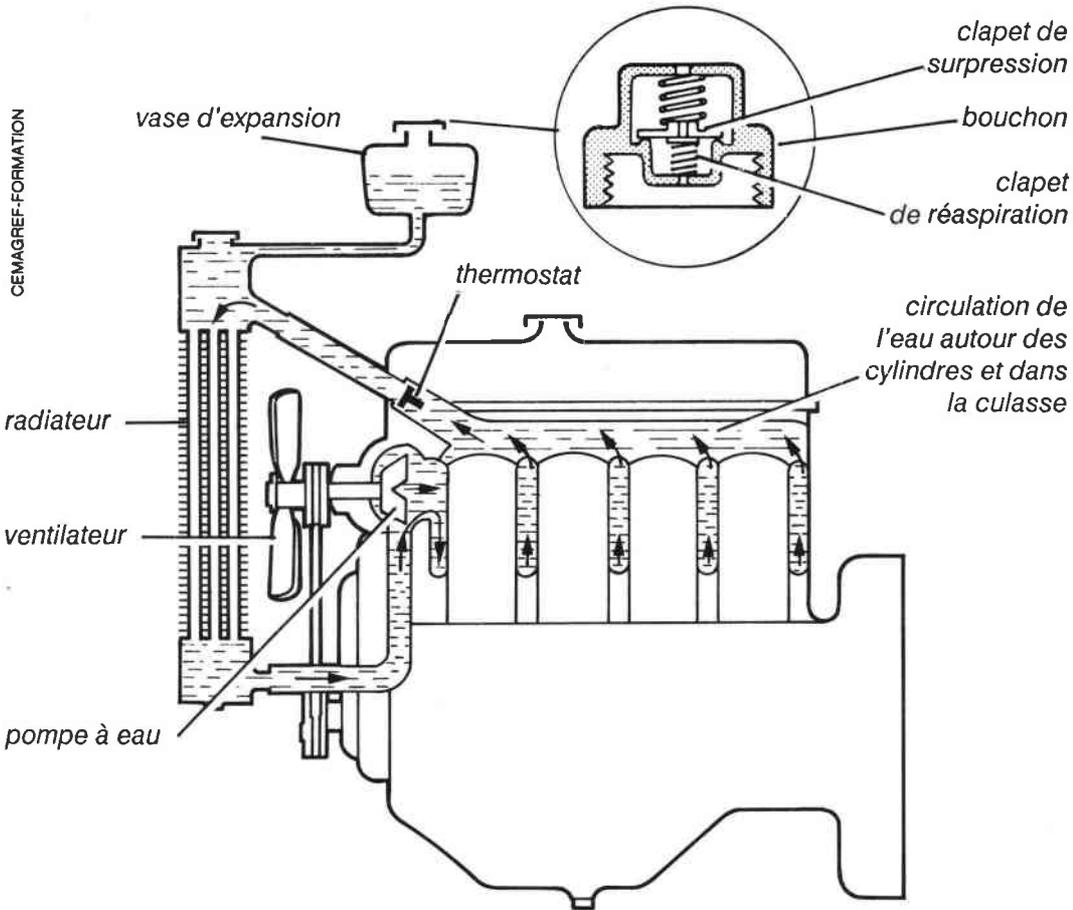


Fig. 124 — Circuit de refroidissement par eau d'un moteur quatre cylindres.

nomène physique appelé **cavitation**. Ce phénomène est engendré, à certains régimes, par les vibrations des chemises, alors attaquées par des ondes de chocs qui parviennent à percer leurs parois. Les moteurs concernés nécessitent un traitement particulier du liquide de refroidissement, pour que celui-ci se débarrasse rapidement des bulles d'oxygène et adhère davantage aux parois.

**Respecter donc les indications du constructeur, concernant la nature du liquide à utiliser et la périodicité de son remplacement.**

**Pendant l'hivernage des matériels, ne jamais laisser vidangé le circuit de refroidissement des moteurs. Le contact de l'oxygène avec les parois internes des moteurs entraîne une corrosion rapide.**

Vérifier souvent le niveau du liquide de refroidissement dans le radiateur ou dans le vase d'expansion, mais ne jamais le remplir à ras bord, car le niveau descend tou-

jours de lui-même à quelques centimètres au-dessous de l'orifice de trop plein et un matelas d'air est nécessaire pour compenser les variations de volume dues à la température.

En cours de travail, si le témoin d'alerte de température s'allume, arrêter immédiatement le moteur et rechercher la cause.

#### — Le refroidissement par huile (fig. 125) :

La réalisation de moteurs de plus en plus performants pose, notamment pour les moteurs refroidis par air, le problème du **refroidissement efficace des hauts de cylindres**.

Certains constructeurs, constatant que l'huile contribue déjà au refroidissement des moteurs, ont imaginé d'accroître son rôle d'agent refroidisseur en le faisant circuler autour des cylindres, de manière à évacuer la chaleur vers l'extérieur en l'échangeant avec l'air ambiant.

La figure 125 montre un moteur qui, outre le circuit de lubrification, possède un second circuit, dérivé du premier, qui assure la circulation de l'huile autour des cylindres.

La chaleur véhiculée par l'huile est échangée dans un radiateur, grâce au courant d'air du ventilateur qui assure par ailleurs le refroidissement des culasses.

D'autres réalisations vont jusqu'au refroidissement intégral du moteur par circulation d'huile qui remplace alors la traditionnelle eau de refroidissement.

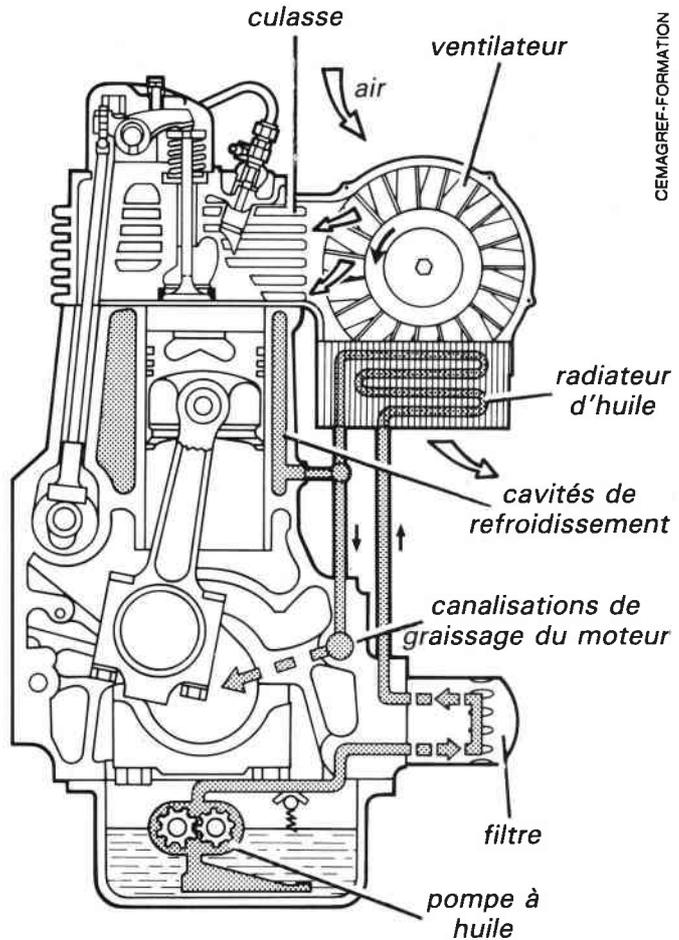


Fig. 125 — Moteur refroidi par huile et par air.

— Les ventilateurs débrayables :

Le refroidissement des moteurs, qu'il soit par air, eau ou huile nécessite un ventilateur. Or ce ventilateur, calculé pour refroidir le moteur à sa pleine puissance, prélève une puissance mécanique non négligeable sur celle fournie par le moteur (3 à 7 %).

Afin de mieux maîtriser l'énergie absorbée par l'entraînement des ventilateurs, certains moteurs sont équipés de ventilateurs débrayables. Parmi les dispositifs utilisés, citons le **visco-coupleur** (fig. 126) qui se situe entre la poulie d'entraînement et le ventilateur lui-même.

Il comprend : un **disque menant** qui peut tourner à l'intérieur d'une **chambre de couplage** formée par les parois menées du moyeu du ventilateur, un **clapet thermostatique**.

Le visco-coupleur contient un **liquide très visqueux**, à base de silicones, qui joue le rôle d'agent de couplage entre le disque et le moyeu.

Lorsque le moteur est à pleine puissance, le courant d'air très chaud venant du radiateur provoque la déformation d'un **bilame** qui commande l'ouverture d'un **clapet**. Le liquide visqueux contenu dans la **chambre d'alimentation** peut alors pénétrer dans

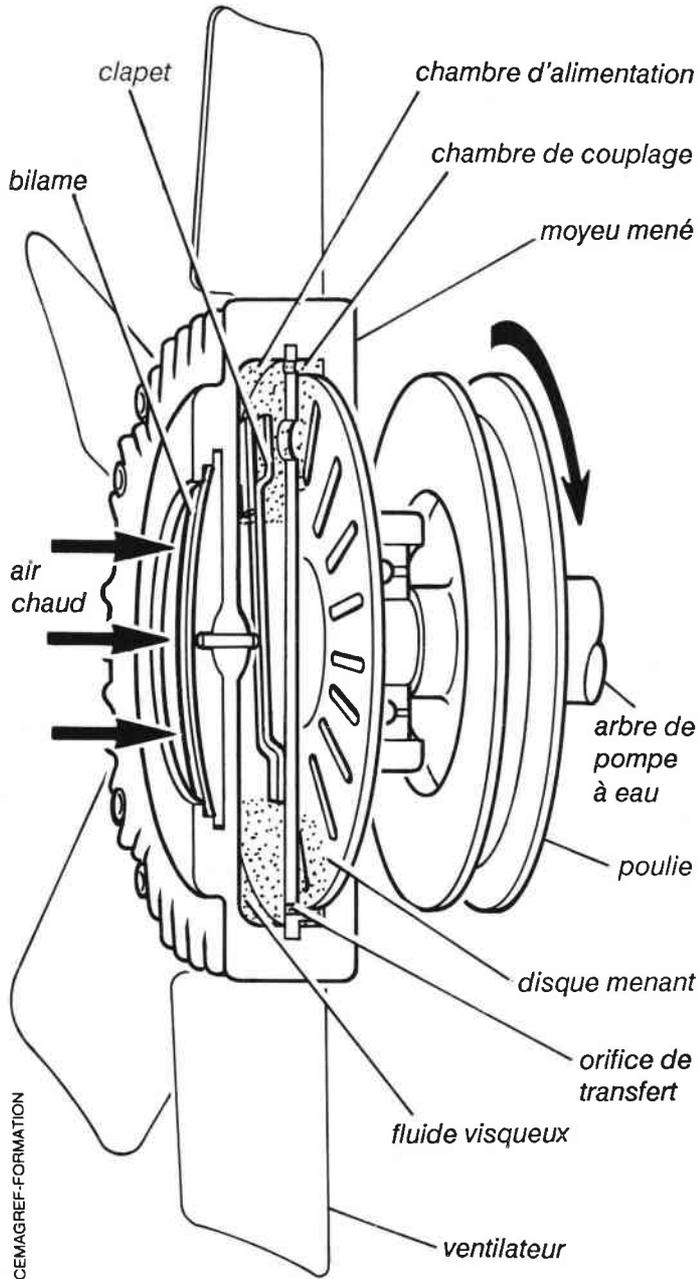


Fig. 126 — Ventilateur associé à un visco-coupleur (position embrayée).

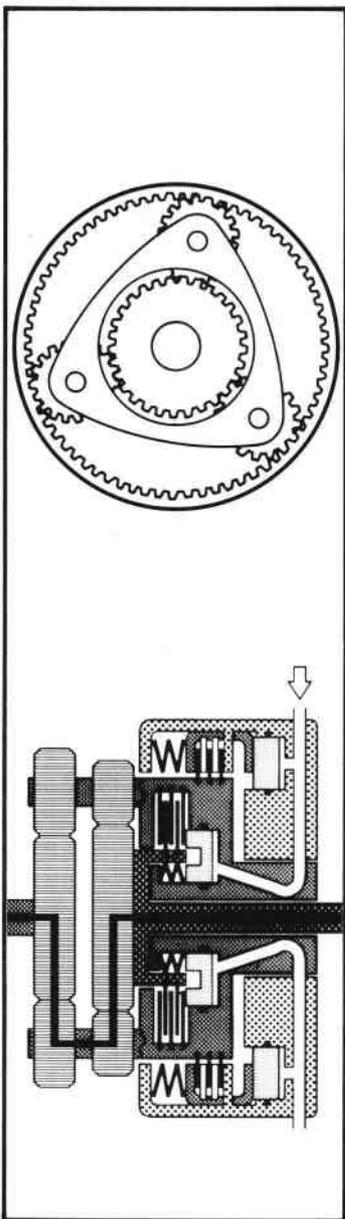
**la chambre de couplage** et s'insérer entre les parois du disque et du moyeu, afin qu'elles s'entraînent avec un très faible glissement.

Au fur et à mesure que le moteur se refroidit, le courant d'air venant du radiateur est moins chaud et le bilame referme peu à peu le clapet. Le liquide quitte alors la chambre de couplage vers la chambre d'alimentation sous l'effet de la force centrifuge, au travers d' **orifices de transfert** placés sur la périphérie de la chambre de couplage.

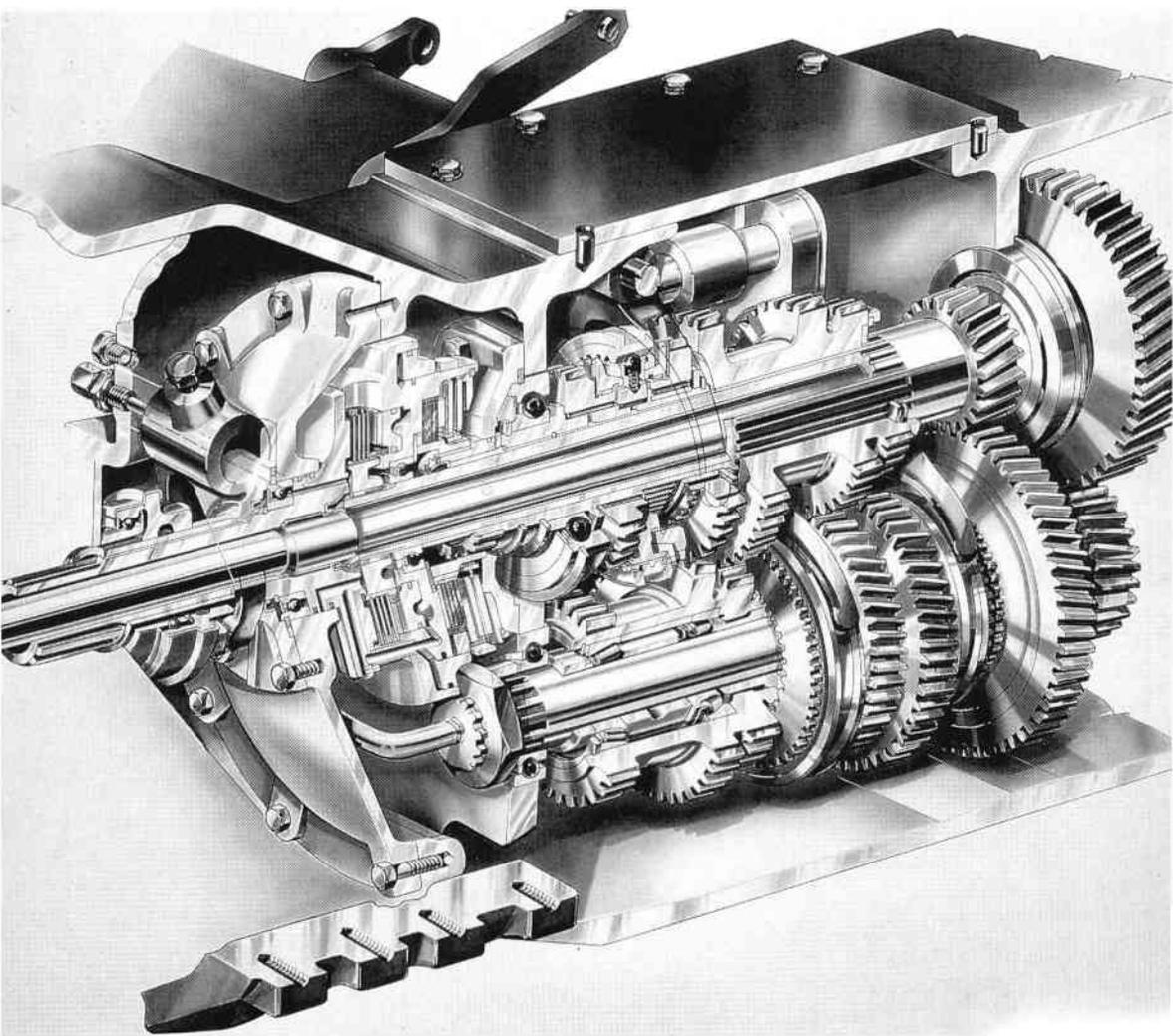
Ceci accroît le glissement du visco-coupleur qui n'entraîne plus alors le ventilateur qu'à vitesse réduite, afin d'éviter un gaspillage inutile d'énergie.

La taille et les caractéristiques des visco-coupleurs sont bien évidemment étudiées pour chaque type de moteur et elles sont prévues de telle manière que le ventilateur tourne toujours suffisamment pour que l'air chaud du radiateur puisse influencer le bilame.





- Rappels de physique  
et de mécanique élémentaires ..... 135
- Le rôle des transmissions ..... 143
- Les embrayages ..... 144
- Les boîtes de vitesses  
conventionnelles ..... 151
- Les amplificateurs de traction  
et les boîtes de vitesses  
« power-shift » ..... 157
- Le pont arrière ..... 163
- Le pont avant ..... 168
- Les automatismes de commande ... 171



**Vue en coupe de l'amplificateur de traction  
et de la boîte de vitesses des tracteurs « winner », FIATAGRI.**

## • RAPPELS DE PHYSIQUE ET DE MÉCANIQUE ÉLÉMENTAIRES :

Rappelons que le système international (S.I) distingue le symbole et l'expression des unités. Par exemple, lorsque le symbole d'unité « tr/mn » est associé à une valeur, (2 000 par exemple), l'expression s'écrit : 2000 tr.mn-1. L'intérêt de cette disposition étant surtout de faciliter les calculs, l'ensemble des unités de cet ouvrage ont été identifiées uniquement par leur symbole.

### – Force (fig. 127) :

On appelle **force (F)**, toute cause qui a pour effet de modifier l'état de repos ou de mouvement d'un corps ou de provoquer sa déformation. Elle s'exprime en **Newton (N)**.

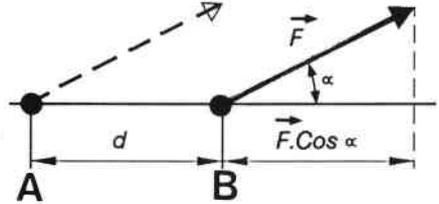


Fig. 127 – Travail d'une force.

Une force est définie par quatre caractéristiques :

- son point d'application,
- sa direction grâce à sa droite d'action,
- son sens,
- son intensité.

On la représente graphiquement (fig. 127) par un vecteur dont la longueur est proportionnelle à son intensité.

### – Le travail d'une force (fig. 127) :

Dans le cas d'une force constante en direction, sens et intensité, le **travail (W)** correspond au produit de l'intensité de la **force (F)** par la projection du **déplacement (d)** du point d'application sur la direction de la force.

$$W = F.d.\cos \alpha$$

W en Joule, F en Newton et d en mètre.

L'unité de travail est le **Joule (J)**.

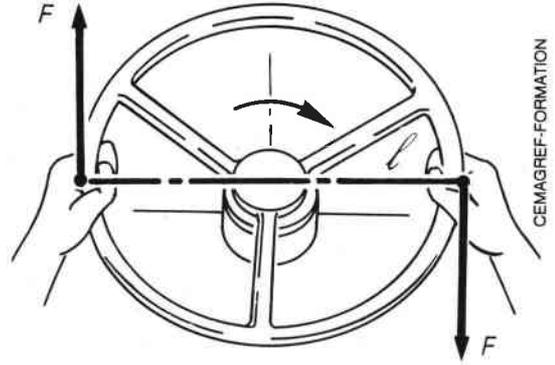
### – La pression :

Quotient de la force exercée par un solide ou un fluide sur une surface, par la mesure de cette surface. La pression s'exprime en **Pascals (Pa)** ; 1 Pa correspond à la pression

engendrée par une force de 1 N agissant sur une surface de 1 mètre carré. Les multiples du Pa sont le **bar** et le **mégapascals** (MPa). Un bar est égal à 100 000 Pa et un MPa égal à 1 000 000 Pa.

– **Le moment d'un couple** (fig. 128) :

En physique, on appelle **couple** par exemple, deux forces égales et de sens opposé agissant perpendiculairement aux extrémités d'un bras de levier. Le **moment du couple** correspond au produit de l'intensité d'une de ces forces (F) par la longueur du bras de levier (l) :



CEMAGREF-FORMATION

$$\text{Moment du couple} = F \times \text{longueur du levier}$$

Fig. 128 – Le moment d'un couple.

$$M_c = F.l$$

L'unité du moment d'un couple est le **Newton.mètre (N.m)**.

De manière impropre, le langage courant associe le terme couple à tous les systèmes mettant en œuvre une force et une rotation. Dans ce sens, le terme couple du langage courant est équivalent au moment du couple défini ci-dessus. Dans le cas d'une roue motrice par exemple, le couple correspond au produit de la force de traction apparaissant au contact parallèlement au sol, par le rayon de la roue sous charge.

$$M_c = F.r$$

Il convient de rappeler qu'un **couple moteur** est la conséquence d'un **couple résistant** (résistance au roulement, résistance d'une charrue au labour...). Il en découle les conséquences suivantes :

- la **vitesse est constante** lorsque le couple moteur est égal au couple résistant.
- Il y a **accélération** lorsque le couple moteur est supérieur au couple résistant.
- Il y a **ralentissement** si le couple résistant est supérieur au couple moteur.

– **Le travail d'un couple** :

On montre que le **travail (W) d'un couple** est égal au produit du **moment du couple (Mc)** par le **déplacement angulaire** exprimé en **radians (rad)**.

L'unité de travail d'un couple est le **Joule (J)**.

$$W = M_c.\alpha = F.r.\alpha$$

— **La vitesse :**

Distance linéaire parcourue pendant l'unité de temps et exprimée en **mètres par seconde (m/s)**. Pour les informations indicatives on utilise aussi les kilomètres par heure (km/h).

— **Le régime :**

Vitesse de rotation d'un corps tournant autour d'un axe, exprimée en nombre de tours par unité de temps (tours par minute (tr/mn), par exemple).

— **La vitesse angulaire :**

Exprimée en **radians par seconde (rad/s)**, c'est la vitesse ( $\omega$ ) d'un corps, qui animé d'une rotation uniforme autour d'un axe, tourne en une seconde de un radian (1 tr/mn =  $2 \pi$  radians par minute = 0,104 rad/s ).

— **La puissance :**

Une **puissance (P)** correspond à une quantité de travail produite ou dépensée pendant l'**unité de temps (t)**, exprimée en secondes (s). L'unité légale de puissance est le **WATT** ( $1W = 1 J/s$ ), et son multiple le kW. Le cheval (ch) est l'ancienne unité de puissance ( $1 ch = 0,736 kW$ ).

$$P = \frac{W}{t}$$

Dans le cas du travail d'un couple, la puissance correspond au produit du moment du couple ( $M_c$ ) par la vitesse angulaire ( $\omega$ ).

$$P = \frac{W}{t} = M_c \cdot \frac{\alpha}{t} = M_c \cdot \omega$$

CEMAGREF-FORMATION

— **La transmission de la vitesse**

(fig. 129) :

Une transmission mécanique élémentaire est constituée de deux pignons de diamètres différents s'engrénant parfaitement (se reporter également au chapitre : les boîtes de vitesses). Dans le cas d'une réduction, le pignon de plus petit diamètre (**pignon menant**) entraîne le pignon de plus grand diamètre (**pignon mené**). On observe que la vitesse de rotation du pignon mené est plus faible.

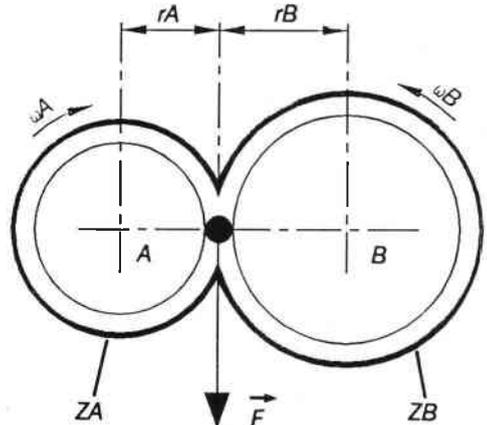


Fig. 129 — Transmission élémentaire.

Le rapport entre la vitesse angulaire est appelé « **raison** » du train d'engrenages :

$$\frac{\omega_B}{\omega_A} = -r$$

Il est convenu que  $r$  est négatif puisque A et B tournent en sens inverse.

Il existe une relation étroite entre la vitesse angulaire des pignons et leur nombre de dents : **le rapport des vitesses de rotation de deux engrenages est égal au rapport inverse de leur nombre de dents**. Si le nombre de dents de deux pignons est  $Z_A$  et  $Z_B$ , leur vitesse de rotation  $\omega_A$  et  $\omega_B$ , et s'ils tournent en sens inverse :

$$r = \frac{\omega_B}{\omega_A} = \frac{-Z_A}{Z_B}$$

**Ceci revient à écrire qu'il passe, « au point de contact », le même nombre de dents pour chacun des pignons pendant un temps donné.**

Pour plusieurs pignons, on définit la raison du train d'engrenages comme le rapport entre les vitesses angulaires de sortie ( $\omega_f$ , finale) et d'entrée ( $\omega_i$ , initiale), et comme le rapport entre le produit du nombre de dents menantes et le produit du nombre de dents menées :

$$r = \frac{\omega_f}{\omega_i} = \frac{\text{produit du nombre de dents menantes}}{\text{produit du nombre de dents menées}}$$

avec la même convention de signe : positif si les rotations sont dans le même sens, et négatif dans le cas contraire.

#### — La transmission du couple (fig. 129) :

Les pignons se comportent comme des leviers. Lorsque deux pignons (A et B) de diamètres différents s'engrènent, le point de contact de leur denture est le point d'application d'une force tangentielle ( $F$ ). Ainsi, sur la figure 129, le couple mesuré au pignon (A) est égal à  $F \cdot r$  et le couple (B) égal à  $F \cdot R$ . Le couple du pignon B est plus important que celui de A, car le rayon ( $R$ ) de (B) est plus élevé (bras de levier plus long).

La puissance transmise correspond au produit  $P = C \cdot \omega$  avec  $P$  en Watt,  $C$  en mdaN et  $\omega$  en rad/s.

Si on suppose la puissance constante, on peut admettre que  $P_A = P_B = C_A \cdot \omega_A = C_B \cdot \omega_B$ , soit :

$$\frac{C_A}{C_B} = \frac{\omega_B}{\omega_A}$$

— **La transmission de la puissance :**

La puissance est transmise par les transmissions qui doivent permettre d'**adapter le couple et la vitesse aux conditions de travail**. Prenons l'exemple d'un tracteur à deux roues motrices ayant les caractéristiques suivantes :

- puissance nominale du moteur, 73,9 kW (ISO) à 2 300 tr/mn,
- couple nominal du moteur, 307 N.m,
- rendement de la transmission : 0,9 (90 %),
- rayon sous charge des roues motrices au travail : 0,85 m.

Si au travail, la puissance nominale du moteur est entièrement utilisée pour tirer une charrue à 6,6 km/h, le couple alors appliqué aux roues motrices et l'effort de traction peuvent être évalués par le calcul suivant :

- **la puissance** de traction disponible sur chaque roue motrice est :

$$\frac{73\,900 \times 0,9}{2} = 33\,255 \text{ Watt}$$

- **la vitesse** des roues est :  $\frac{6\,600}{3\,600} = 1,83 \text{ m/s}$

soit une vitesse angulaire de :  $\frac{1,83}{0,85 \times 2 \times \pi} \times 2\pi = 2,15 \text{ rad/s}$

- **le couple** appliqué à chaque roue est :  $\frac{33\,255}{2,15} = 15\,467 \text{ N.m}$

— **l'effort de traction** théorique, en ligne droite et sans tenir compte des pertes par roulement est :

$$\frac{15\,467}{0,85} \times 2 = 36\,393 \text{ N}$$

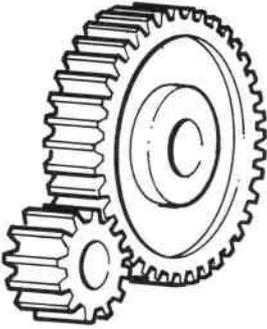
**La différence importante entre le couple aux roues et le couple moteur montre l'importance de la transmission d'un tracteur. Elle doit permettre l'adaptation de la puissance aux conditions de travail en privilégiant le couple, facteur essentiel de la traction.**

— **Les engrenages** (fig. 130) :

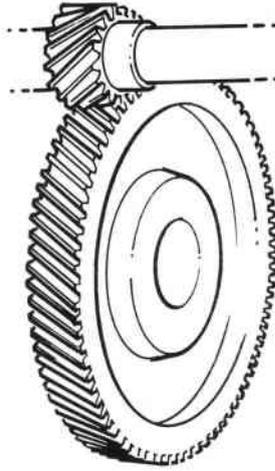
- **Les engrenages à denture cylindrique droite** sont les plus anciens. Ils se caractérisent par un bruit d'engrènement caractéristique.

- **Les engrenages à denture hélicoïdale**, cylindrique ou conique sont très utilisés. Leur denture est plus silencieuse.

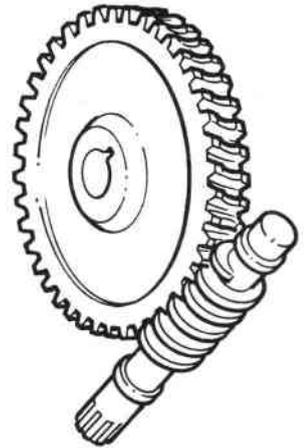
**Pignons cylindriques  
à denture droite**



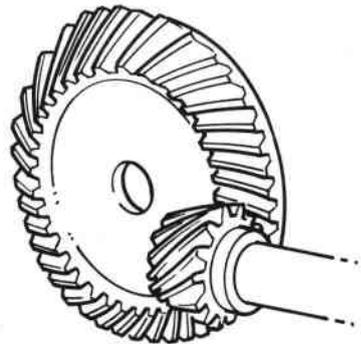
**Pignons cylindriques  
à denture hélicoïdale**



**Couronne dentée  
et vis sans fin**



**Pignons coniques  
hélicoïdaux**



**Pignons hypoïdes**

CEMAGREF-FORMATION

Fig. 130 – Différents types d'engrenages.

– Les trains épicycloïdaux ou trains planétaires (fig. 131) :

Un train épicycloïdal simple est constitué de quatre éléments principaux :

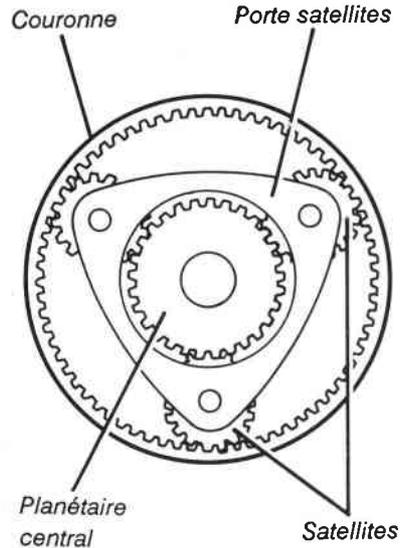
- un pignon central appelé planétaire ou pignon solaire,
- des satellites (au nombre de 3 ou 4),

- un porte-satellites,
- une couronne extérieure à denture interne.

On peut capter un mouvement de rotation sur trois éléments : le planétaire, le porte-satellites et la couronne. Pour pouvoir faire fonctionner le système, il faut obligatoirement bloquer grâce à un frein un de ces trois éléments afin d'entraîner un des deux restant et de récupérer le mouvement sur le dernier élément.

L'intérêt d'un tel dispositif est de pouvoir réaliser **sept combinaisons différentes de vitesses** et de sens de rotation selon le rôle attribué à chacun des éléments décrits ci-dessus.

Le tableau ci-après indique ces différentes combinaisons :



CEMAGREF-FORMATION

Fig. 131 – Principe d'un train épicycloïdal.

Élément d'entrée	Élément immobile	Élément de sortie	Résultat obtenu
pignon solaire	couronne	porte-satellites	réducteur 1
pignon solaire	porte-satellites	couronne	inverseur-réducteur
porte-satellites	couronne	pignon solaire	multiplicateur 1
porte-satellites	pignon solaire	couronne	multiplicateur 2
couronne	pignon solaire	porte-satellites	réducteur 2
couronne	porte-satellites	pignon solaire	inverseur-multiplicateur
couronne, porte-satellites ou pignon solaire solidaires			prise directe

**- Étude simplifiée d'un train épicycloïdal :**

Pour étudier un train épicycloïdal on utilise la « **formule de Willis** » que l'on admettra ici sans démonstration.

Prenons l'exemple du train épicycloïdal de la figure 131, dont les caractéristiques sont :

- $Z_p$  : pignon central (31 dents),
- $Z_s$  : satellite (10 dents),
- $Z_c$  : couronne (51 dents),
- $\omega_p$  : vitesse angulaire du pignon central,

- $\omega_s$  : vitesse angulaire d'un satellite,
- $\omega_{ps}$  : vitesse angulaire du porte-satellites,
- $\omega_c$  : vitesse angulaire de la couronne.

Lorsque le porte-satellites est fixe et si le pignon central est moteur et la couronne réceptrice, la formule de Willis ne s'applique pas (train non épicycloïdal). La raison du train est :

$$r = \frac{\omega_c}{\omega_p} = \frac{-Z_p}{Z_c} = \frac{-31}{51} = 0,608$$

Si la couronne est motrice, le pignon central immobile ( $\omega_p = 0$ ) et le porte-satellites récepteur, la formule de Willis s'applique :

$$\frac{\omega_p - \omega_{ps}}{\omega_c - \omega_{ps}} = \frac{-Z_c}{Z_p} = 1,645$$

c'est-à-dire :  $\frac{-\omega_{ps}}{\omega_c - \omega_{ps}} = \frac{-Z_c}{Z_p} = r$

$$-\omega_{ps} = -1,645. (\omega_c - \omega_{ps})$$

$$-\omega_{ps} = -1,645. \omega_c + 1,645. \omega_{ps}$$

$$1,645. \omega_c = 2,645. \omega_{ps}$$

$$\frac{\omega_{ps}}{\omega_c} = \frac{1,645}{2,645} = 0,622$$

Quand la couronne motrice effectue un tour, le porte-satellite effectue 0,622 tour dans le même sens (réducteur). Tous les autres cas s'étudient de la même façon, en appliquant la formule de Willis.

En règle générale, le nombre de dents des différents éléments suit la règle :  $Z_c = Z_p + 2 Z_s$ .

### – La friction (fig. 132) :

La friction est un phénomène physique agissant, par exemple, au niveau d'un **embrayage**. Elle se manifeste lorsque les surfaces de pression et le disque de l'embrayage (disque de friction) entrent en contact. Des frottements sont nécessaires pour permettre une adhérence progressive. Cependant, ces frottements ne doivent pas être prolongés afin de limiter un échauffement excessif nuisible pour le disque et les surfaces de pression.

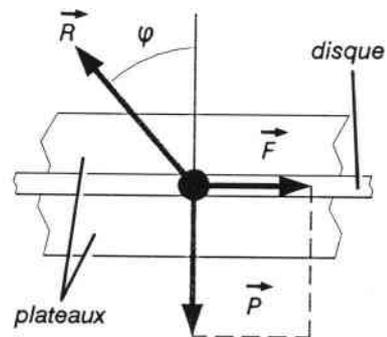


Fig. 132 – La friction.

La figure 132 montre le principe simplifié d'un embrayage (se reporter aussi au chapitre : les embrayages). Les deux **plateaux de pression** s'appliquent sur **un disque** par l'intermédiaire de ressorts ayant une poussée totale P. Ces plateaux entraînent le disque en rotation suivant **un effort (F)** correspondant au couple moteur (fig. 132). On observe que **la résultante (R) des forces** est oblique et que les grandeurs précédentes sont liées par la relation :

$$P = F.tg\phi, P \text{ et } F \text{ étant exprimés en Newton.}$$

On se place dans la situation où les plateaux de pression viennent affleurer le disque, c'est-à-dire au début de la friction. La valeur du coefficient d'adhérence ( $tg\phi$ ) varie de 0 à 1 mais dans le cas d'un embrayage, il est de l'ordre de 0,3 à 0,4 ce qui est assez faible.

Pour le calcul du couple transmissible ( $M_c$ ), on prend en compte, la force (F) au niveau du rayon moyen (r) du disque d'embrayage et le nombre de disques (chaque disque présentant deux faces) :

$$M_c = P.tg\phi.r.2n$$

Prenons un exemple :

Pour un disque de 0,16 m de rayon moyen appliqué avec une poussée de 2000 N et une tangente  $\phi$  de 0,3, le couple transmissible est :

$$2\ 000 \times 0,3 \times 0,16 \times 2 = 192 \text{ N.m}$$

Le couple transmissible d'un embrayage dépend du rayon du disque, de la poussée des ressorts du mécanisme, du coefficient d'adhérence entre les garnitures et les plateaux de pression et du nombre de disques.

## • LE RÔLE DES TRANSMISSIONS :

Depuis leur apparition, les tracteurs agricoles n'ont cessé d'évoluer afin de s'adapter aux exigences de l'agriculture moderne : accroissement des puissances, réduction des durées et des coûts des travaux, amélioration des conditions de travail...

Véritables fils conducteurs de la puissance, les transmissions doivent être adaptées de manière à permettre l'utilisation optimale des potentialités des moteurs, tout en apportant le confort et la polyvalence d'utilisation souhaités, (se reporter aussi à l'annexe documentaire).

Les transmissions sont constituées par l'ensemble des dispositifs mécaniques de la **chaîne cinématique** reliant le moteur aux organes récepteurs : roues motrices, prises de force...

La transmission du mouvement, assurée par des engrenages ou des trains d'engrenages, s'effectue soit selon un rapport constant déterminé à la construction (couple conique, réducteurs...), soit selon des rapports différents sélectionnés par le conducteur au niveau des **boîtes de vitesses**.

La modification de vitesse entre un arbre menant et un arbre mené nécessite généralement **l'interruption de la transmission pour changer de rapport** et, par conséquent, **de faire intervenir un embrayage**. Il n'y a pas de plage continue de variation, mais simplement plusieurs rapports de vitesse déterminés. Pour chaque rapport, la vitesse finale ne peut alors varier qu'en fonction du régime du moteur.

Les transmissions utilisent soit des boîtes de vitesses où le changement de rapport s'effectue après débrayage, **soit sous charge**, c'est-à-dire sans interruption de l'effort de traction.

Rappelons que si une transmission réduit le régime de l'arbre mené par rapport à l'arbre menant, le couple transmis est augmenté, et inversement, car c'est la puissance transmise qui reste constante :  $P = c.\omega$  (aux pertes de transmission près !).

La figure **133** montre le schéma de principe d'une transmission de tracteur agricole qui comprend : **l'embrayage principal, un amplificateur de traction, un inverseur mécanique, une boîte de vitesses à 4 rapports synchronisés, une boîte de présélection de gamme (2 rapports), le pont arrière avec son blocage de différentiel, des freins immergés, des réducteurs finals épicycloïdaux et un pont avant**.

Pour plus de clarté, les principaux éléments de la chaîne cinématique des tracteurs sont successivement étudiés dans les pages suivantes en six chapitres distincts : **embrayages, boîtes de vitesses conventionnelles, amplificateurs de traction, boîtes power-shift, ponts arrière et avant et les automatismes de commande**.

## • LES EMBRAYAGES :

Selon les applications, les tracteurs peuvent être équipés d'**embrayages à sec** du type **monodisque, bi-disque**, double **effet** à commande unique ou à commandes séparées, et d'**embrayages multidisque** fonctionnant le plus souvent dans l'huile.

Situé entre le moteur et la transmission, l'embrayage principal permet : le démarrage du moteur, l'accouplement et le désaccouplement du moteur de la transmission et le passage des vitesses. L'action d'embrayer s'accompagne d'une friction qui permet la progressivité de l'accouplement.

### — Les embrayages à sec à simple effet (fig. 134) :

Les embrayages à simple effet sont en général du **type mécanique monodisque**. L'élément mené est constitué par un **disque d'acier** (fig. 135) qui, pour les applications les plus courantes, est muni sur ses deux faces de **garnitures de friction**. Ces garnitures

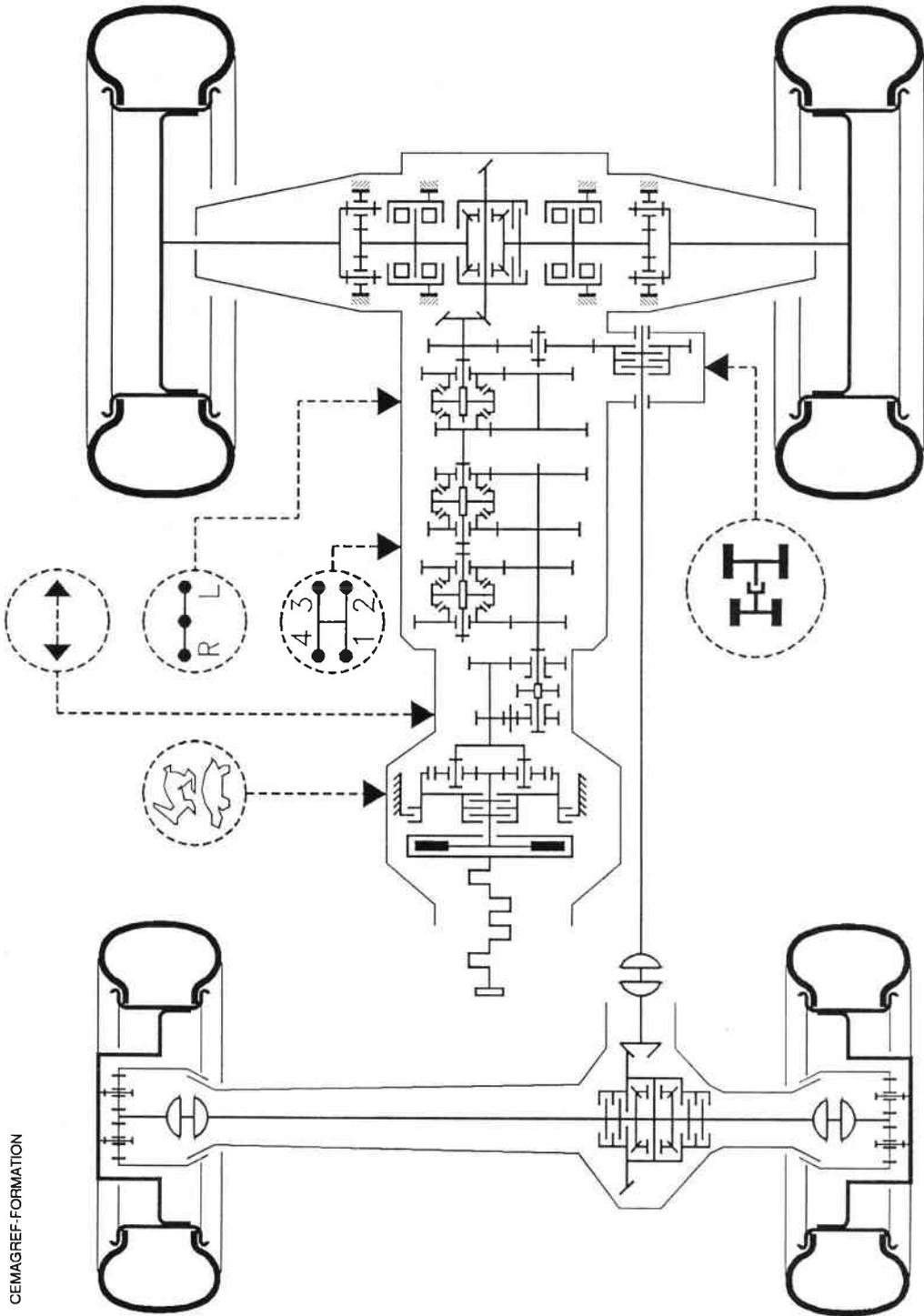


Fig. 133 — Chaîne cinématique d'un tracteur à quatre roues motrices  
(la prise de force n'est pas représentée).

sont soit réalisées en matériaux **composites**, soit en **matériaux céra-métalliques** :

— les **garnitures composites** sont composées de matières thermo-résistantes agglomérées à des fibres métalliques et à des résines.

— les **garnitures céra-métalliques** se présentent sous la forme de pastilles ou de plaquettes constituées d'une matrice, généralement en **bronze fritté**, contenant des matières dites « **céramiques** » à base de **silicates** ou **d'oxydes métalliques** très réfractaires.

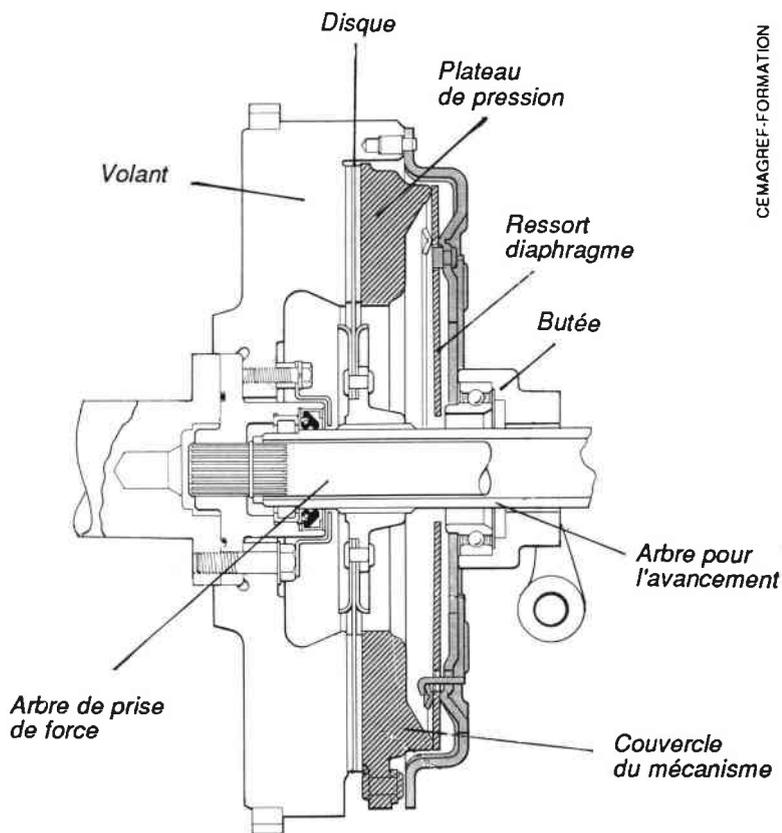


Fig. 134 — Embrayage monodisque à sec.

Ces matériaux sont utilisés là où les conditions de service des matériels sont sévères.

Dans les deux cas, le disque est solidaire d'un moyeu pouvant coulisser, sans tourner sur son arbre, grâce à des cannelures. L'extrémité de l'arbre est supportée par un roulement de centrage disposé dans un alésage au centre du volant. La partie menante comprend un **plateau de pression** qui vient serrer le disque d'embrayage contre la face rectifiée du volant et cela au moyen de ressorts tarés disposés en butée contre le mécanisme d'embrayage. De plus en plus, les ressorts hélicoïdaux sont remplacés par un **diaphragme** (fig. 134) qui fait à la fois office de ressort et de doigt de commande. Le diaphragme est constitué d'une couronne métallique incurvée et élastique comprenant des lamelles.

Lorsque le conducteur appuie sur la pédale pour débrayer, le mouvement est transmis à une **fourchette** qui pousse une **butée à billes** contre le centre du **diaphragme**. La déformation de ce dernier écarte le **plateau de pression** et libère le disque mené. Lors de l'embrayage, la force de rappel du diaphragme comprime le plateau et le disque contre le volant. Selon les cas, la butée peut être commandée mécaniquement ou hydrauliquement.

Sur la figure 134 on observe un deuxième arbre central qui est solidaire en rotation du volant moteur. Il s'agit de l'arbre de commande d'une **prise de force totalement indépendante** qui dispose d'un embrayage multidisque séparé.

Les principales qualités de l'embrayage sont la progressivité, la possibilité de transmettre des couples très importants sans patiner et enfin une résistance suffisante à l'échauffement et à l'usure.

La **progressivité** d'un embrayage est liée à la **composition de ses garnitures de friction** et aussi à la présence, sur le disque lui-même, d'un dispositif **amortisseur de torsion** (fig. 135).

Le **couple transmissible** (se reporter au chapitre : rappels de physique) par l'embrayage **dépend du diamètre de son disque**, de la **largeur de ses garnitures de friction** et de la **poussée exercée par les ressorts** (celle-ci déterminant elle-même la pression du plateau sur les garnitures). Le couple transmis peut diminuer par suite de l'amincissement dû à l'usure des garnitures. **La pression de serrage devient alors plus faible** et l'embrayage, une fois en charge, risque de patiner.

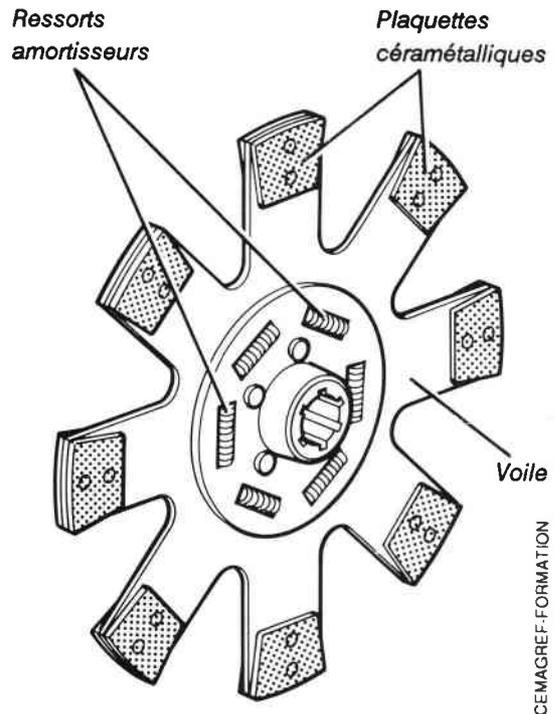


Fig. 135 — Disque d'embrayage à plaquettes céramétiques.

CEMAGREF-FORMATION

#### — Les embrayages à sec à double effet (fig. 136) :

Ce type d'embrayage permet la commande successive de l'avancement du tracteur et de l'animation de la prise de force. Il est essentiellement utilisé sur des tracteurs du parc ancien, en raison de la gêne provoquée par la nécessité de débrayer l'avancement du tracteur avant la prise de force. Il comporte deux arbres concentriques solidaires chacun d'un disque d'embrayage. L'arbre **intérieur** constitue l'arbre primaire de la boîte de vitesses, tandis que l'arbre extérieur actionne la prise de force.

#### — Embrayage double à commande séparée (fig. 137) :

Il s'agit d'un embrayage à double disque fonctionnant à sec, l'un des disques étant solidaire de l'arbre primaire de la boîte de vitesses et l'autre solidaire de l'arbre de prise de force, comme dans le système à double effet.

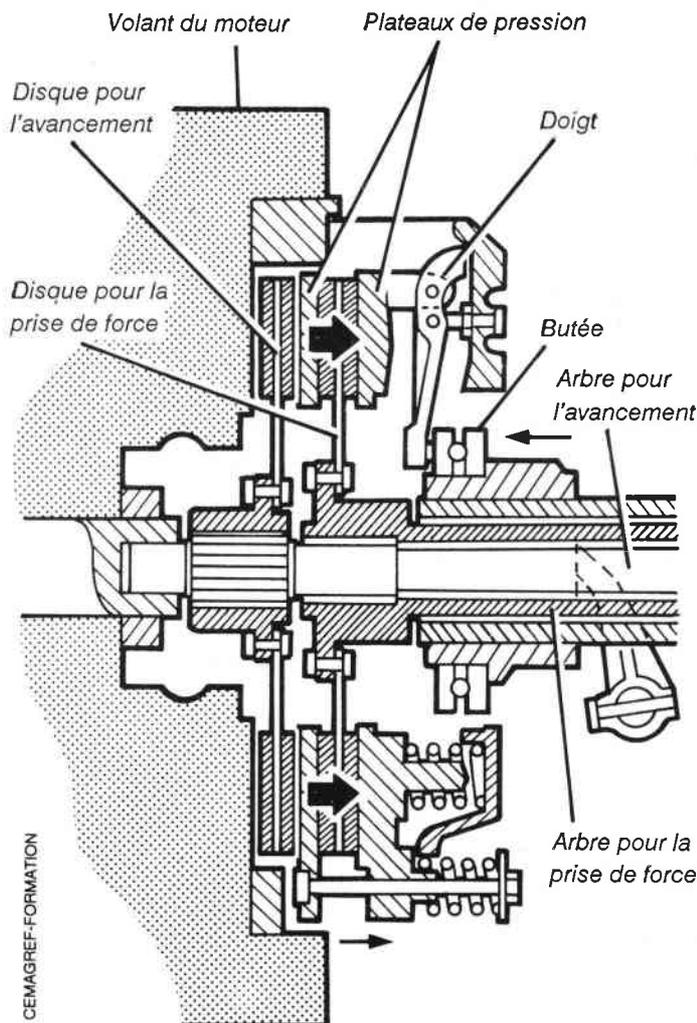


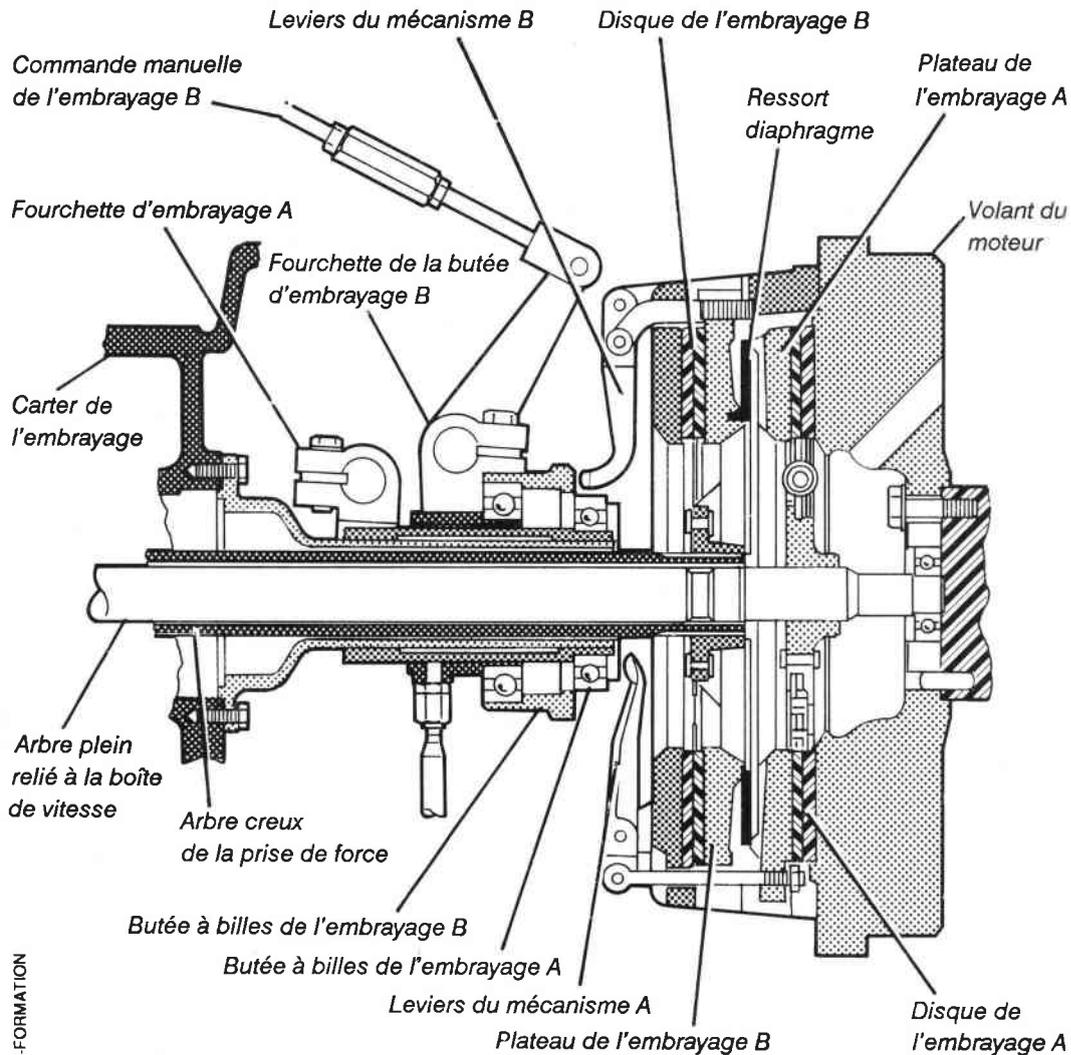
Fig. 136 — Embrayage à double effet.

Toutefois, le mécanisme comporte **deux plateaux de pression commandés séparément**. Le plateau pressant le disque d'avancement est commandé au moyen de la pédale d'embrayage du tracteur et le plateau pressant le disque de la prise de force est commandé par un levier depuis le poste de conduite.

— **Embrayage multidisque** (fig. 138) :

Ce type d'embrayage est souvent utilisé sur les tracteurs dans le but d'assurer la commande de fonctions particulières qui peuvent être :

— la commande des **prises de force totalement indépendantes** (voir également le chapitre : liaisons tracteurs-outils),



A : Embrayage pour la prise de force

B : Embrayage pour l'avancement

Fig. 137 — Vue en coupe d'un embrayage double à commandes séparées.

- la commande des ponts avant,
- la commande d'amplificateurs instantanés de traction,
- la commande du changement de rapport des boîtes de vitesses du type « Power-shift ».

La figure 138 représente un système d'embrayage multidisque de conception courante utilisé sur un tracteur pour la commande d'un pont avant. Ce système associe une première série de disques menants, comportant des garnitures de friction, avec une seconde série de disques menés en acier qui viennent s'intercaler entre les premiers.

Selon les cas, les garnitures sont soit **des matériaux céra-métalliques**, soit **des matériaux composites** présentant une texture analogue à du papier très dense.

Les disques menants sont solidaires en rotation de l'arbre central venant du moteur et cela grâce à des cannelures usinées à **l'intérieur du disque**. Quant aux disques menés, ils comportent des cannelures **extérieures** qui les rendent solidaires de la cloche de l'arbre de pont avant. L'ensemble des disques se trouve contenu entre deux parois, solidaires en rotation de la cloche d'embrayage : l'une d'elles est un plateau fixe et l'autre est constituée par un piston qui est actionné hydrauliquement.

Au repos, un puissant ressort maintient ce piston écarté afin qu'aucune poussée ne s'applique sur les disques : l'ensemble du mécanisme est alors en **position de débrayage**.

Lorsqu'une pression hydraulique vient s'appliquer sur le piston, la poussée qui en résulte détermine une compression des disques qui se trouvent alors en **position d'embrayage**.

**L'ensemble des disques et, en particulier, leurs surfaces de friction, sont en permanence irrigués par l'huile** qui provient des fuites du mécanisme, ou bien sont immergés dans un bain d'huile. **Cette huile a un rôle d'intermédiaire de friction et une fonction de refroidissement.**

La présence de plusieurs disques assure une surface de friction suffisamment grande pour que les embrayages de ce type puissent transmettre des couples importants.

Selon les applications, le fonctionnement des embrayages multidisque peut être inversé. Dans ce cas l'embrayage proprement dit est assuré par la force des ressorts et le débrayage par l'action hydraulique.

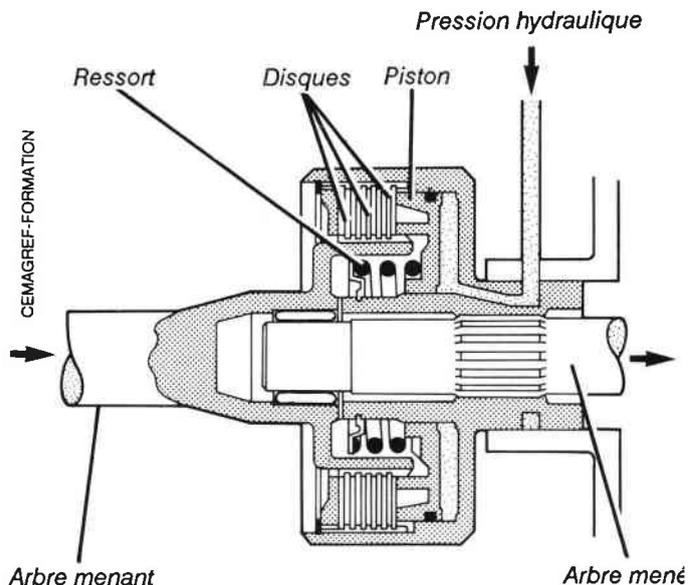


Fig. 138 — Principe d'un embrayage multidisques à commande hydraulique.

## • LES BOÎTES DE VITESSES CONVENTIONNELLES (fig. 139) :

On désigne sous le nom de boîte de vitesses (fig. 139), un élément de transmission permettant d'obtenir un certain nombre de rapports de démultiplication entre l'arbre d'entrée et l'arbre de sortie de cette boîte.

Une boîte de vitesses classique est constituée d'un mécanisme de commande dit « **sélecteur de vitesses** » (fig. 140), qui permet au conducteur de mettre en action tel train d'engrenage donnant le rapport de démultiplication souhaité entre l'arbre d'entrée et l'arbre de sortie. En outre, le sélecteur commande le désaccouplement de l'arbre d'entrée et de l'arbre de sortie (position dite du « **point mort** »).

Le **couple** aux roues motrices est **directement proportionnel au rapport de démultiplication** de la transmission et la vitesse, au contraire, est **inversement proportionnelle** à ce même rapport.

En d'autres termes, l'effort de traction (lié au couple aux roues) que peut développer le tracteur dépend du rapport de démultiplication : **pour obtenir un gros effort, il faut une forte démultiplication, et réciproquement**, dans les limites de l'adhérence (se reporter au chapitre 5 : le contact roues-sol).

Afin de permettre l'adaptation aux différents travaux, les tracteurs modernes ont couramment 12, 16 et parfois jusqu'à 24 vitesses. Une telle diversité de rapports ne pouvant être obtenue avec une boîte de vitesses unique commandée par un seul levier de vitesse, les tracteurs sont équipés d'une boîte de vitesses à **quatre** ou six rapports avant, complétée d'une boîte dite de « **présélection de gammes** » (fig. 133 et 139) comportant une combinaison « **route** », une combinaison « **champ** » et, parfois, une combinaison dite « **rampante** » permettant des vitesses d'avancement très réduites.

La marche arrière peut être obtenue soit par la boîte de vitesses elle-même, soit par une boîte de présélection de gamme ou grâce à un **inverseur de marche** à commande séparée.

Le nombre de rapports de la boîte de vitesses peut ainsi être multiplié par le nombre de gammes que l'on peut présélectionner, l'ensemble étant commandé au moyen de deux leviers, à raison d'un par boîte. Le changement de gamme s'effectue généralement lorsque le tracteur est à l'arrêt.

La boîte de présélection de gammes peut être disposée entre le moteur et la boîte de vitesse ou bien **après** la boîte de vitesses, cette dernière disposition ayant l'avantage de réduire le couple transitant par la boîte de vitesses.

### – Le changement de rapport :

Le changement de rapport de vitesse fait appel selon les cas à **des pignons balais, des crabots ou des synchroniseurs** :

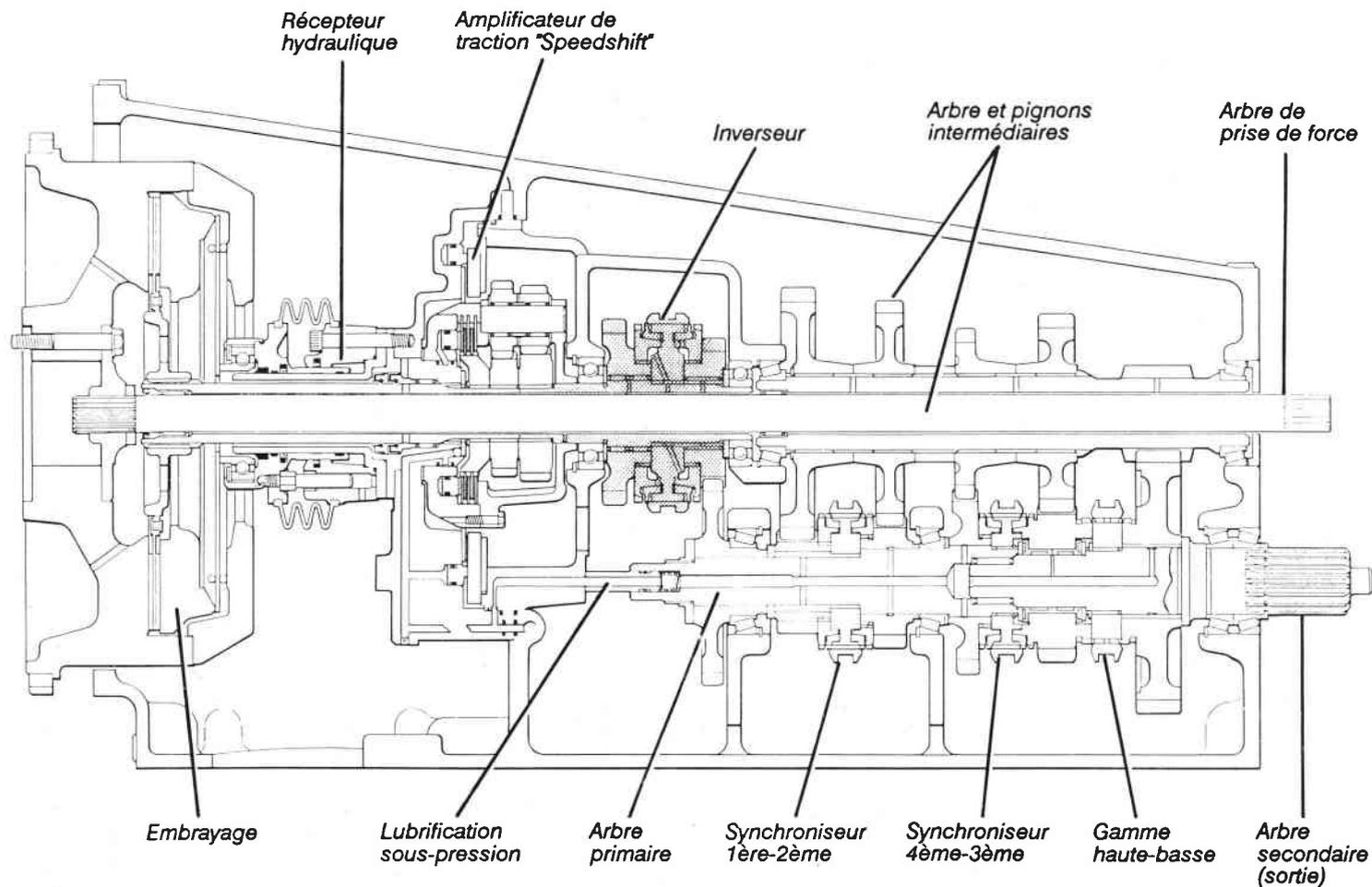


Fig. 139 – Vue en coupe d'une boîte de vitesses Massey-Ferguson à 16 combinaisons AV : 4 rapports, 2 gammes, amplificateur de traction et inverseur.

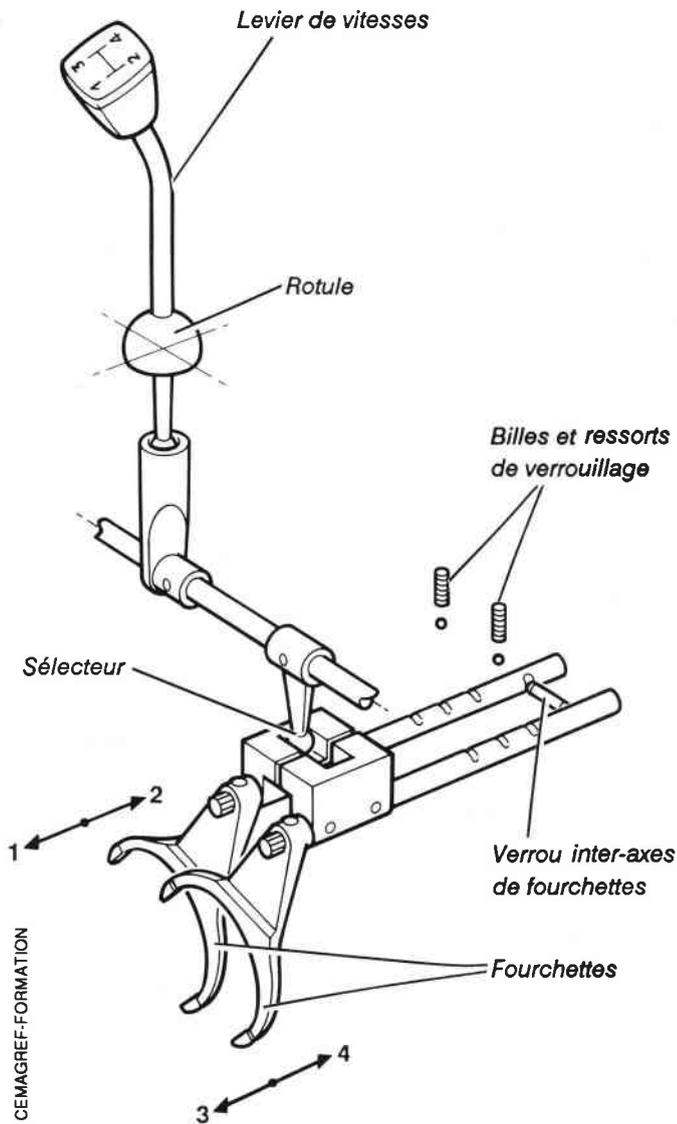


Fig. 140 — Principe du sélecteur de vitesse d'une boîte à quatre rapports.

### Le changement de vitesse par pignons baladeurs (fig. 141) :

Au point mort, les trains baladeurs sont positionnés sur leur arbre de telle façon qu'aucun de leurs pignons ne soit en prise avec le pignon menant correspondant.

L'engagement d'une vitesse s'obtient en amenant le pignon d'un train baladeur en prise avec le pignon correspondant de l'arbre menant.

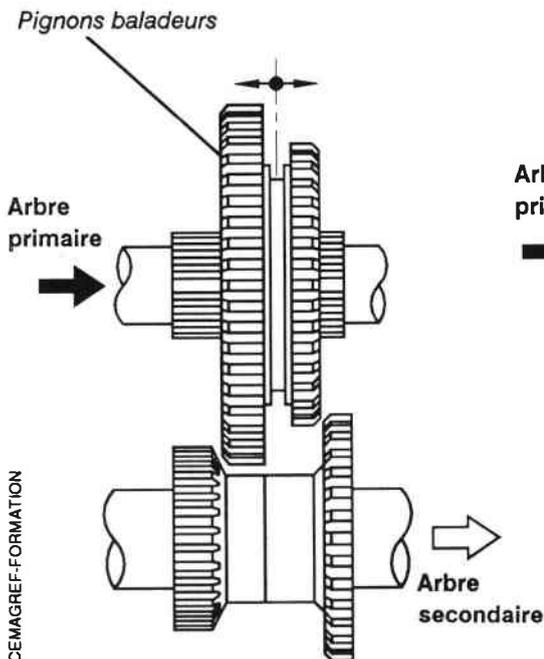


Fig. 141 — Principe d'un changement de vitesse par pignon baladeur.

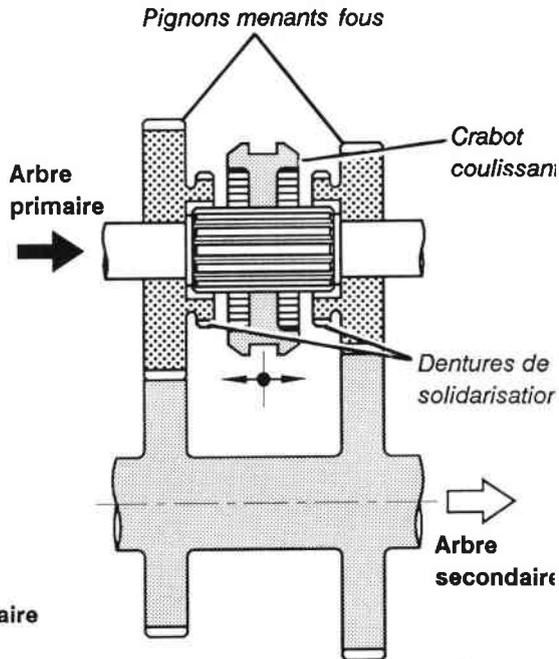


Fig. 142 — Principe d'un changement de vitesse par crabot coulissant

L'engagement n'est possible que si le tracteur est à l'arrêt et le moteur débrayé

- Le changement de vitesse par crabots (fig. 142) :

Les deux trains de pignons se trouvent **toujours en prise**. Les pignons de l'arbre menant sont **solidaires de celui-ci** et leurs pignons homologues tournent **fous sur l'arbre mené**, sans jeu axial.

L'engagement d'une vitesse mettant en jeu l'un des trains de pignons toujours en prise s'obtient par crabotage du pignon fou sur son arbre.

- Le changement de vitesse par synchroniseur (fig. 143) :

Le **dispositif synchroniseur** a pour objet d'amener l'arbre et le pignon en synchronisme, avant crabotage, par le jeu de **cônes de friction** qui arrivent au contact, au cours du passage de la vitesse, avant que les dentures soient engagées. Les figures 131 et 143 donnent un exemple de dispositifs « **synchro** ». La **synchronisation des vitesses rend la conduite plus facile et plus sûre, surtout pour les combinaisons correspondant aux déplacements.**

Les synchroniseurs sont utilisés sur la plupart des boîtes de vitesses et sur les inverseurs à commande mécanique.

## — L'étagement des vitesses (fig. 144) :

L'étagement d'une boîte de vitesses correspond, pour un régime donné du moteur, à la progression plus ou moins régulière des vitesses d'avancement du tracteur, obtenues en utilisant tous les rapports possibles de la transmission.

Le choix de l'étagement est défini par les bureaux d'études des constructeurs en fonction des caractéristiques des moteurs (couple, réserve de couple et de régime...), de l'objectif de marché et des contraintes de fabrication (difficulté et coût de réalisation).

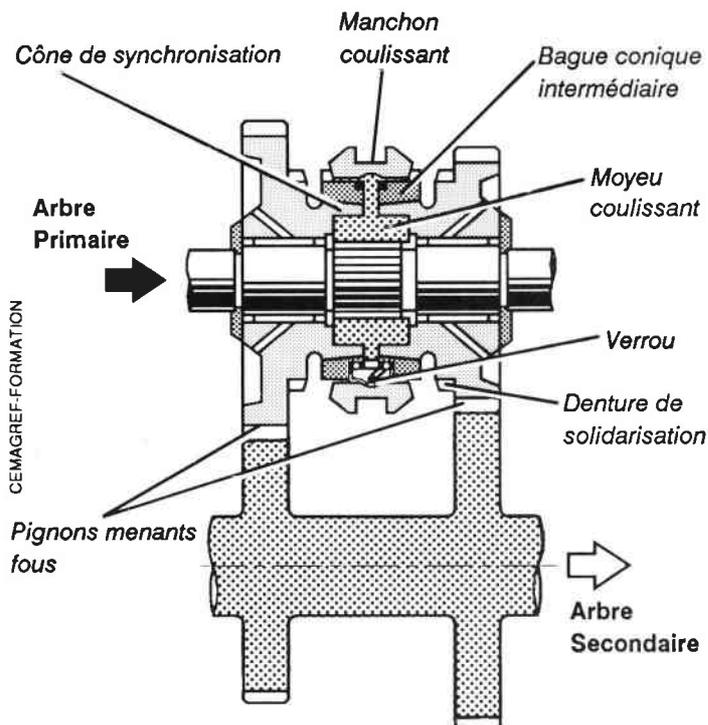


Fig. 143 — Principe d'un synchroniseur.

Pour un travail donné, l'étagement idéal est celui qui offre au conducteur le rapport de transmission permettant la vitesse d'avancement souhaitée tout en utilisant au mieux la puissance du moteur (réserve de couple, consommation spécifique...).

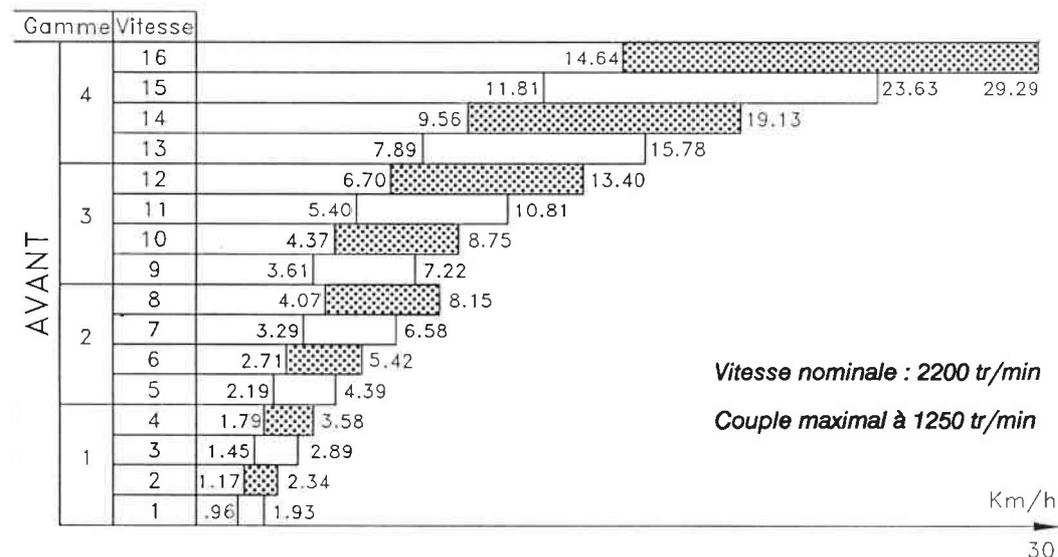


Fig. 144 — Étagement des vitesses d'un tracteur Case IH MAXXUM 5130 (Document Case IH).

Pour apprécier ou comparer l'étagement entre deux combinaisons, on définit le **rapport de progression (RP)** au régime nominal du moteur. Prenons un exemple : au régime nominal du moteur, la vitesse d'avancement théorique d'un tracteur est de 5,2 km/h en 5<sup>e</sup> et 6 km/h en 6<sup>e</sup>, le rapport de progression est :

$$RP = \frac{6}{5,2} = 1,15$$

Ce rapport de progression correspond aussi au quotient entre les rapports de démultiplication des engrenages correspondants à ces combinaisons de vitesse.

La plupart des travaux agricoles s'effectuant entre 4 et 12 km/h, il convient que les transmissions disposent d'un étagement bien étudié dans cette plage de vitesse. Pour apprécier ou comparer l'étagement des boîtes de vitesses, on définit le **rapport moyen de progression (RMP)**. Pour définir le RMP d'un tracteur donné, on prend en compte le nombre de combinaisons de vitesses dans la plage désirée.

Prenons un exemple :

On veut connaître le **rapport moyen de progression** d'un tracteur dans la plage des vitesses comprise entre 4 et 12 km/h. Au régime nominal du moteur, la vitesse d'avancement théorique d'un tracteur est de 4,3 km/h en 4<sup>e</sup> et de 12,74 km/h en 11<sup>e</sup>, soit 7 changements de combinaison.

$$RMP = \sqrt[7]{\frac{12,75}{4,3}} = 1,17$$

Le tableau ci-après indique les valeurs moyennes d'étagement susceptibles de permettre une utilisation optimale des tracteurs :

Vitesse théorique au régime nominal	Rapport moyen de progression RMP	Nombre moyen de combinaisons de vitesse
1,5 à 4 km/h	1,25 à 1,4	6 à 4
4 à 12 km/h	1,13 à 1,25	10 à 6
12 à 20 km/h	1,25 à 1,30	4 à 3
20 à 30 km/h	1,25 à 1,35	3 à 2

Sans tomber dans un nombre excessif de rapports de vitesse qui conduiraient à un coût élevé et à une conduite compliquée, il est clair que les transmissions doivent avoir un nombre de combinaisons plus élevé dans la plage des 4-12 km/h que dans les autres plages, sauf si une utilisation particulière du tracteur est envisagée : travaux lents ; la prise de force, transports lourds...

L'adaptation d'une transmission à un travail donné peut être facilitée par des systèmes de changement de rapport sous charge : amplificateurs de traction, boîte Power Shift. Ces systèmes autorisent en effet des changements de vitesse en cours de travail sans interrompre la traction.

## • LES AMPLIFICATEURS DE TRACTION ET LES BOÎTES DE VITESSES « POWER-SHIFT » :

La boîte de vitesses classique d'un tracteur impose un débrayage à chaque changement de combinaison. Ce débrayage se traduit par une interruption momentanée de la transmission de puissance entre le moteur et les roues motrices. Lorsqu'elle intervient durant le travail, par suite des changements de condition de ce travail (terrain plus lourd en labour ; produit plus dense ou plus difficile à récolter...), **cette interruption présente toujours des inconvénients : ralentissement ou arrêt du tracteur, redémarrage difficile nécessitant parfois un relevage de l'outil, une forte sollicitation de l'embrayage et pertes de temps.....**

Pour éviter ces inconvénients, il faut disposer soit de **transmissions mécaniques à passage de vitesse « sous couple » ou « sous charge »**, soit de **transmissions hydrostatiques à variation continue** (se reporter au chapitre transmissions hydrauliques). Les transmissions mécaniques à passage de vitesse sous charge comprennent **les amplificateurs de traction et les boîtes « power-shift », appelées aussi boîtes semi-automatiques.**

### — Les amplificateurs de traction :

**Les amplificateurs de traction sont montés en complément de de l'embrayage et de la boîte de vitesses classiques.** Non seulement ces dispositifs permettent de doubler et parfois de tripler le nombre des combinaisons de vitesses offertes par la boîte conventionnelle mais, de plus, ils permettent, en charge et sans interrompre le mouvement d'avancement, de modifier le rapport de transmission.

Les avantages sont les suivants : si l'effort résistant augmente en cours de travail, alors que le dispositif amplificateur est placé sur la gamme normale, le passage sur a gamme « ampli », sans débrayer, **permet d'accroître immédiatement l'effort de traction** disponible, dans les limites toutefois du rapport de démultiplication de l'amplificateur de couple et de l'adhérence du tracteur.

Les systèmes utilisés dans la pratique permettent une réduction de vitesse d'environ 20 à 25 %, ce qui, toutes choses égales, correspond en théorie à **un accroissement de l'effort de traction de 25 à 33 %, suivant le cas.**

Parmi les nombreux dispositifs adoptés par les constructeurs, citons les systèmes : « **Hi-Lo** » John Deere et Fiatagri, « **Speedshift** » Massey-Ferguson (fig. 139), « **Dual Power** » Ford, « **Syncro Power** » Same, « **Powermatic** » Deutz Fahr, « **Tractoshift** » Renault... La description exhaustive de tous ces systèmes étant trop longue, nous en étendrons trois : le « **Hi-Lo** » John Deere, le « **Dual Power** » Ford et le « **Tractoshift** » Renault...

- Le système « Hi-Lo »  
John Deere (fig. 145) :

Ce dispositif est placé à l'entrée de la boîte de vitesses du tracteur ; il comprend un double train réducteur axial et deux ensembles multidisques à commande hydraulique : le premier est un embrayage permettant de solidariser le porte-satellites du réducteur avec l'arbre de sortie (position HI, normale), il est embrayé hydrauliquement et débrayé mécaniquement par des ressorts. Le second est un frein qui permet d'immobiliser le porte-satellites (position LO, lente) en le rendant solidaire du carter de la transmission ; ce frein est actionné mécaniquement par la pression de ressorts et « relâché » par la pression hydraulique.

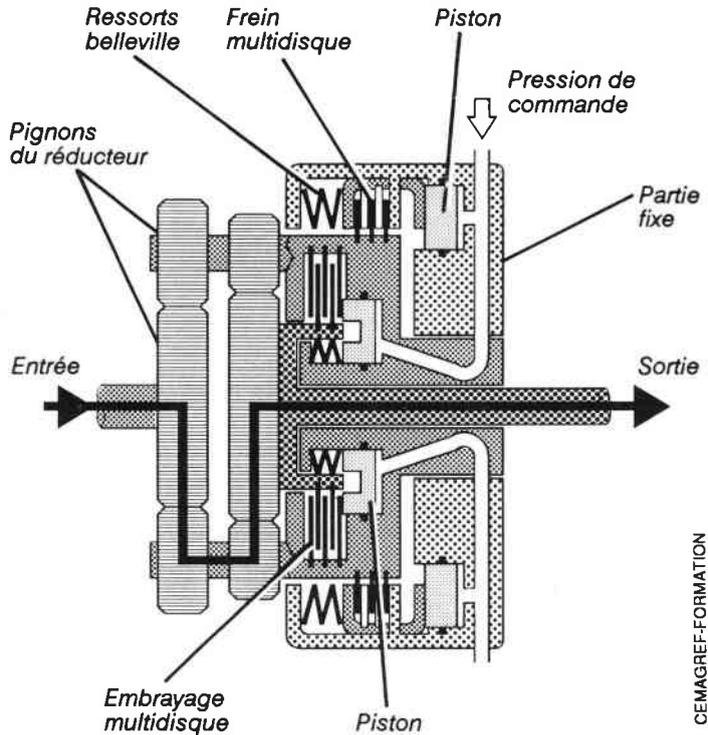


Fig. 145 — Principe d'un amplificateur de traction « HI-LO », John Deere.

**En gamme normale (high)**, la pression hydraulique desserre le frein et actionne l'embrayage de manière à solidariser le porte-satellites avec l'arbre de sortie relié à la boîte de vitesses. Le rapport de transmission est égal à 1, la vitesse de sortie est égale à la vitesse d'entrée.

**En gamme lente ou « ampli » (low)**, l'annulation de la pression hydraulique provoque simultanément la libération de l'embrayage et le serrage du frein. Le porte-satellites est alors immobilisé et une démultiplication peut s'établir entre l'arbre d'entrée et l'arbre de sortie par l'intermédiaire des doubles pignons satellites. **La réduction de vitesse obtenue est de 21 %.**

- Le système « Dual Power » Ford (fig. 146) :

Situé également à l'entrée de la boîte de vitesses ; il comporte essentiellement :

— un train d'engrenages épicycloïdaux dans lequel la grande couronne est menante ; les satellites et le porte-satellites menés, le pignon solaire central tantôt fixe, tantôt mobile, selon la combinaison sélectionnée ;

— un embrayage et un frein multidisques commandés hydrauliquement. L'embrayage permet de solidariser, en gamme normale, le pignon central et le porte-satellites. Quand au frein, solidaire du carter de la transmission, il permet d'immobiliser, en gamme « ampli » (lente), le pignon central.

En gamme normale, le frein est relâché et l'embrayage rend le pignon solaire solidaire du porte-satellites. Finalement les différents éléments du train épicycloïdal se retrouvent solidaires entre eux et la vitesse à l'entrée de la boîte de vitesses est égale à celle du moteur.

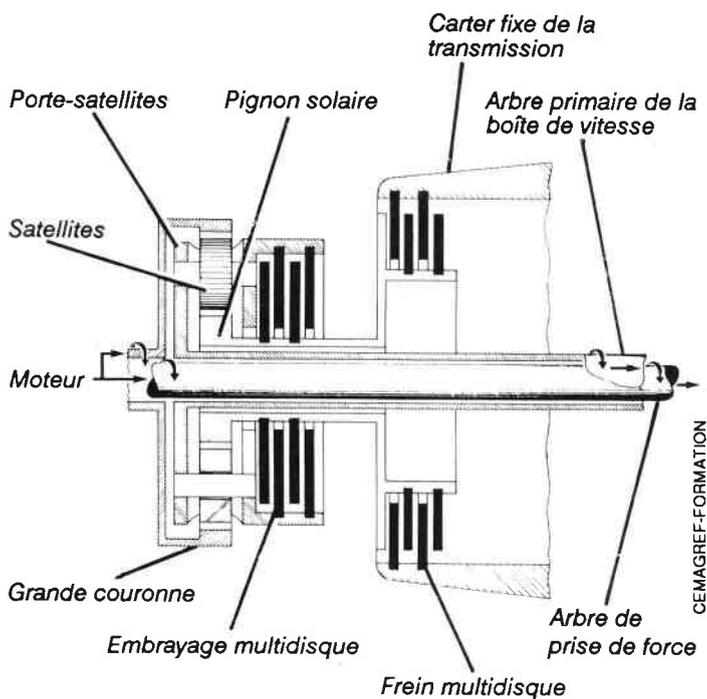


Fig. 146 — Amplificateur de traction « DUAL POWER » Ford.

En gamme « ampli » (lente), le frein multidisque permet de solidariser le pignon solaire avec le carter de la transmission. La commande hydraulique assure simultanément le débrayage du porte-satellites et le freinage du pignon solaire. **La vitesse du moteur se trouve ainsi démultipliée de 22 %**, compte tenu du nombre de dents des pignons en cause.

#### - La transmission Renault « Tractoshift » (fig. 147) :

Cette transmission à commande hydro-mécanique est placée en amont de la boîte de vitesses conventionnelle, elle permet d'obtenir le passage "sous charge" de trois rapports (rapide, normal et lent) et l'inversion du sens de marche. Cette configuration, plus élaborée qu'un simple amplificateur de traction, s'apparente à une transmission partiellement power-shift.

Le système (fig. 147), piloté par un automatisme électronique, comprend **deux embrayages multidisque (A et B) à commande électro-hydraulique et deux synchroniseurs (C et D) également à commande électro-hydraulique**. Le tableau p. 160 résume le fonctionnement des quatre combinaisons.

Il peut paraître surprenant de trouver des synchroniseurs dans une boîte à passage de vitesses sous charge, mais cette disposition permet aux concepteurs d'atteindre trois objectifs : réduction d'encombrement, utilisation d'un carter de transmission classique et limitation des pertes dues au « couple de traînée », (frottements résiduels)

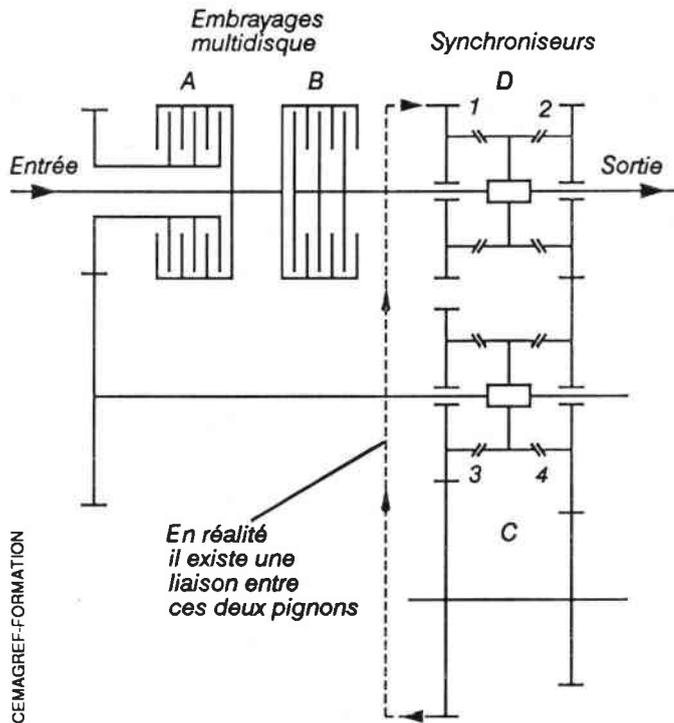


Fig. 147 — Principe de l'amplificateur-inverseur « Tractoshift » Renault.

Combinaison sélectionnée	Rapport obtenu	Embrayage en prise	Position des synchroniseurs
Avant rapide	1,2	A	C4 et D2
Avant normale	1	B	C3 et D2 (inactifs)
Avant lente	0,8	A	C3 et D2
Arrière	1	A	C3 et D1

des embrayages multidisques. Ainsi, quatre rapports de vitesse peuvent être obtenus avec seulement deux embrayages multidisques, grâce aux possibilités de l'électronique.

Un astucieux système de configuration des deux synchroniseurs fait que l'un des embrayages couvre trois rapports différents, l'autre assurant la prise directe, pendant laquelle tous les mouvements de synchroniseurs sont possibles.

Des capteurs informent un micro-processeur du bon positionnement des synchroniseurs, avant que celui-ci autorise la mise en pression de l'embrayage multidisque concerné (se reporter au chapitre : les équipements électroniques embarqués, les capteurs de position à variation d'inductance).

— Les boîtes de vitesses « power-shift » :

Appelées aussi « boîtes de vitesses semi-automatiques », les boîtes power-shift permettent, en principe, le passage en charge ou sous couple de l'ensemble des vitesses de travail, sans action séparée sur un embrayage (l'embrayage principal du moteur est supprimé). La figure 148 représente le principe d'une boîte power-shift à trois rapports avant dont les deux premiers peuvent être inversés : nous constatons que les pignons sont en prise constante et qu'il y a deux embrayages multidisques pour la marche avant et arrière, et trois autres pour les trois rapports de vitesse.

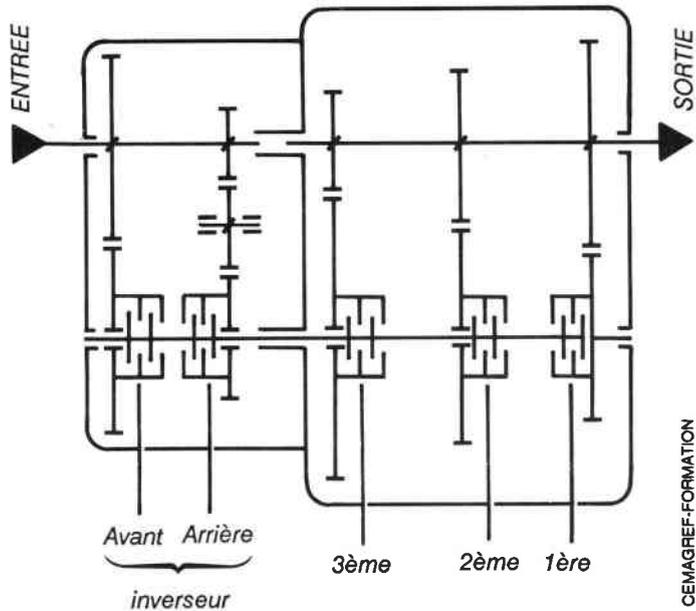


Fig. 148 — Principe d'une boîte de vitesses « Power Shift ».

Chacun de ces embrayages est commandé hydrauliquement et permet de solidariser le pignon qui correspond au rapport sélectionné avec l'arbre intermédiaire de la boîte de vitesse. Le changement de rapport s'effectue donc à partir du poste de conduite et sans débrayage du moteur : il suffit simplement d'actionner un levier sélecteur.

Par soucis de clarté, la boîte représentée à la figure 148 a été considérablement simplifiée ; en réalité, les boîtes power-shift ont un nombre de rapports plus élevé et elles disposent de circuits hydrauliques complexes qui commandent les embrayages. De plus les circuits hydrauliques, eux-mêmes commandés par des circuits électro-magnétiques, sont gérés par une unité électronique qui reçoit et traite les ordres du conducteur, met en oeuvre les sécurités (sécurités de conduite et de fonctionnement) et affiche les informations nécessaires à la conduite et, le cas échéant, à la maintenance et au diagnostic de réparation.

En réalité, plusieurs combinaisons sont possibles :

— boîte de vitesses power-shift à trois ou quatre rapports ou plus, associée à une boîte de présélection de gamme à commande conventionnelle (actionnée, tracteur à l'arrêt).

Citons par exemple la boîte à 27 vitesses des tracteurs Same (fig. 149), qui comprend deux groupes de trois rapports en série : le premier groupe de trois rapports est obtenu par un train épicycloïdal et le second par des pignons cylindriques à embrayages multidisque. Cet ensemble permet donc 9 vitesses à passage sous charge (power-shift) pour chacune des trois gammes ; soit au total 27 vitesses.

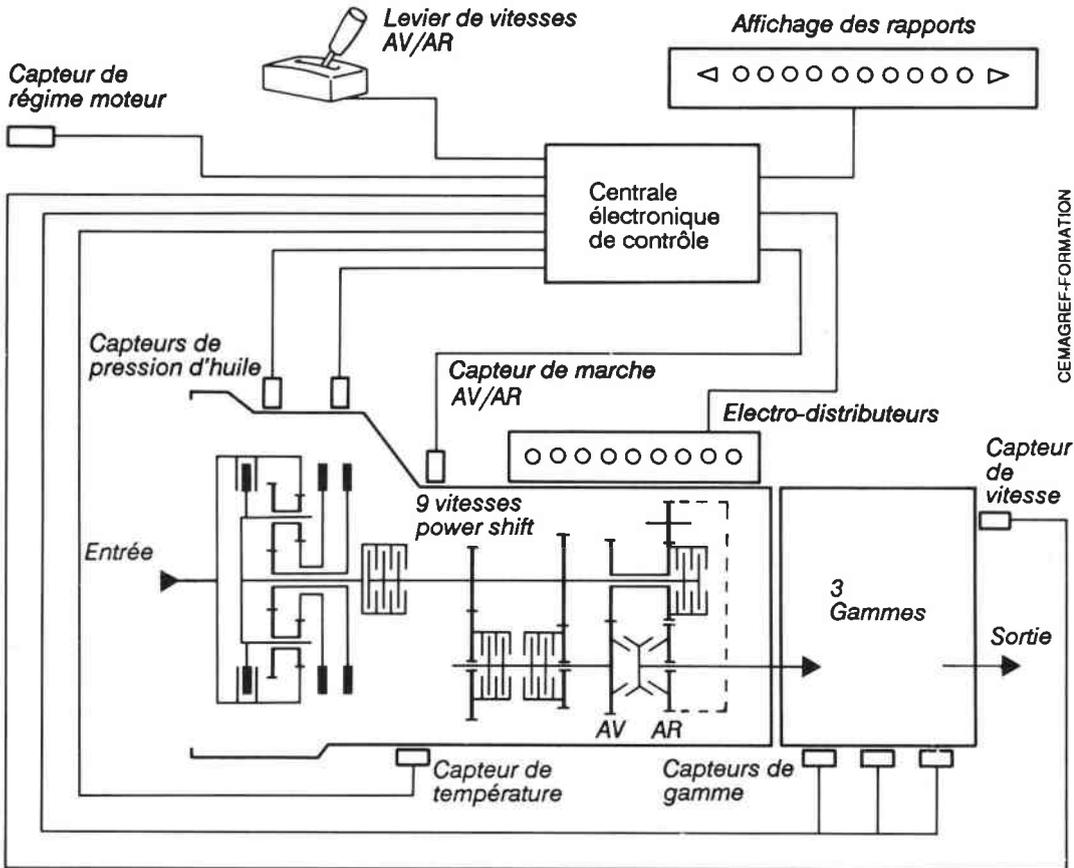


Fig. 149 – Principe d'une transmission Power Shift SAME à 9 vitesses et 3 gammes (27 rapports).

Cette transmission est pilotée par une unité électronique à microprocesseur : le conducteur affiche le rapport de vitesse souhaité et l'automatisme engage les rapports intermédiaires en fonction du régime moteur et de la vitesse d'avancement.

- **Transmission power-shift intégrale** (12 à 18 rapports avant et 4 à 9 rapports arrière). Citons par exemple la boîte power-shift Ford (fig. 150) : 18 rapports avant (3 vitesses x 3 groupes x 2 gammes) et 9 rapports arrière ; la boîte de vitesses John Deere à trains épicycloïdaux (fig. 151) : 15 rapports avant et 4 rapports arrière.

- **Boîte de vitesses power-shift à 6 ou 8 rapports, associée à un convertisseur de couple hydrocinétique**, placé en amont (se reporter au chapitre : transmissions hydrauliques).

A propos des systèmes d'embrayages multidisque, il convient de préciser que lorsqu'ils sont débrayés, le glissement des disques occasionne des frottements non négligeables qui affectent plus ou moins le rendement des transmissions. A cet égard,

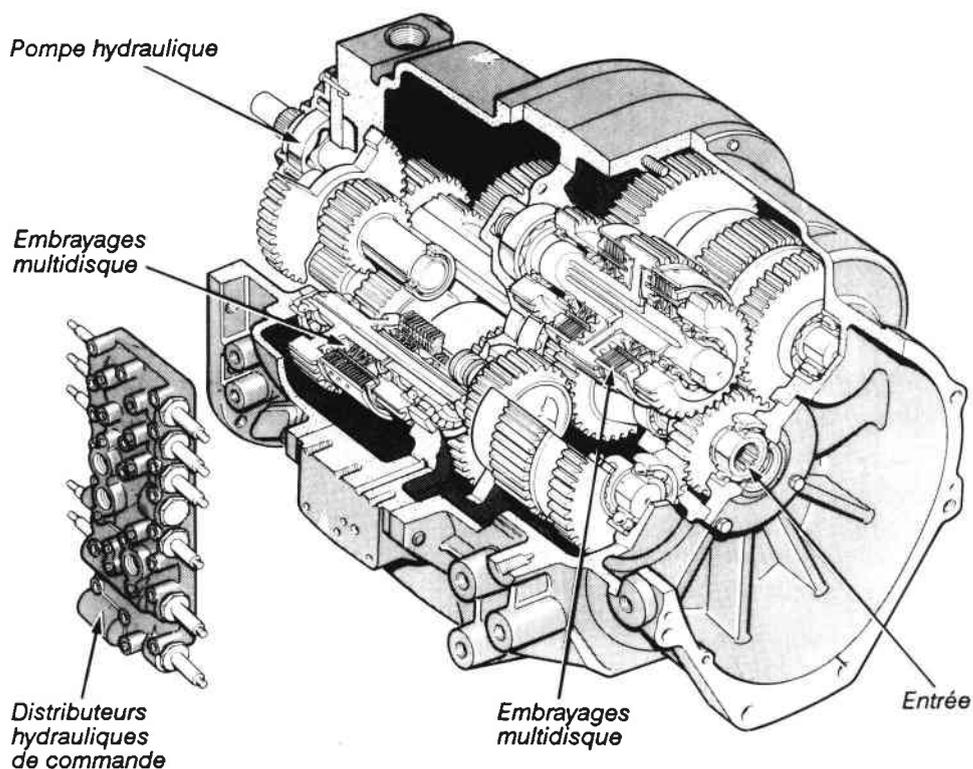


Fig. 150 — Vue en coupe d'une boîte de vitesses Power Shift FORD  
18 rapports AV et 9 AR (Document Ford New Holland).

l'association d'un amplificateur de traction avec une boîte de vitesses conventionnelle constitue un compromis intéressant, du point de vue du rendement de la transmission, car ces systèmes ne comportent qu'un seul embrayage multidisque en situation de glissement constant. Pour les boîtes power-shift, plus le nombre d'embrayages multidisque est élevé, plus les pertes sont sensibles.

### • LE PONT ARRIÈRE :

Le pont arrière réunit toute la partie de la transmission qui est située après la boîte de vitesses, soit, par conséquent : **le couple conique, le différentiel et son système de blocage, les freins et les réducteurs finals.**

#### — Le couple conique ou « renvoi d'angle » (fig. 152) :

Le couple conique ou « **renvoi d'angle** » transmet le mouvement vers chacune des roues motrices arrière et, par suite, de façon perpendiculaire à l'axe du moteur.

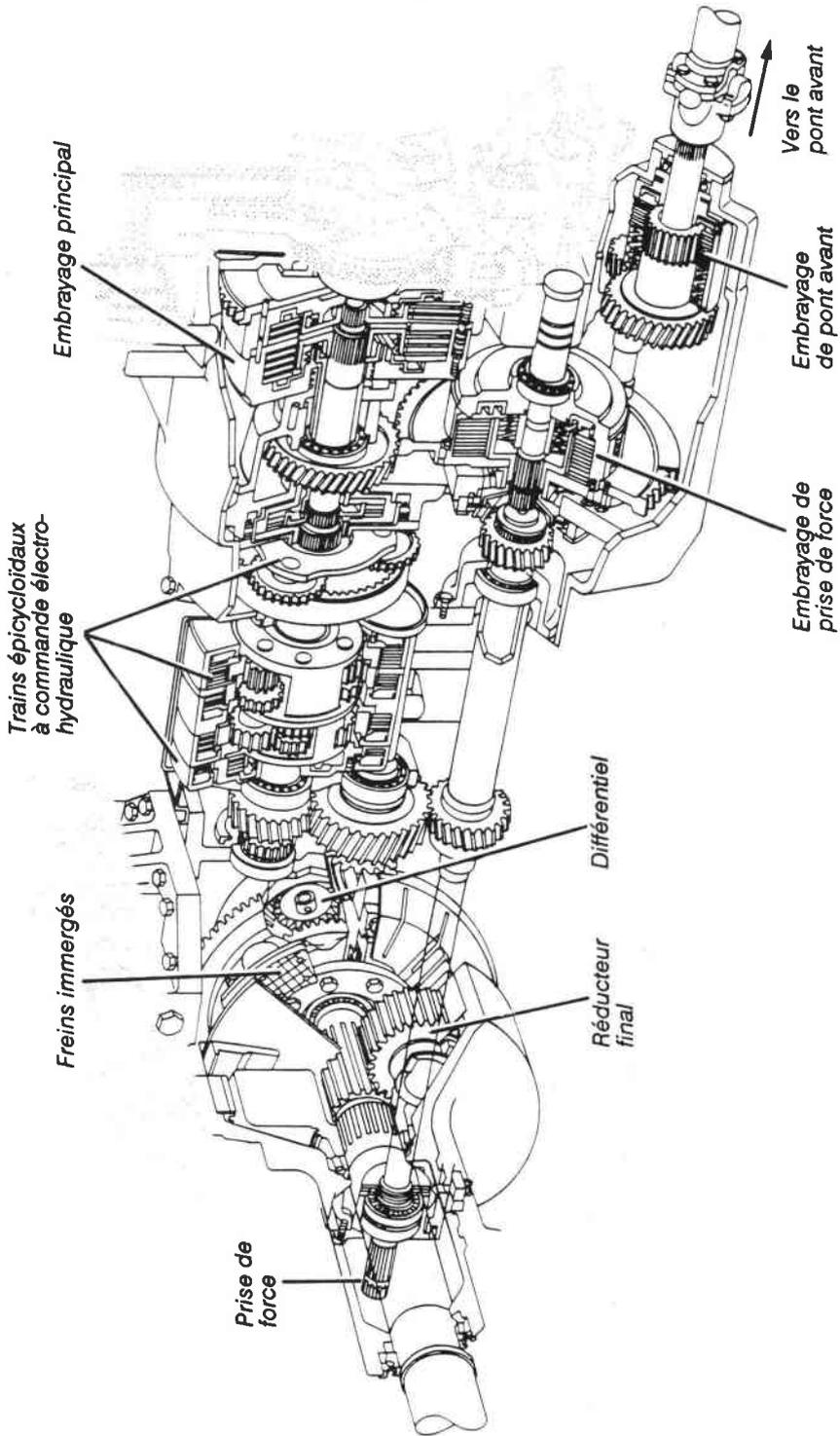


Fig. 151 — Vue d'une transmission John-Deere avec boîte de vitesses Power Shift à 15 rapports (Document John Deere).

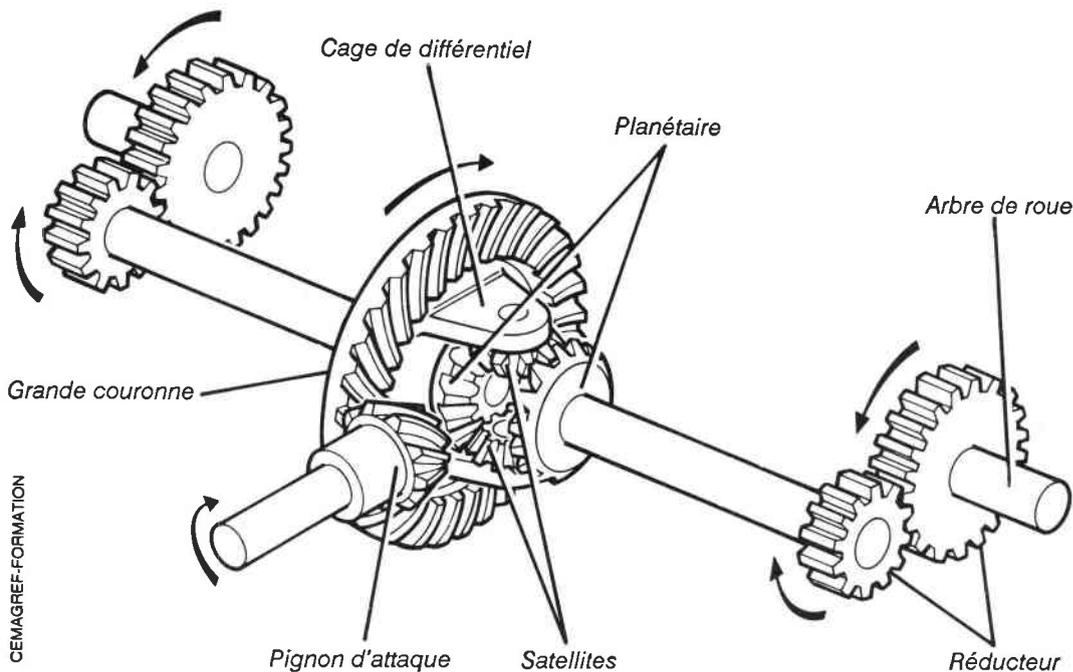


Fig. 152 — Différentiel et réducteurs finals de roue.

La denture conique droite utilisée autrefois est remplacée par une **denture conique hélicoïdale** diminuant les efforts au niveau des dents et facilitant ainsi la lubrification.

#### — Le différentiel (fig. 153) :

Un différentiel est formé, pour l'essentiel, de deux pignons coniques, appelés **planétaires**, qui sont solidaires de chacun des demi-arbres de sortie commandant les roues motrices. Ces planétaires engrènent avec des pignons coniques appelés **satellites**, qui tournent fous sur des axes entraînés par la **cage de différentiel**, elle-même solidaire de la **grande couronne** du couple conique. C'est un train épicycloïdal de type particulier : on pourrait lui appliquer la formule de Willis.

Le fonctionnement de l'ensemble est le suivant : en ligne droite, la cage de différentiel entraîne les planétaires sans modification de leur vitesse car les satellites, soumis à des forces tangentielles opposées et de même intensité, sont également immobiles par rapport à la cage de différentiel.

En virage par contre, chaque roue tourne à une vitesse différente. Le différentiel apporte, sur la roue la plus rapide, la différence de vitesse entre la cage et la roue ralentie par le virage. La moyenne des vitesses des roues demeurant ainsi constante.

Il convient également d'examiner ce qui se passe du point de vue des couples transmis aux arbres de roues : les satellites tournant librement sur leurs arbres, ces couples

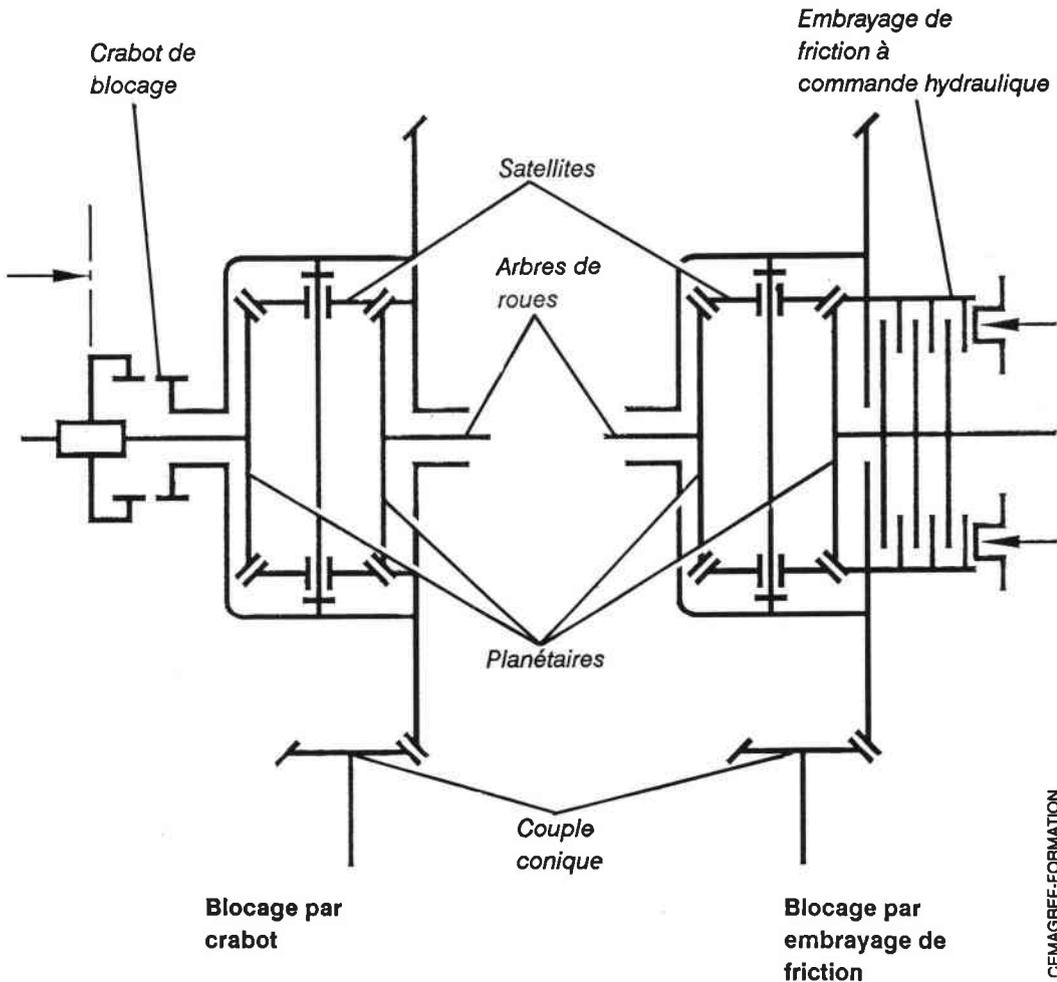
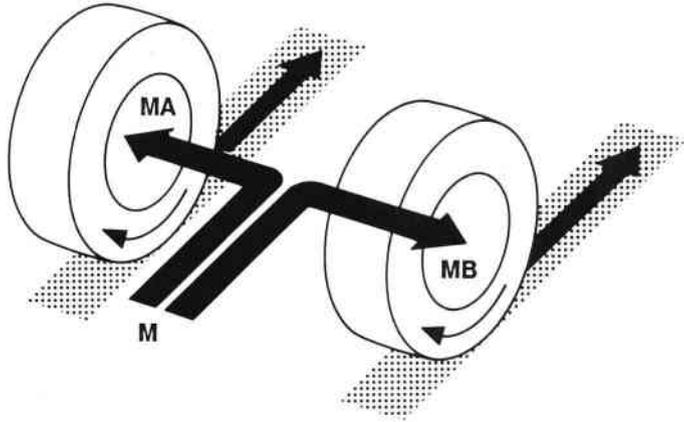


Fig. 153 — Représentation simplifiée d'un couple conique avec son différentiel à blocage commandé.

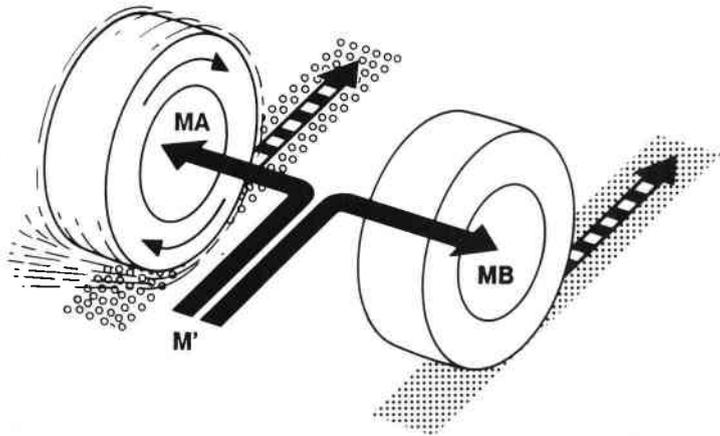
ne peuvent être qu'égaux. On peut en effet comparer l'ensemble d'un satellite et de deux planétaires à un palonnier ; si  $F$  est l'effort appliqué par la cage de différentiel au satellite, cette force se répartit également sur les deux planétaires. En raisonnant en couples, (fig. 154) si  $(M)$  est le couple transmis à la cage de différentiel, le couple appliqué à chaque demi-arbre de roue est obligatoirement  $\frac{M}{2}$ , soit  $M = M_A + M_B$

Ceci a d'importantes conséquences car, si réciproquement le couple encaissé par l'un des demi-arbres se trouve limité par l'adhérence d'une des roues motrices qui patine, le couple transmis à l'autre roue étant organiquement égal, l'effort de traction que peut exercer le tracteur se trouve finalement limité par l'adhérence de la roue motrice la plus défavorisée.

**Les deux roues ont la même adhérence, les couples  $MA$  et  $MB$  sont égaux**



**La roue "A" perd son adhérence. Les couples  $MA$  et  $MB$  restent égaux mais leur valeur est nettement plus faible. L'effort de traction est réduit**



**Blocage du différentiel. La roue B devient solidaire de la roue A. Le couple de la roue "A" ne varie pas, mais celui de la roue "B" augmente si son adhérence le permet.**

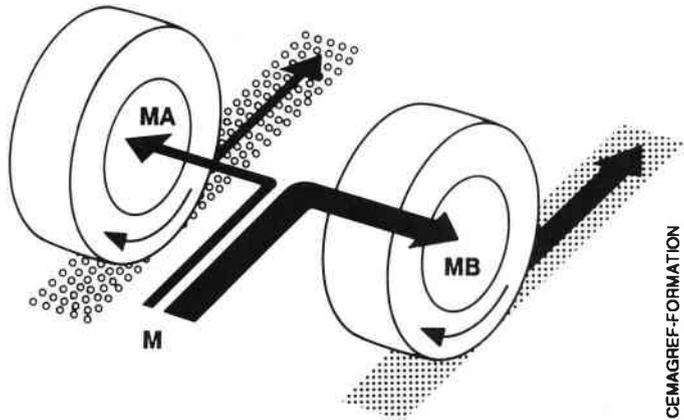


Fig. 154 – Comportement du différentiel selon l'adhérence des roues motrices.

Notons que la solidarisation des deux demi-arbres de roues au moyen du dispositif du blocage de différentiel, permet de supprimer la réduction de l'effort de traction due au patinage de la roue la moins adhérente.

Le blocage de différentiel est obtenu au moyen d'un dispositif solidarisant, à la demande, la cage de différentiel à l'un des demi-arbres de roues : les satellites se trouvent alors eux-mêmes bloqués (fig. 153 et 154).

Le blocage peut s'effectuer par verrouillage mécanique ou par un disque de friction à commande mécanique ou hydraulique. Ce dernier système est particulièrement utilisé sur les tracteurs de forte puissance car il réduit les contraintes mécaniques, surtout si le blocage est actionné en cours de patinage.

Quel que soit le dispositif, il importe qu'il puisse être actionné aisément en cas de besoin. Inversement, le blocage de différentiel ne doit jamais être en action pendant un virage : c'est pourquoi la commande (qui peut être actionnée selon le type de tracteur par une pédale ou par un levier) comporte un rappel automatique qui libère le blocage, dès que le conducteur actionne la direction ou les freins.

— Les trains réducteurs finals :

Afin de réduire au maximum les efforts supportés par les organes relativement vulnérables de la boîte de vitesses, du couple conique et du différentiel, il est nécessaire d'ajouter à une transmission classique de tracteur agricole, des trains réducteurs finals.

De plus, les vitesses de travail, parfois très lentes dans les utilisations agricoles, exigent de réaliser une démultiplication importante du régime du moteur.

Les trains réducteurs finals utilisés peuvent être à pignons droits dits « en cascade » (fig. 152) ou, le plus souvent à trains épicycloïdaux (fig. 155). Cette disposition permet de réaliser des rapports de réduction plus importants avec un encombrement réduit et une meilleure répartition des contraintes sur les engrenages.

• LE PONT AVANT (fig. 156) :

Sur les tracteurs agricoles classiques, le pont avant

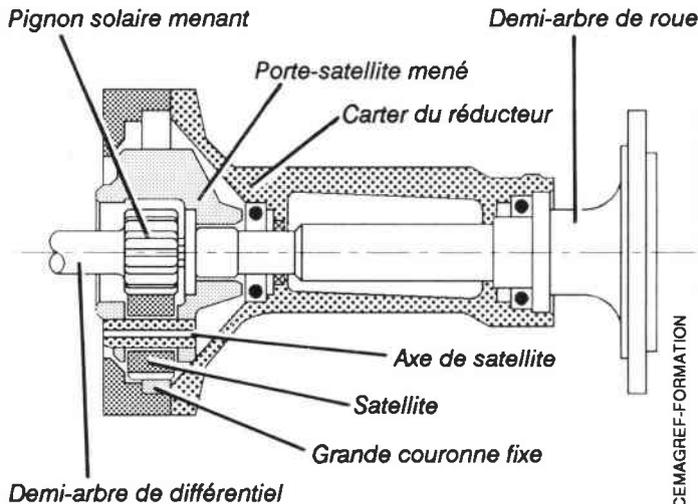


Fig. 155 — Vue en coupe d'une transmission finale.

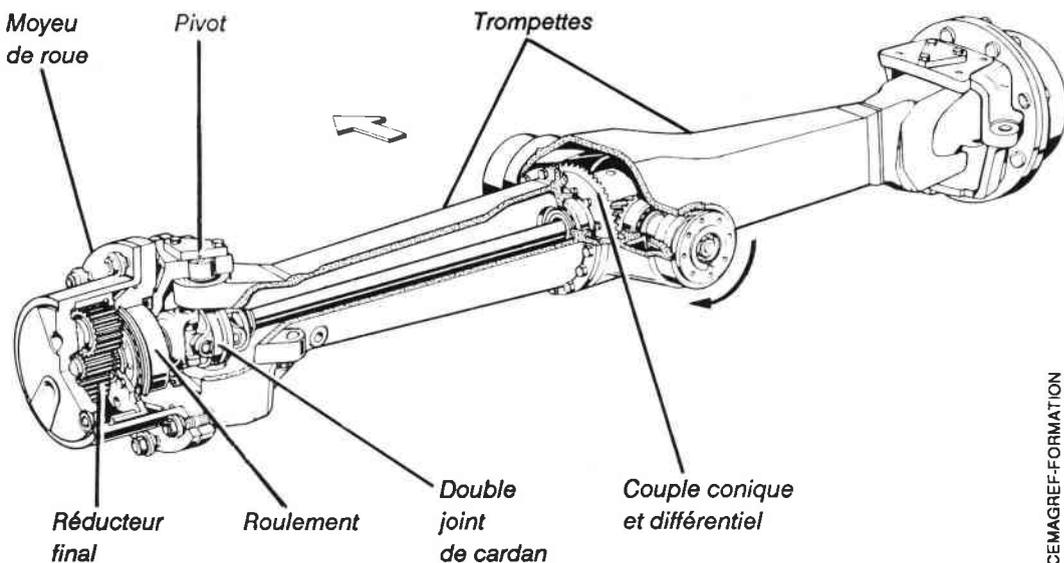


Fig. 156 — Vue d'un pont avant (Document Massey-Ferguson).

n'est utilisé qu'à la demande du conducteur. En revanche, le pont avant des tracteurs à quatre roues motrices égales est animé en permanence avec le pont arrière.

Un pont avant comprend (fig. 156) :

- un couple conique et un différentiel,
- des demi-arbres de roues à joints de cardan, afin de permettre le braquage des roues,
- des réducteurs finals placés dans les moyeux de roue. Ces réducteurs présentent un rapport de réduction important afin de compenser la faible réduction du couple conique, limitée par l'encombrement du carter (nécessité d'une garde au sol suffisante).

Selon les cas, le blocage du différentiel avant peut être commandé depuis le poste de conduite ou automatiquement.

— **Les systèmes à blocage commandé :**

Il s'agit de systèmes similaires aux commandes arrière (verrouillage d'un

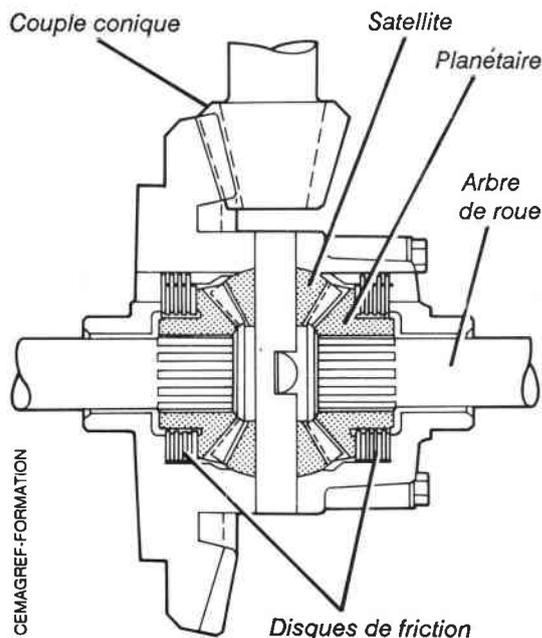


Fig. 157 — Vue d'un différentiel à glissement limité.

planétaire avec son boîtier). Les commandes des blocages avant et arrière sont en général couplées entre elles.

— **Les systèmes à blocage automatique :**

Ils sont actionnés, selon les cas, par le couple (système à glissement limité) ou par les variations de vitesse des arbre de roues (système NO-SPIN).

- **Les différentiels à glissement limité (fig. 157) :**

Appelés aussi **différentiels autobloquants**, ils sont conçus selon le même principe que les différentiels classiques, ils disposent d'un **embrayage multidisque entre chaque planétaire et le boîtier du différentiel**.

Lorsque le différentiel est soumis à un couple, **la réaction des dentures coniques** des planétaires engendre une force de compression des disques qui tend à solidariser les planétaires avec le boîtier, afin de réduire les risques de patinage en cas d'adhérence inégale.

- **le système NO-SPIN (fig. 158 et 159) :**

**Le système NO-SPIN** est d'une conception particulière se substituant au différentiel. **En traction en ligne droite les deux roues sont solidaires**, même si elles sont soumises à des couples différents. **En virage**, le système se désolidarise de la roue extérieure

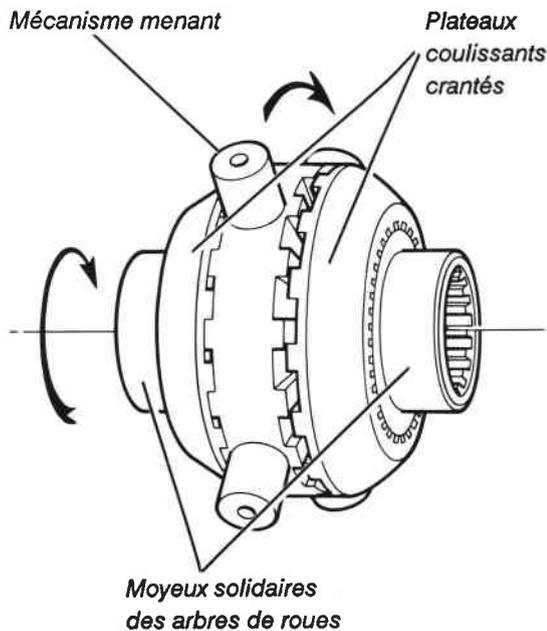
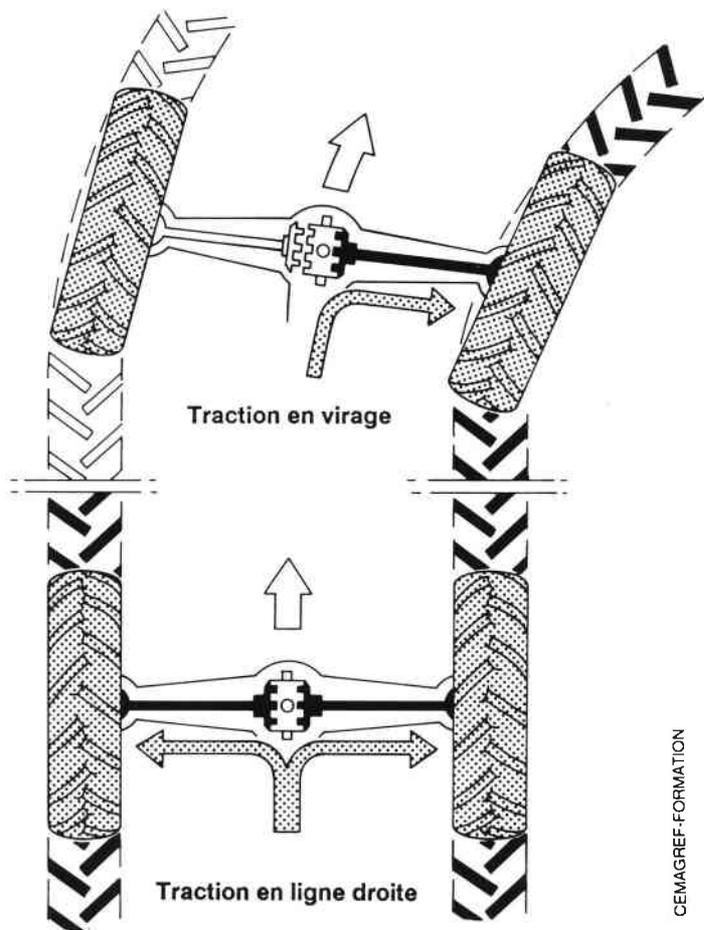


Fig. 158 — Vue d'un dispositif auto-débloquant NO-SPIN.



CEMAGREF-FORMATION

Fig. 159 — Principe d'action du système « NO-SPIN ».

au virage ; **seule la roue intérieure demeure motrice**. Cette particularité est à l'origine de l'expression « pont auto-débloquant ».

Le fonctionnement du NO-SPIN est assuré par des plateaux à denture latérale, commandés par des cames intérieures (fig. 159).

#### • LES AUTOMATISMES DE COMMANDE :

Les automatismes de commande sont utilisés pour accroître les performances des tracteurs et simplifier la tâche du conducteur. Ils **sont gérés ou pilotés par une unité électronique préalablement programmée**. Parmi les fonctions qui peuvent-être assurées, citons :

— **le blocage automatique du différentiel** qui peut entrer en action au delà d'un certain patinage ou dès que le relevage hydraulique met l'outil en position de travail.

– l'**enclenchement automatique du pont avant** et son déclenchement lorsque la vitesse d'avancement dépasse une valeur préétablie.

Les différents paramètres (vitesse, position des commandes, rotation des organes...), sont mesurés en permanence par **des capteurs** reliés à l'unité électronique, (se reporter aussi au chapitre : les équipements électroniques embarqués, les capteurs). En fonction du programme et des souhaits du conducteur, cette unité actionne les électrovalves de commande hydraulique des différents organes : embrayages multidisque de pont avant ou de prise de force, actionneurs de blocage de différentiel ou de passage de vitesse...

A titre d'exemple, la figure 160 et le tableau p. 173 montrent le principe d'organisation du système « AUTOTRONIC » des tracteurs Massey-Ferguson.

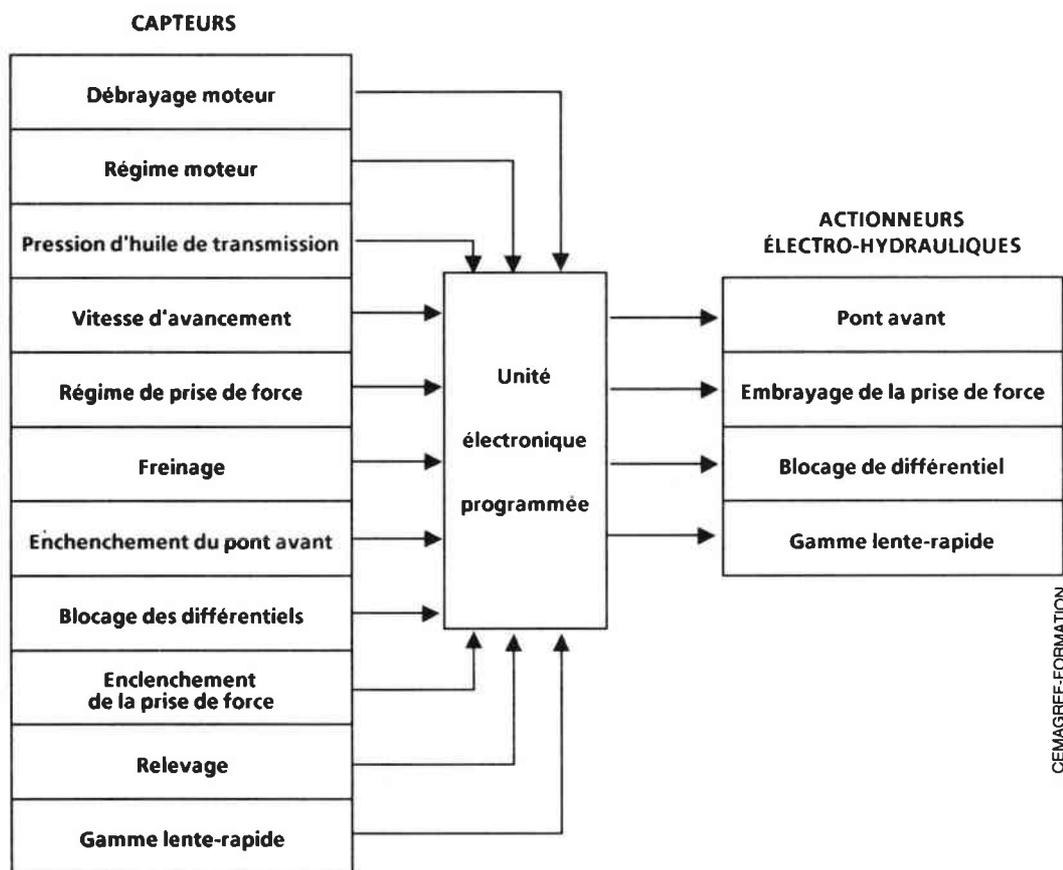
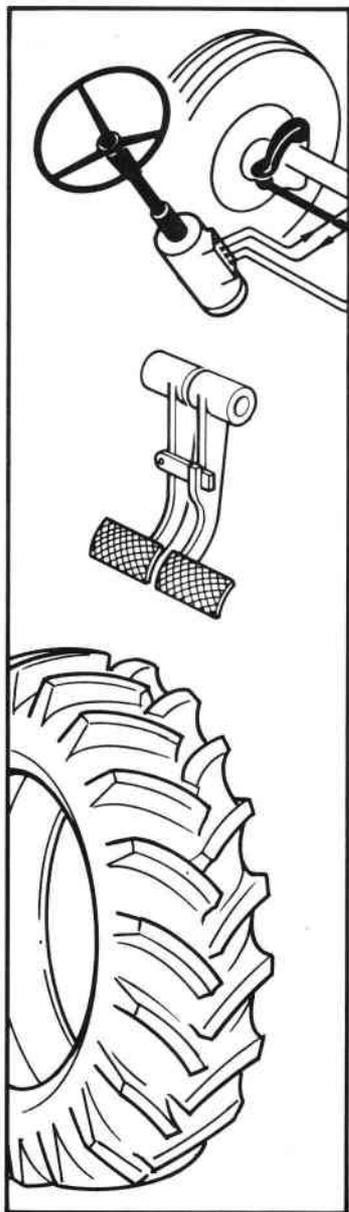


Fig. 160 – Principe de l'automatisme AUTOTRONIC pour la commande des transmissions Massey-Ferguson.

Fonction	Action de l'automatisme	
	enclenchement	déclenchement
Blocage des différentiels AV et AR	<ul style="list-style-type: none"> <li>– si on ne sollicite pas les freins</li> <li>– si le relevage baisse</li> <li>– si la vitesse est inférieure à 14 km/h</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– en appuyant sur les freins</li> <li>– à la montée du relevage</li> <li>– si la vitesse dépasse 14 km/h</li> <li>– si la pression hydraulique de commande est trop faible</li> </ul>
Pont avant	<ul style="list-style-type: none"> <li>– dès la mise en route du moteur</li> <li>– lors du freinage si la vitesse dépasse 5 km/h</li> <li>– si les blocages de différentiels sont en action</li> <li>– si la vitesse est inférieure à 14 km/h</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– en actionnant l'interrupteur de commande</li> <li>– si la vitesse dépasse 14 km/h.</li> </ul>
Prise de force	<ul style="list-style-type: none"> <li>– contrôle de la progressivité d'embrayage</li> <li>– si le moteur tourne</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– si l'embrayage patine</li> <li>– si la pression hydraulique est insuffisante</li> <li>– à l'arrêt du moteur</li> <li>– en cas de sur-régime</li> </ul>
Changement de gamme lente-rapide	<ul style="list-style-type: none"> <li>– si la vitesse est inférieure à 2 km/h</li> </ul>	<p>Interdiction si :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– une vitesse rampante est enclenchée</li> <li>– si la vitesse est supérieure à 2 km/h</li> <li>– si la pression hydraulique est insuffisante</li> </ul>





- Les directions mécaniques ..... 177
- Les directions mécaniques assistées ..... 179
- Les directions hydrostatiques ..... 180
- Le freinage des tracteurs ..... 182
- Le freinage des remorques ..... 186
- Le contact roue-sol, l'adhérence et le tassement ..... 190
- Les pneumatiques ..... 194



**Attelage avant** (Document JOHN DEERE).

La **direction** est l'ensemble des organes qui permettent au conducteur d'un véhicule de le diriger. Elle agit sur les roues directrices. Les directions peuvent être **mécaniques**, **mécaniques à commande assistée** ou **hydrostatiques**.

Compte tenu de leur poids et des conditions de travail, les matériels agricoles sont pratiquement tous équipés de directions assistées. Les directions hydrostatiques, très couramment utilisées, se distinguent des directions mécaniques assistées, par l'absence de liaison mécanique entre le volant et les roues. Pour cette raison elles ne sont **autorisées que pour assurer la direction des véhicules dont la vitesse ne dépasse pas 30 km/h**.

## • LES DIRECTIONS MÉCANIQUES :

— Le mécanisme de direction (fig. 161) :

Partant du volant, monté sur la colonne de direction, le mouvement de rotation est démultiplié et transformé en mouvement pendulaire par le **boîtier de direction** (fig. 162).

Le mouvement du boîtier est transmis aux roues directrices par la **barre (ou biellette) de direction**, un **levier de connexion** solidaire d'un des **pivots de roue**, des **biellettes** et une **barre d'accouplement** qui assurent le couplage des roues droite et gauche (fig. 161).

— La géométrie des trains directeurs :

Dans le cas d'un train avant directeur, la géométrie des éléments de la direction et des roues doit répondre à quatre caractéristiques : l'**épure de Jeantaud** (fig. 163), le **parallélisme**, l'**angle d'inclinaison de pivot**, l'**angle de carrossage** et l'**angle de chasse**.

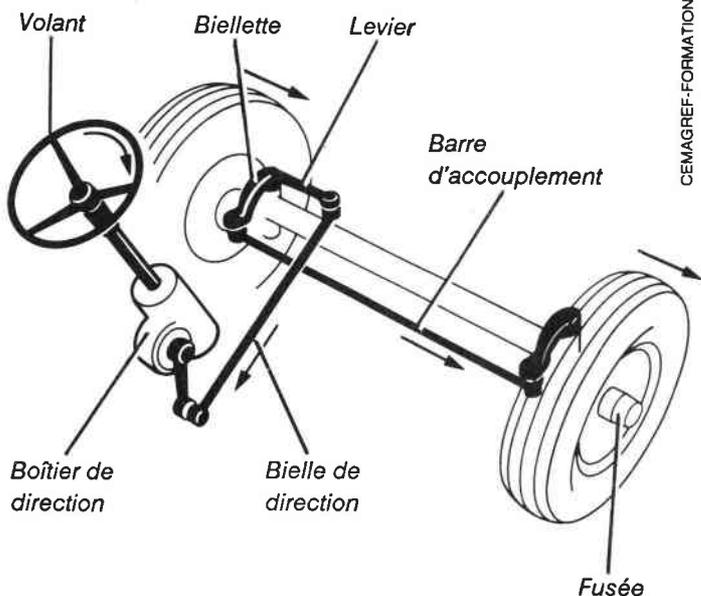


Fig. 161 — Principe d'une direction à commande mécanique.

- **L'épure de Jeantaud (fig. 163) :**

C'est la disposition géométrique des biellettes de direction qui permet aux roues directrices de décrire, dans les virages, **des circonférences différentes, mais concentriques** ; quel que soit le rayon de braquage. L'épure est correcte lorsque les droites fictives, passant par les biellettes de direction, se rencontrent sur l'axe de l'essieu arrière.

- **Le parallélisme :**

Afin que les roues soient effectivement parallèles lors des déplacements, on leur donne à l'arrêt, soit **une ouverture (divergence)** si elles sont motrices, soit **un pincement (convergence)** si elles sont seulement directrices. Le réglage du parallélisme est obtenu par la modification de la longueur de la barre d'accouplement.

- **L'angle d'inclinaison de pivot :**

Les pivots sont les axes autour desquels pivotent les fusées qui supportent les roues. L'inclinaison des pivots est établie de manière à ce que l'axe de pivotement passe par le centre d'appui de la roue sur le sol.

- **L'angle de carrossage :**

Le carrossage est l'inclinaison donnée au plan d'une roue avant directrice par rapport à la verticale. C'est aussi l'angle que fait l'axe de la fusée d'une roue avec l'horizontale. L'angle de carrossage contribue à une meilleure stabilité des roues directrices.

- **L'angle de chasse :**

Il correspond à une légère inclinaison vers l'avant des pivots des roues directrices, de manière à positionner le point de contact de la roue, en arrière du point de rencontre virtuelle entre l'axe de pivot et le sol. Cette disposition influe utilement sur la

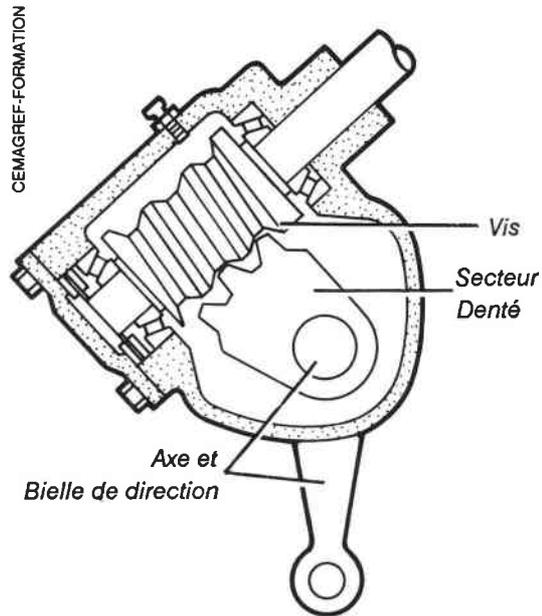


Fig. 162 — Boîtier de direction à vis et secteur denté.

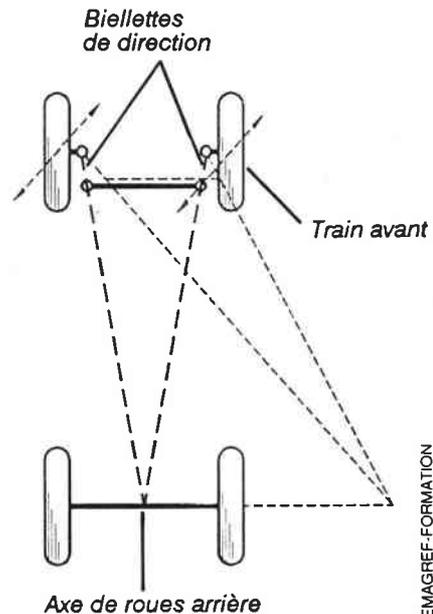


Fig. 163 — L'épure de Jeantaud.

stabilité en incitant le véhicule à revenir en ligne droite après qu'il ait effectué un virage.

Cet angle permet aussi d'obtenir un rayon de braquage plus faible pour les tracteurs à quatre roues motrices dont les diamètres des roues sont plus importants.

## • LES DIRECTIONS MÉCANIQUES ASSISTÉES :

Il s'agit de directions mécaniques associées à un dispositif d'assistance qui réduit considérablement l'effort demandé au conducteur. La liaison mécanique entre le volant et les roues est conservée par mesure de sécurité en cas de défaillance du dispositif d'assistance.

L'énergie d'assistance est hydraulique sur les tracteurs agricoles, alors qu'elle fait souvent appel à l'air comprimé sur les camions.

Parmi les différents dispositifs à assistance hydraulique, citons : les directions assistées par vérin asservi (fig. 164), et les boîtiers de direction à assistance intégrée.

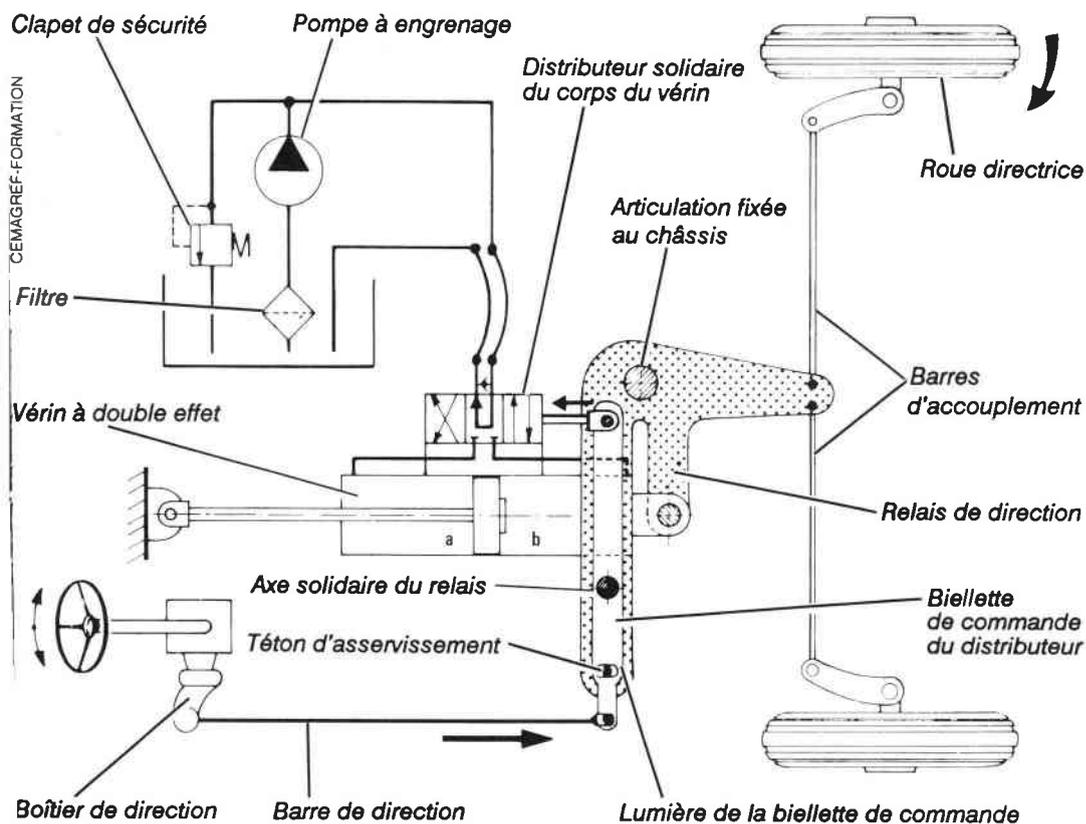


Fig. 164 – Principe d'une direction mécanique à assistance hydraulique.

## — Direction assistée par vérin asservi (fig. 164) :

L'ensemble de ce dispositif d'assistance est composé d'un distributeur à tiroir placé sur le cylindre mobile du vérin ; la tige du vérin étant fixée au châssis. Le tiroir du distributeur est sollicité par une biellette commandée par le boîtier de direction. Cette biellette est elle-même articulée à un **relais de direction** qui relie le cylindre du vérin à double effet et les barres d'accouplement de la direction.

Lorsque le conducteur actionne le volant de direction vers la droite, par exemple : dans un premier temps la barre de direction agit sur la biellette de commande et provoque le déplacement du tiroir distributeur (dans cette position, la biellette de commande vient en contact avec le téton d'asservissement solidaire du relais de direction).

L'huile venant de la pompe hydraulique peut donc aller dans le vérin qui actionne alors le relais et le braquage des roues. Pendant le pivotement des roues directrices, le chauffeur accompagne le mouvement par la rotation du volant ; mais l'effort musculaire requis est alors très faible.

Au moment où le conducteur cesse d'agir sur le volant, la barre de direction et l'extrémité correspondante de la biellette s'immobilisent. Cependant, le corps du vérin, entraînant avec lui le bloc distributeur qui lui est solidaire, continue à se déplacer très faiblement afin de permettre au dispositif d'asservissement de rétablir le point neutre.

## — Les boîtiers de direction à assistance intégrée :

Le principe de commande est semblable au précédent, mais le vérin d'assistance se trouve à l'intérieur du boîtier de direction.

Cette solution, très compacte, est couramment utilisée sur les véhicules utilitaires, en raison de la sécurité offerte par la **suppression des conduites externes** d'alimentation du vérin d'assistance.

## • LES DIRECTIONS HYDROSTATIQUES (fig. 165) :

Seulement réservées aux véhicules lents, (moins de

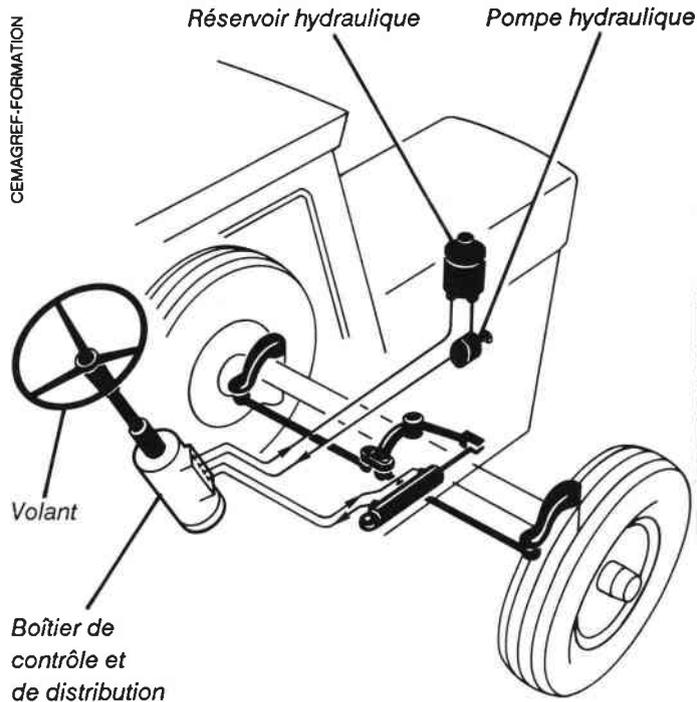


Fig. 165 — Principe d'une direction à commande hydrostatique.

30 km/h), les directions hydrostatiques équipent de façon courante les tracteurs et les machines agricoles automotrices dont le train directeur est souvent éloigné du poste de conduite (cas des moissonneuses-batteuses par exemple). Elles constituent aussi la solution idéale lorsqu'il s'agit d'équiper un poste de conduite inversé de tracteur agricole.

Une direction hydrostatique est un dispositif entièrement hydraulique qui comprend essentiellement (fig. 166), un **boîtier de distribution et de contrôle**, commandé par le volant et qui remplace le boîtier de direction mécanique traditionnel.

**Deux conduites hydrauliques** remplacent la barre de direction et relient le boîtier de distribution au **vérin de direction**.

L'énergie nécessaire au fonctionnement du dispositif est fournie par le débit d'une **pompe indépendante** ou d'un **diviseur de débit à une voie prioritaire**.

La figure 166 montre le principe de fonctionnement du boîtier de distribution et de contrôle qui comprend :

- un **boisseau** actionné par le volant,
- une **douille de distribution**,
- un **moteur d'asservissement**,
- un **clapet anti-retour**.

Le **boisseau** est placé à l'intérieur de la douille de distribution, où il peut pivoter de quelques degrés dans un sens ou dans l'autre. La douille est par ailleurs reliée au rotor du moteur d'asservissement par un arbre cannelé. L'ensemble boisseau-douille constitue un distributeur rotatif.

Lorsque le conducteur actionne le volant à droite par exemple, le **décalage angulaire du boisseau** permet à l'huile de la pompe d'aller d'abord dans le moteur d'asservisse-

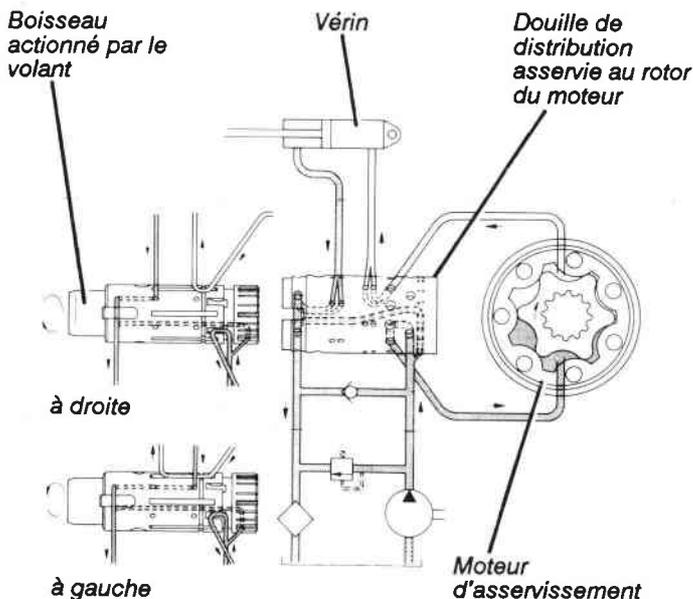


Fig. 166 — Dispositif de direction hydrostatique DANFOSS (Document DANFOSS).

ment, puis dans le vérin de direction. Le rôle du moteur est en fait d'entraîner la douille afin que celle-ci accompagne la rotation du boisseau et donc du volant. Dès que le conducteur immobilise le volant, la douille, animée par le moteur, rattrape le boisseau pour assurer aussitôt l'arrêt du braquage. Il s'agit donc d'un **asservissement par mouvement de poursuite**.

De cette façon la quantité d'huile envoyée au vérin est proportionnelle au nombre de tours de volant.

De plus, en cas de panne d'alimentation hydraulique et au prix d'un effort musculaire de braquage beaucoup plus élevé, c'est le conducteur qui actionne « en pompe », le rotor du moteur d'asservissement, afin de conserver le contrôle de la direction du véhicule. Dans cette situation, le clapet anti-retour permet au rotor de réaspirer l'huile à son retour du vérin.

## • LE FREINAGE DES TRACTEURS :

Généralement le système de freinage des tracteurs n'agit que sur les roues arrière. Cependant, certains tracteurs disposent d'un freinage des roues avant, soit par des freins placés dans chaque roue, soit par un frein agissant sur l'arbre d'entrée du pont avant. Notons que, sur un tracteur à quatre roues motrices muni seulement de freins arrière et si le pont avant est enclenché, le freinage est malgré tout réparti sur les quatre roues.

Pour une meilleure efficacité, **les freins sont placés entre le différentiel et les réducteurs finals**, de manière à réduire le couple de freinage.

Le frein de chaque roue arrière est commandé par une pédale séparée, afin de permettre, aux champs, de virer plus court en ne freinant éventuellement que le côté interne du virage. **Pour les parcours routiers, les pédales doivent être impérativement jumelées de façon à permettre un freinage égal sur les deux roues.**

Certains tracteurs de petite puissance ou du parc ancien sont équipés de **freins à tambours** ; d'autres utilisent des freins à disques, à sec, du type automobile, mais le plus souvent les constructeurs préfèrent la technologie des **freins à disques immergés dans l'huile**.

### — Les freins à tambour (fig. 167) :

Ces freins sont utilisés sur les poids lourds, à l'arrière des automobiles, sur des

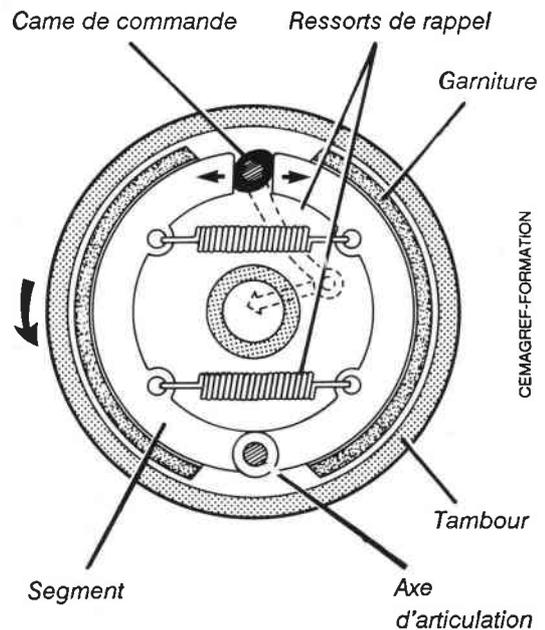


Fig. 167 — Principe d'un frein à tambour.

machines automotrices et sur les essieux des remorques agraires. Leur principe est le suivant : **deux segments, solidaires d'un support fixe par rapport aux roues, peuvent venir s'appliquer**, au cours du freinage, à l'intérieur d'un **tambour creux solidaire du moyeu de roue**. Ces segments articulés à l'une de leurs extrémités, autour d'un point fixe, peuvent être écartés, à l'autre extrémité, par le jeu d'une **double came** (par l'intermédiaire d'une tringlerie actionnée par la commande de freinage), ou par les pistons d'un **cylindre hydraulique récepteur**. Sur leur surface de frottement, ces mêmes segments portent une **garniture de friction** fabriquée dans une matière analogue à celle qui compose les garnitures d'embrayage. Ils sont rappelés dans la position de repos par des **ressorts**. Le premier segment qui travaille en compression est dit **segment primaire** ; le second est dit **segment secondaire ou tendu**.

— **Les freins à disque, à sec (fig. 168) :**

Système dans lequel le freinage est assuré non plus par des segments frottant à l'intérieur d'un tambour, mais par des **garnitures ou plaquettes serrant un disque calé sur l'arbre de la roue**. Les freins à disque sont généralement commandés hydrauliquement.

L'expression « à sec » signifie que la friction doit absolument s'effectuer sans huile.

— **Les freins à disque immergés dans l'huile (fig. 169) :**

Réservés aux matériels agricoles et de travaux publics, ces freins comportent **un ou plusieurs disques** pouvant être serrés chacun entre deux plateaux de pression intervenant sur toute la surface annulaire des disques. Ils permettent d'importants couples de freinage même à vitesse lente.

La compression des disques peut être obtenue par un piston annulaire commandé hydrauliquement ou par des plateaux à écartement mécanique.

La figure 169 montre un système de freinage à commande mécanique. Il comporte **des billes prisonnières entre deux logements coniques** situés sur deux plateaux juxtaposés. Lors du freinage, les deux plateaux sont animés d'un mouvement de rotation oppo-

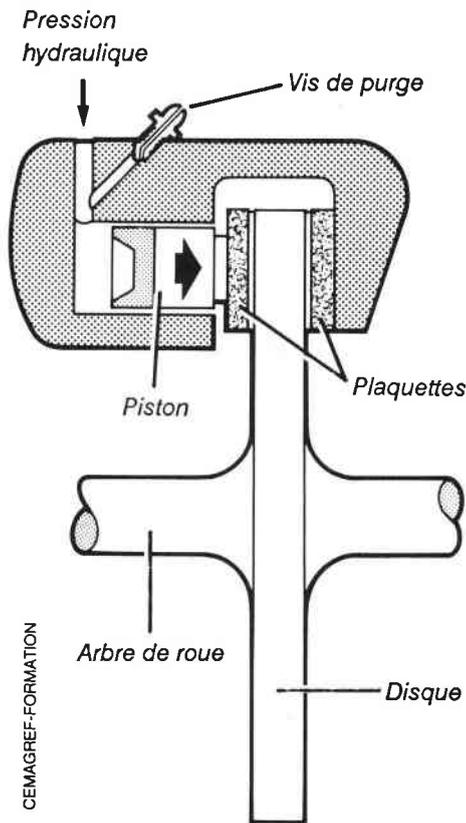


Fig. 168 — Frein à disque.

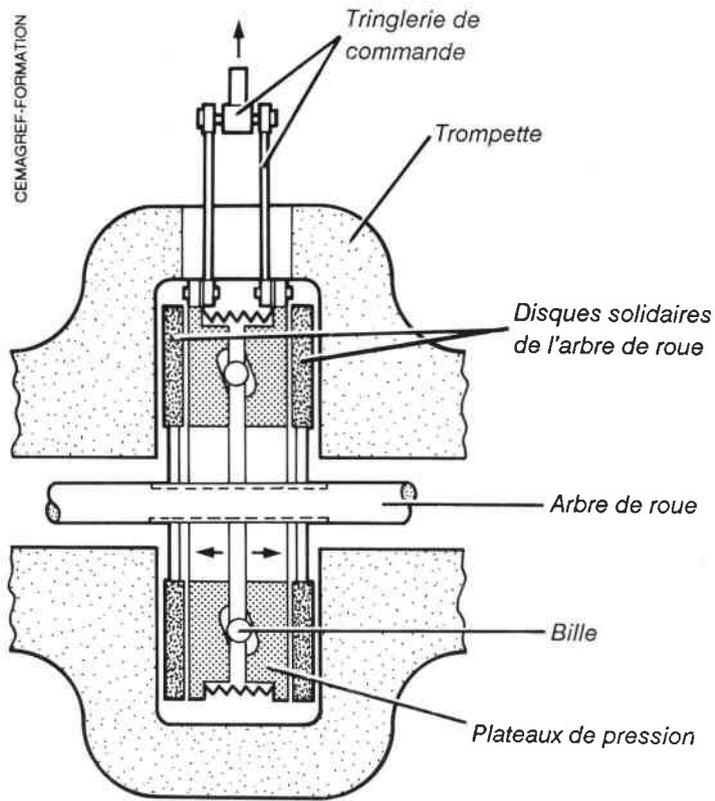


Fig. 169 — Frein à plateaux et disques multiples sous bain d'huile.

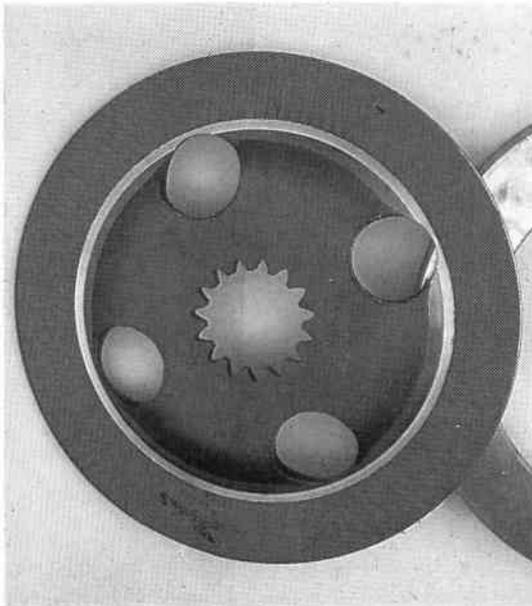


Fig. 170 — Disque de freins immergés en matériau cellulo-composite (Photo CEMAGREF-DICOVA).

sée qui oblige les billes à écarter les deux plateaux voisins et à comprimer les disques contre des surfaces fixes.

Les disques sont constitués (fig. 170 et 171) de garnitures anti-friction réalisées en **matériaux composites (dérivés cellulose-siques, carbone...)**, ou en **matières céra-métalliques frittées**.

Le freinage s'effectue dans l'huile ; l'huile de caractéristiques spécifiques, évite le grippage des freins, sert d'intermédiaire de friction et évacue la chaleur dégagée au cours du freinage.

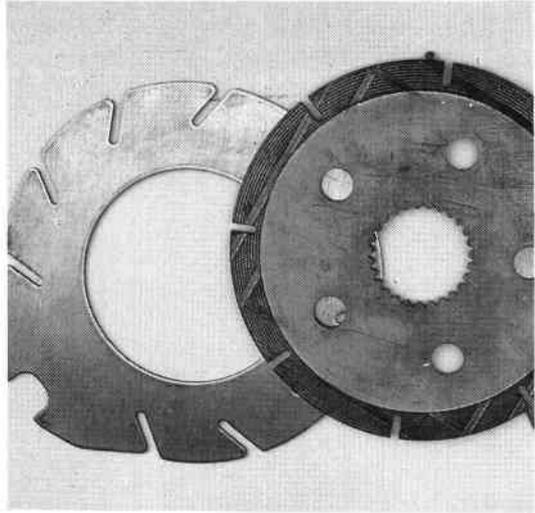


Fig. 171 — **Disque de freins immergés en matière céra-métallique frittée**  
(Photo CEMAGREF-DICOVA).

### — Les systèmes de commande des freins :

Selon les cas les freins peuvent être actionnés soit par commande directe mécanique ou hydraulique, soit par commande assistée.

#### - Les freins à commande mécanique directe (fig. 172) :

Ce sont des **tringleries** qui transmettent directement aux freins l'effort appliqué à l'une ou l'autre des pédales de commande. Le jumelage des pédales permet le freinage sur route.

#### - Les freins à commande hydraulique directe (fig. 173) :

C'est le système le plus courant ; l'énergie mécanique appliquée aux pédales est d'abord transformée en énergie hydraulique par des **maître-cylindres**, puis transformée en énergie mécanique par des **cylindres récepteurs**. L'action sur chaque pédale provoque une poussée sur le piston du maître-cylindre qui crée la pression hydraulique dirigée vers le cylindre récepteur qui actionne les freins.

Les deux circuits qui permettent le blocage différencié d'une roue peuvent travailler ensemble sur route et sont alors équilibrés grâce à un **répartiteur de pression**, (fig. 173).

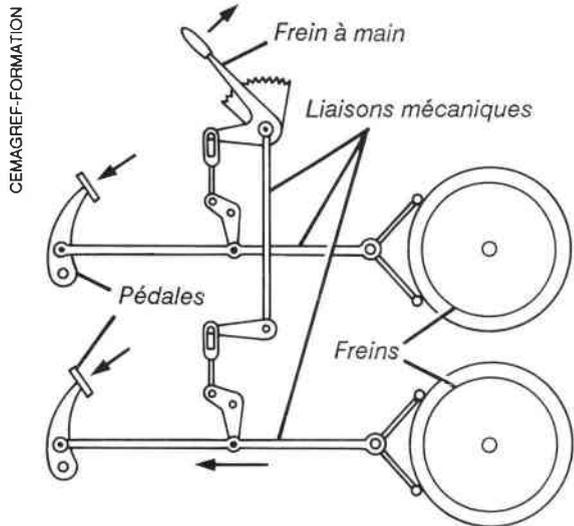


Fig. 172 — **Freins à commande mécanique directe.**

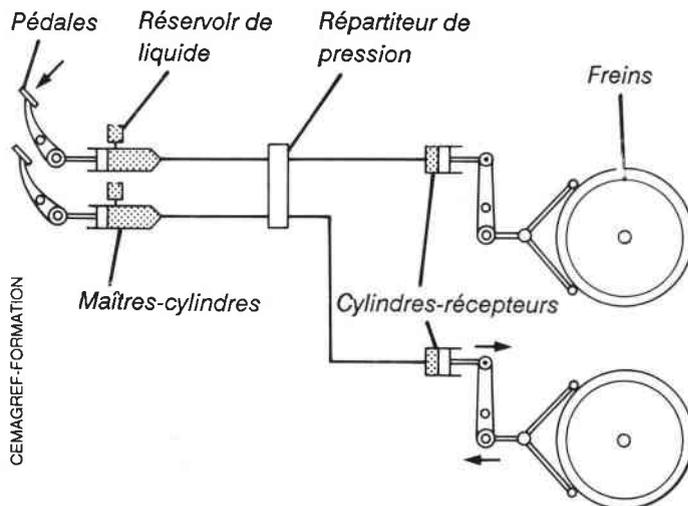


Fig. 173 — Freins à commande hydraulique directe.

- Les freins à commande assistée (fig. 174) :

L'effort de pression sur les pédales de freinage peut-être tel que l'on doit faire appel à une **assistance**. Un frein **assisté** est donc un système dans lequel l'action du conducteur sur la pédale de freinage est amplifiée par un dispositif d'assistance.

La figure **174** montre schématiquement le fonctionnement d'un système hydraulique d'assistance de freinage : l'enfoncement de la pédale de frein provoque une poussée sur le piston d'un maître-cylindre, puis sur une tige et un ressort d'asservissement qui commandent un **distributeur modérable**. L'huile de la pompe hydraulique peut alors se diriger vers le cylindre récepteur de freinage, jusqu'à ce que sa pression s'équilibre avec la tension du ressort supérieur et repousse le tiroir en position neutre. Chaque position de la pédale correspond à une force de compression du ressort supérieur et donc à une pression de freinage.

• LE FREINAGE DES REMORQUES :

Le Code de la Route distingue deux cas, selon que le poids **total autorisé en charge (PTAC)** de la remorque est inférieur ou supérieur à 6 tonnes.

— Pour les remorques dont le **PTAC est inférieur à 6 tonnes**, le Code de la Route impose un frein à main ou frein de parc (pour l'immobilisation du véhicule à l'arrêt) et un frein commandé manuellement depuis le poste de conduite et qui puisse être **actionné en marche**. La commande **mécanique**, par câble et tringleries appropriées, est admise pour ce genre de matériels.

— Pour les remorques dont le **PTAC est supérieur à 6 tonnes**, le Code de la Route impose, outre le frein de parc, une installation de **freinage assisté** au moyen d'un système

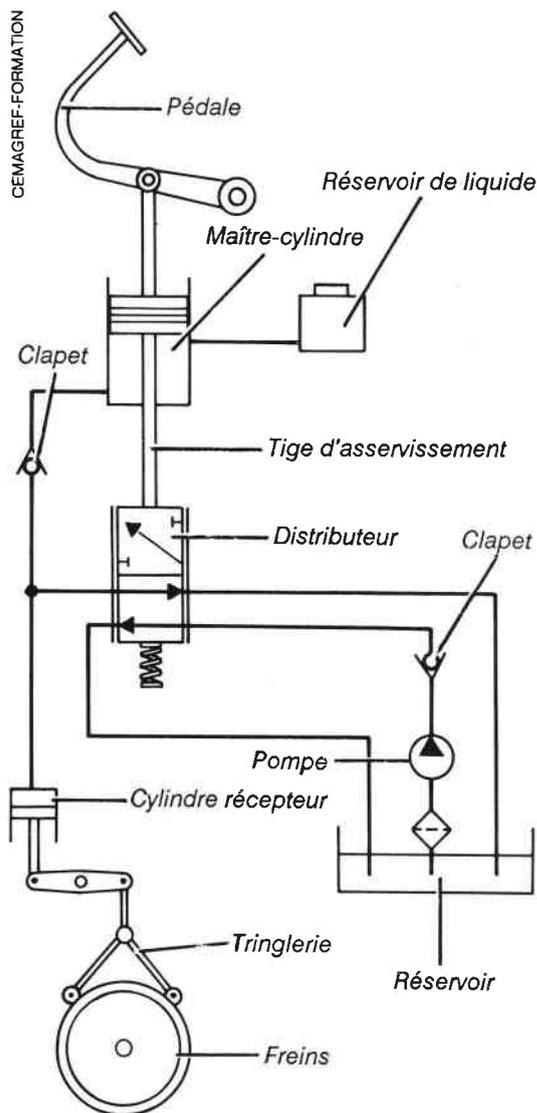


Fig. 174 — Freins à assistance hydraulique.

hydraulique qui puisse toujours être actionné de façon modérée depuis le poste de conduite du tracteur et qui puisse, en outre bloquer les roues de la remorque en cas de rupture d'attelage (fig. 175 et 176). Les liaisons entre le tracteur et la remorque s'effectuent grâce à un raccord hydraulique normalisé et un câble agissant en cas de rupture d'attelage. Le circuit hydraulique du tracteur comprend un distributeur-régulateur de pression parfois appelé « valve de freinage de remorque » (fig. 177). Ce distributeur-régulateur de pression est conçu de manière à prélever l'énergie de freinage en priorité sur les autres circuits, à établir une pression de freinage progressive et proportionnelle aux sollicitations du conducteur et à limiter cette pression à 150 bars. Selon les cas, la valve de freinage est à commande manuelle ou couplée aux freins du tracteur.

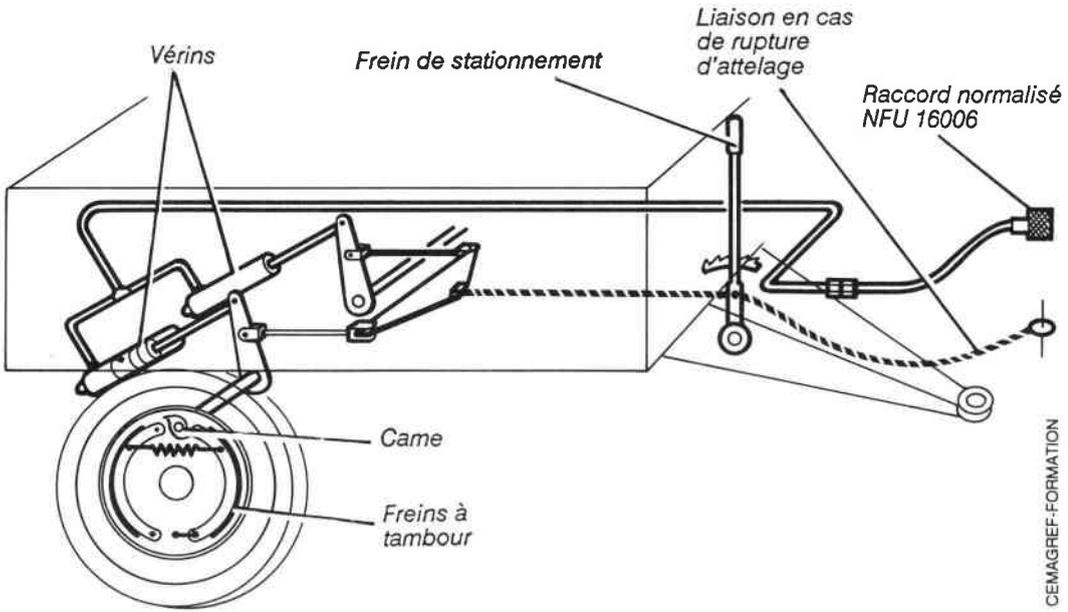


Fig. 175 — Le principe du freinage hydraulique d'une remorque.

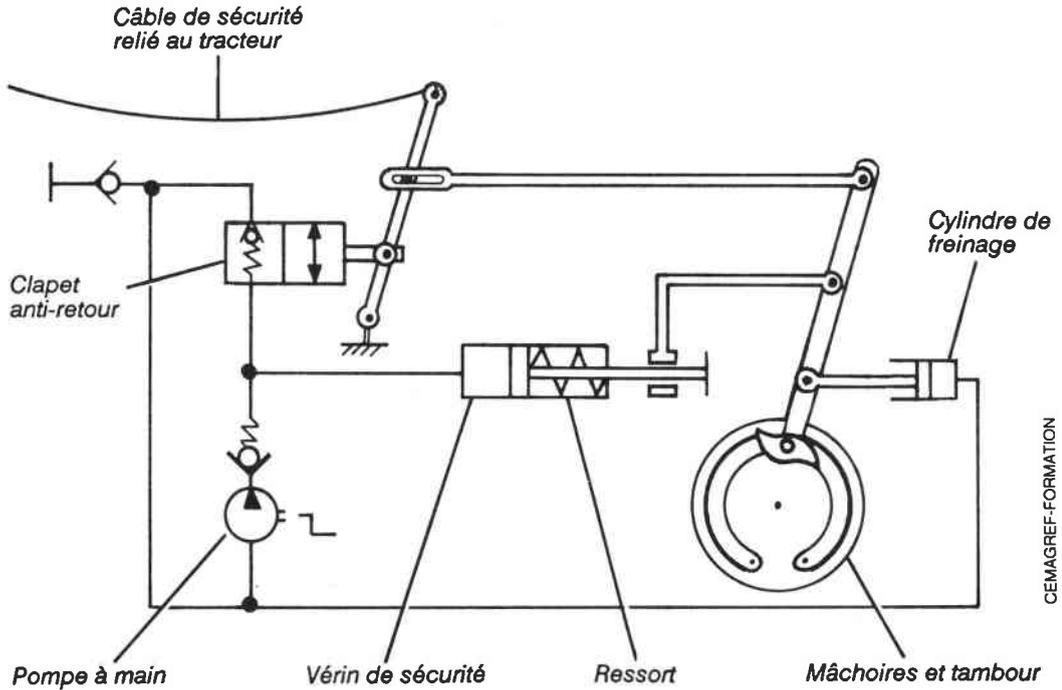


Fig. 176 — Principe du freinage d'une remorque avec sécurité hydromécanique en cas de rupture d'attelage.

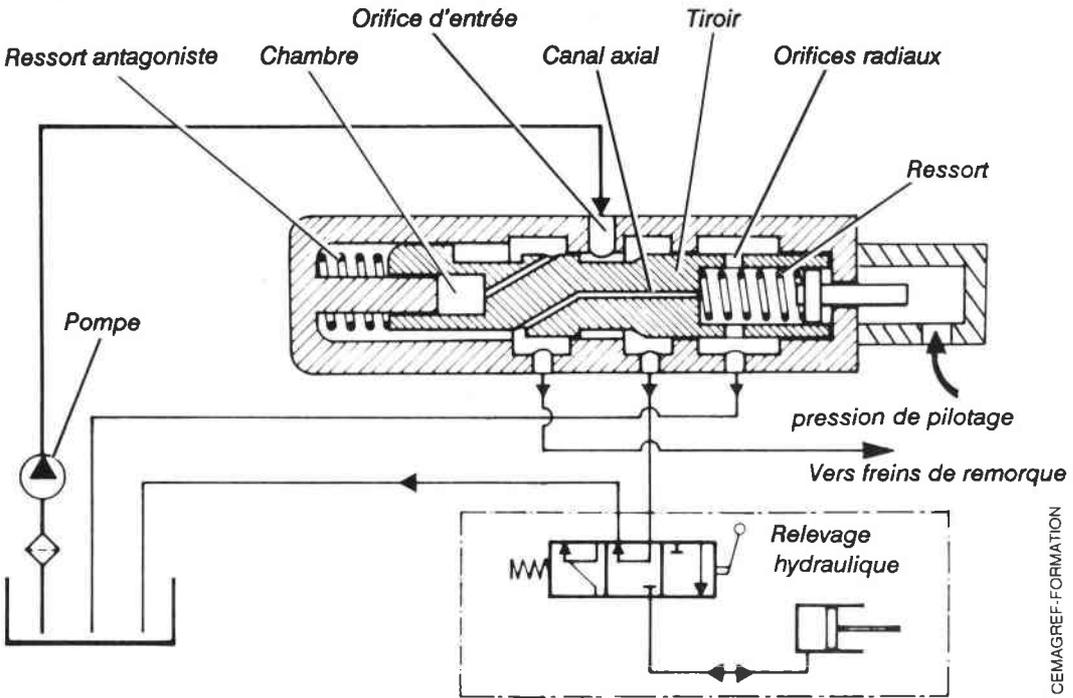


Fig. 177 — Principe d'une valve de freinage de remorque.

CEMAGREF-FORMATION

La figure 177 représente une **valve de freinage pilotée hydrauliquement par les freins du tracteur** :

Lorsque le tiroir est en position de repos, le débit de la pompe arrive par l'orifice d'entrée et passe directement aux autres récepteurs par l'orifice de sortie. Au freinage, une pression dérivée des freins du tracteur vient piloter le tiroir par l'intermédiaire d'un poussoir et d'un ressort. L'orifice de sortie se trouve ainsi étranglé et la pression peut s'appliquer au circuit de freinage de la remorque. Cette pression existe également dans la chambre interne du tiroir et la poussée qui en résulte repousse le tiroir vers la droite jusqu'à l'équilibre (avec l'action du ressort de poussoir). La pression de freinage de la remorque est **régulée** en fonction de la pression de pilotage, issue des freins du tracteur.

Si, en raison du fonctionnement du relevage par exemple, la pression du circuit hydraulique du tracteur devient supérieure à la pression de freinage souhaitée, le distributeur se comporte alors comme un détendeur car la pression dans la chambre du tiroir, le repousse immédiatement vers la droite jusqu'à ce que le passage de l'huile entre l'orifice d'entrée et l'orifice de freinage ne soit plus possible.

Les systèmes de **freinage d'urgence** des remorques, en cas de rupture d'attelage, sont constitués soit d'un dispositif mécanique (fig. 175), soit d'un dispositif hydro-mécanique (fig. 176).

## • LE CONTACT ROUE-SOL, L'ADHÉRENCE ET LE TASSEMENT :

### — Le glissement :

Rappelons qu'au lieu de parcourir, à chaque tour, un chemin égal à sa circonférence (**D**), une roue motrice ne parcourt, en réalité, qu'une distance plus faible (**d**). La mesure du glissement (**g**) s'exprime le plus souvent en pourcentage par la relation :

$$g \% = \frac{D - d}{D} \times 100$$

Le glissement est de 100 % (patinage total) lorsque, malgré la rotation des roues motrices, le déplacement du tracteur est nul ( $d = 0$ ).

### — L'adhérence :

D'une manière générale, on dit qu'il y a adhérence lorsque deux surfaces résistent au glissement de l'une par rapport à l'autre. Dans ce cas, on appelle **coefficient d'adhérence** (**Ca**), le quotient de la force (**F**) qui tend à faire glisser les surfaces, par la force perpendiculaire (**P**) qui plaque ces surfaces l'une contre l'autre :

$$Ca = \frac{F}{P}$$

Pour mieux comprendre le phénomène de l'adhérence, **considérons d'abord la traction sur sol dur** (béton, par exemple). Le coefficient d'adhérence est dans ce cas, théoriquement indépendant de la surface de contact roue-sol (dimension et pression des pneumatiques). Il ne dépend que de la nature des matériaux en présence (gomme et béton), conformément aux lois de Coulomb.

En revanche, **sur sol agricole le phénomène est bien plus complexe à appréhender car l'adhérence dépend de l'état et de la nature du sol, de la surface de contact avec le sol et de la sculpture des pneumatiques.**

Sur sol agricole, on utilise la notion de **coefficient de traction** (**Ct**). Le coefficient de traction d'un véhicule correspond au quotient de l'effort de traction appliqué à l'outil (**F**) par le poids (**T**) sur les roues motrices.

$$Ct = \frac{F}{T}$$

**L'adhérence** caractérise essentiellement la tendance que manifestent les dispositifs de propulsion (roues motrices ou chenilles) d'un véhicule à **s'agripper à la surface du matériau qui les supporte** (le sol en l'occurrence) sous l'effet du poids qui leur est appliqué. **Elle permet au tracteur de se propulser lui-même et d'exercer un effort de traction sur les outils attelés.**

De bonnes conditions d'adhérence permettent de transmettre le couple de traction nécessaire avec un glissement le plus faible possible, afin de limiter un gaspillage d'énergie et l'usure des pneumatiques.

Pour résumer ces propos, prenons l'exemple de deux tracteurs (A) et (B) :

	Tracteur A	Tracteur B
Charge verticale sur les roues motrices	6 000 kg	4 000 kg
Effort de traction aux roues	3 000 kg	2 000 kg
Coefficient de traction	0,5	0,5
Glissement mesuré	18 %	18 %

Ces deux tracteurs ont la même adhérence (coefficient de traction de 0,5). En pratique on considère que le glissement, lorsqu'il est inférieur à 25 %, tend à être proportionnel à l'effort de traction, (fig. 178). Ceci nous conduit à estimer par exemple que dans les mêmes conditions le tracteur A pourrait tirer une charge trois fois plus faible (1 000 kg) avec un glissement trois fois plus faible (6 %). Ceci montre l'inter-dépendance entre les trois facteurs d'adhérence : **charge verticale, effort de traction et glissement.**

Pour augmenter l'adhérence d'un tracteur sur un sol agricole, il existe plusieurs solutions qui tendent, soit à augmenter la surface de contact des roues motrices avec le sol, soit à utiliser des éléments complémentaires améliorant l'accrochage.

Pour augmenter la surface de contact avec le sol, il est possible d'utiliser des pneumatiques larges et de grand diamètre, de réduire la pression de gonflage dans les limites autorisées, de jumeler les roues motrices (fig. 179) ou d'adapter des semi-chenilles (fig. 180).

Pour améliorer l'accrochage il est possible d'utiliser des équipements complémentaires : roues-cages (fig. 181), semi-chenilles (fig. 180), chaînage...

Pour limiter le glissement, on peut accroître la charge verticale sur les roues motrices en utilisant, selon les cas, des dispositifs d'allourdissement (masses d'allourdissement ou gonflage à l'eau) ou les effets de transfert de charge (choix du joint d'attelage, utilisation du contrôle d'effort du relevage hydraulique,...).

Rappelons cependant que la réduction du glissement par un lestage excessif peut conduire à des pertes par roulement (résistance au roulement), nettement plus élevées. Là encore, à chaque situation cor-

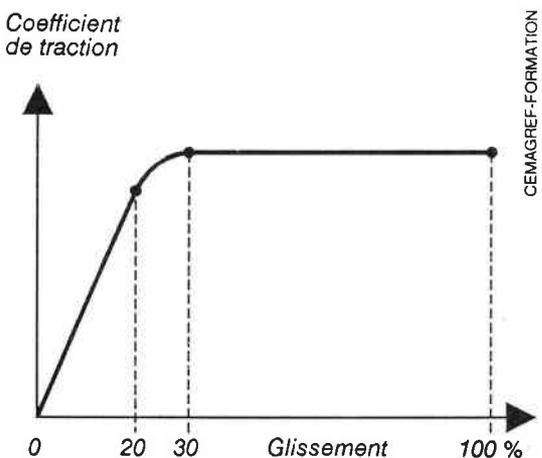


Fig. 178 – Variation de l'effort de traction en fonction du glissement.



Fig. 179 — Jumelage (Photo Case IH).



Fig. 180 — Tracteur équipé de semi-chenilles.

respond un compromis qui résulte de l'expérience, de l'état et de la nature du sol, du type de travail à réaliser,...

— **La résistance au roulement :**

La résistance ou effort de roulement est la force horizontale à exercer pour assurer le déplacement du tracteur lui-même. Elle est liée à l'énergie dépensée pour la déforma-

tion des pneumatiques et leur pénétration dans le sol (fig. 182). Elle est d'autant plus élevée que la déformation du pneumatique est élevée (sous l'effet du couple et de la charge verticale) et que le sol est meuble.

— **L'effort de traction :**

L'effort de traction correspond à la **force horizontale** fournie par un tracteur pour faire fonctionner l'outil qu'il tire. **La puissance de traction** est le produit de l'effort de traction par la vitesse d'avancement. La figure 182 montre un exemple de bilan d'utilisation de la puissance d'un tracteur ; ce bilan nous indique clairement que la puissance de traction disponible dépend très étroitement des pertes par glissement et roulement, (se reporter aussi au chapitre : les caractéristiques des tracteurs, l'effort de traction).

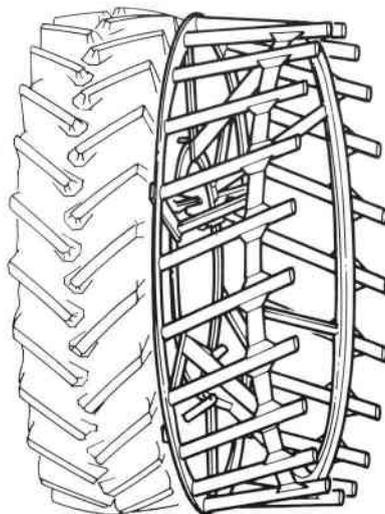


Fig. 181 — Roue cage associée à une roue motrice.

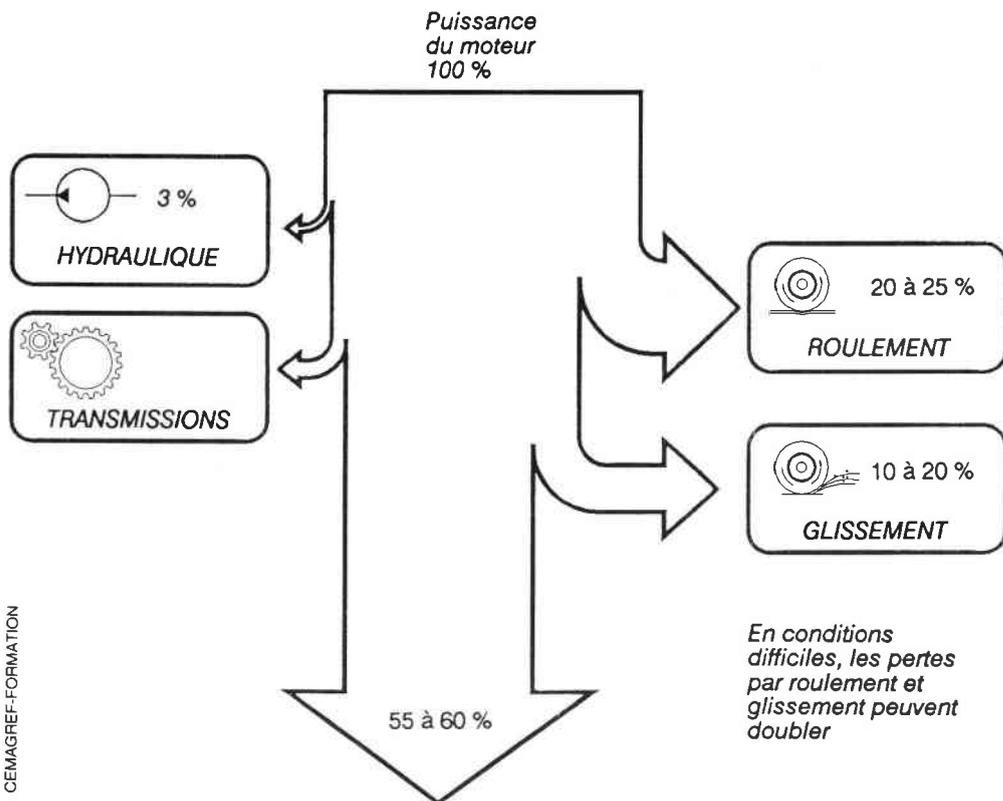


Fig. 182 — Bilan moyen de l'utilisation de la puissance d'un tracteur en traction.

## — Le tassement du sol :

Le tassement du sol se manifeste par **une réduction de porosité** (ou encore par **une augmentation de densité**) sous l'effet d'une pression liée au passage d'un véhicule. Elle augmente avec l'intensité de la **pression**, et la **fragilité de la structure du sol agricole**.

Dans un sol agricole, une réduction de porosité n'est pas toujours agronomiquement néfaste ; quand elle est temporaire elle peut même avoir un effet positif sur les rendements, selon les conditions pédo-climatiques et la cultures pratiquée. **A long terme un tassement excessif des sols agricoles est toujours néfaste et difficile à corriger.**

Pour un passage de tracteur donné, **le tassement résiduel du sol** est d'autant plus important que la pression exercée au sol est élevée, c'est à dire que la surface du contact pneu-sol est faible. De plus, le tassement résiduel du sol est d'autant plus élevé que **l'énergie transmise par les roues motrices est importante** (couple moteur élevé).

**En conditions de sol fragile on doit donc privilégier les équipements utilisant des pneus de grande largeur (ou des jumelages) et l'emploi d'outils demandant un faible effort de traction.**

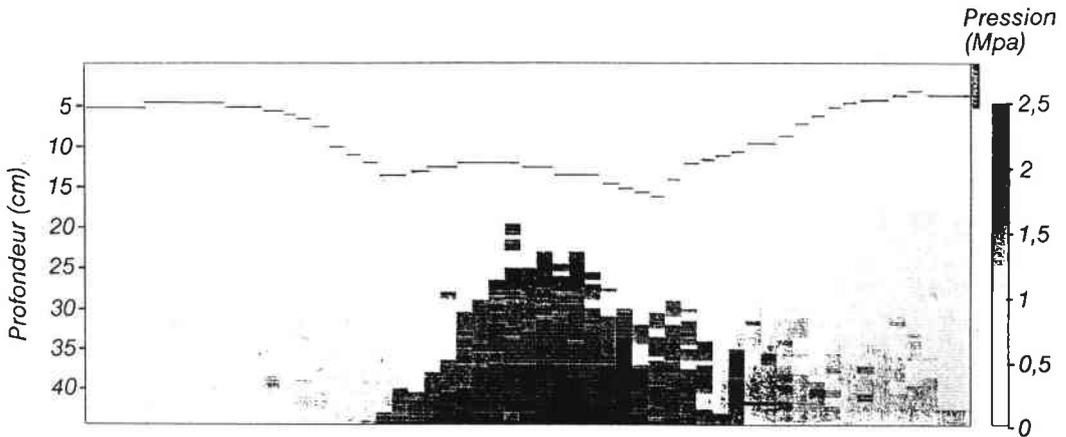
L'étude du tassement du sol par les roues est facilitée par les **pénétrromètres automatiques** (fig. 183) qui mesurent la résistance du sol à la pénétration, dans les champs ou dans des bacs à terre expérimentaux. La figure 184 montre **deux profils transversaux** relevés au CEMAGREF après un passage de roue. Dans le premier cas, la roue est passée avec seulement une charge verticale de 3 500 daN, et dans le second avec la même charge accompagnée d'un couple de 500 daN.m. La comparaison de ces deux relevés montre à l'évidence **l'influence du couple de traction sur le tassement et la diminution de la porosité du sol : les efforts verticaux (charge sur la roue) et tangentiels (couple moteur) se cumulent.**

## • LES PNEUMATIQUES :

Les matériels agricoles utilisent trois catégories de pneumatiques : les pneumatiques pour **roues motrices**, ceux pour **roues seulement directrices** et ceux pour **roues porteuses**. Chaque pneumatique, selon sa destination, présente un profil qui lui est propre et qui peut être défini comme **l'ensemble des sculptures de la bande de roulement**. Ce sont ainsi les

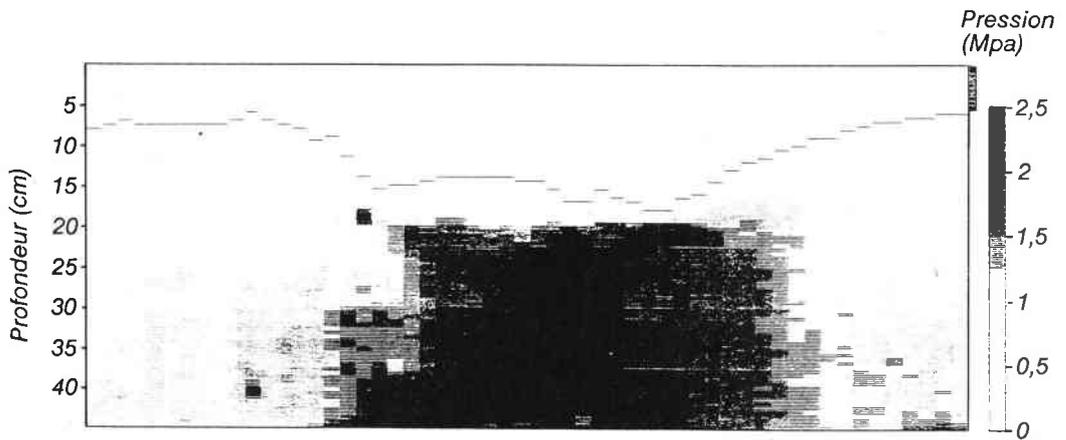


Fig. 183 — Vue d'un pénétrromètre automatique  
(Photo CEMAGREF).



Profil de tassement pour une charge verticale de 3 500 daN et un couple nul à la roue

CEMAGREF-FORMATION



Profil de tassement pour une charge verticale de 3 500 daN et un couple à la roue de 500 m. daN

Fig. 184 — Profils de tassement relevés avec un pénétromètre automatique  
(Document CEMAGREF).

barrettes qui caractérisent les pneus « tracteurs » pour roues motrices et les nervures longitudinales les pneumatiques pour roues directrices ou pour roues porteuses, (se reporter aussi à l'annexe documentaire).

Par rapport aux pneumatiques équipant les véhicules routiers, les pneumatiques agraires présentent, en fait, trois caractéristiques communes principales : **faible pression, grande**

**surface portante et grande souplesse.** Leur souplesse amortit les chocs provoqués par les obstacles rencontrés par la roue et constitue ainsi l'un des éléments — sinon le seul — de la suspension du tracteur. Leur grande surface de contact, réduit la **pression au sol** et assure la sustentation sur des terres meubles.

La structure ou l'enveloppe d'un pneumatique de traction (fig. 185) est constituée de quatre parties essentielles intimement liées entre elles : la **carcasse**, les talons, les flancs et la bande de roulement.

— **La carcasse :**

Elle constitue une armature formée de  **fils textiles** (rayonne, coton, nylon, etc.) disposés en **nappes** ou « plis ». Les nappes sont enrobées soit d'un  **latex artificiel**, soit d'une  **dissolution de caoutchouc** ou de  **résine synthétique**. Le tout est recouvert d'une couche de gomme formant, à la périphérie, la  **bande de roulement**. C'est la carcasse qui assure la solidité de l'enveloppe et lui permet de supporter la charge appliquée.

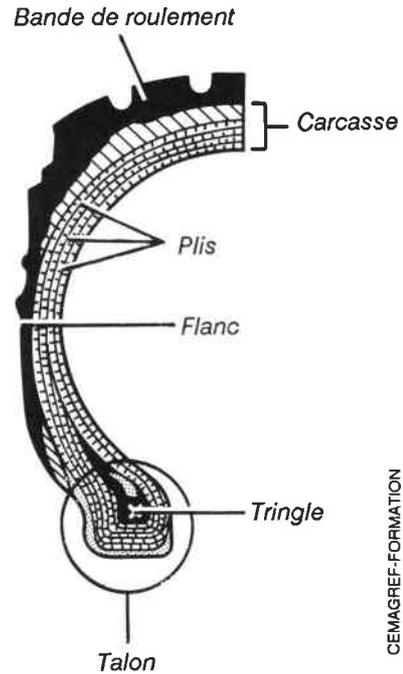


Fig. 185 — Coupe de l'enveloppe d'un pneu.

CEMAGREF-FORMATION

Il existe deux types de carcasses de pneumatique : le type **diagonal**, et le type **radial**.

- **La carcasse diagonale** (fig. 186), comprend des nappes croisées et inclinées d'environ 45°. L'ensemble de la carcasse, de la bande de roulement et les flancs forme **une structure solidaire**. La déformation des flancs tend à se répercuter sur la bande de roulement et à limiter l'adhérence dans certaines situations.

- **La carcasse radiale** (fig. 186), est constituée de **plusieurs nappes** de tissus superposés dont les fils (ou câbles) sont disposés en **arceaux radiaux**, c'est-à-dire parallèles entre eux et perpendiculaires au roulement. De plus la partie de cette structure radiale, située sous la bande de roulement est renforcée par **une ceinture inextensible de nappes de tissus**. Cette disposition conduit à une bande de roulement peu déformable et à des flancs plus souples qui confèrent à ce type de pneumatique des qualités d'adhérence accrues.

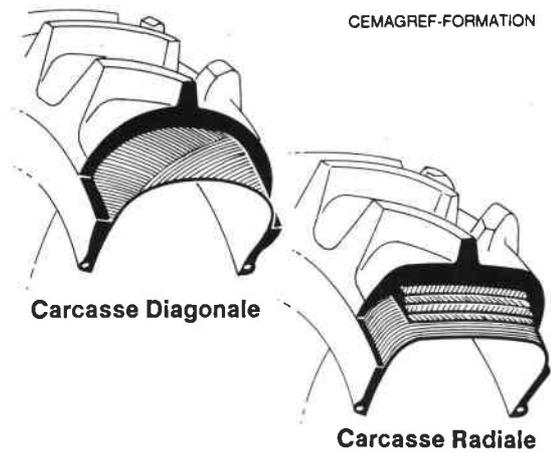


Fig. 186 — Les deux types de carcasses des pneumatiques.

CEMAGREF-FORMATION

### — Les talons :

Parties du pneumatique formant les **circonférences intérieures de l'enveloppe**. Les talons sont destinés à venir s'ancrer dans la jante. Le talon est armé d'un **cordons métallique circulaire en acier** ou « **tringle** », recouvert par les tissus de la carcasse et enrobé de caoutchouc. Des **repos de talon**, horizontaux (ou inclinés de 5 % par rapport à l'horizontale), assurent un parfait centrage du pneu sur la jante.

### — Les flancs :

Les flancs sont les éléments de liaison de la bande de roulement avec les talons. Leur structure conditionne la flexibilité et la souplesse de l'enveloppe. La gomme qui les recouvre, protège la carcasse contre les frottements et les chocs.

### — La bande de roulement :

La bande de roulement est l'élément **d'usure**. Conçue en gomme résistante, moulée avec le pneu ou rapportée par rechapage sur la périphérie du pneumatique, elle est munie de **reliefs d'adhérence antidérapants** ou « **sculptures** ». Au même titre que les **flancs**, la bande de roulement protège la carcasse contre les frottements, les chocs et les coupures.

### — Les dimensions des pneumatiques (fig. 187) :

Les dimensions d'un pneumatique sont indiquées par quatre valeurs :

- la **largeur de l'enveloppe** (L) ou, ce qui revient au même, la **largeur du boudin** exprimée en pouces (1 pouce = 1 inch = 2,54 cm),
- le **diamètre de la jante** (j) au point d'ancrage du pneumatique, dit aussi « **diamètre sous talon** », exprimé en pouces,
- la **hauteur du boudin** qui est la distance entre le plat de la jante et le sommet du pneumatique non écrasé. Le rapport hauteur/largeur, exprimé en pourcentage, est appelé indice de forme.

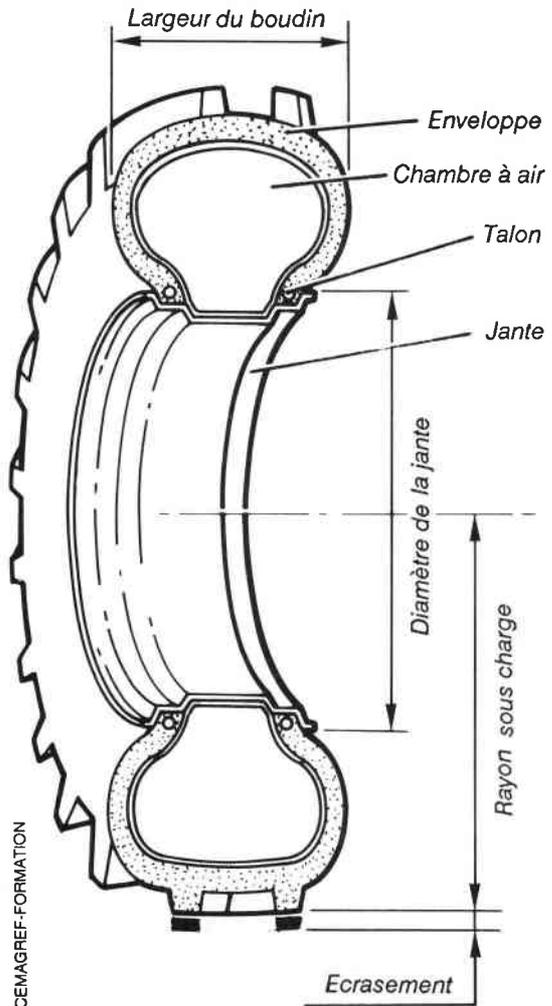


Fig. 187 — Les principales dimensions d'un pneumatique.

– le **rayon sous charge** est, pour une charge et une pression de gonflage données, la distance entre l'axe de la roue et la surface d'un sol dur.

Le **degré de déformation** ou **déflexion** est défini, en %, par le rapport :

$$100 \frac{e}{L}$$

dans lequel **e** est l'écrasement du pneumatique sous la charge et **L** la largeur du boudin. Ce rapport est d'environ 15 à 25 % pour un pneumatique agricole.

– **Les autres caractéristiques des pneumatiques :**

- **L'indice de résistance ou « ply-rating » (P.R.) :**

A l'origine, le nombre de nappes de tissu ou « **plis** » (en américain, « **ply** » ne veut pas dire pli mais **couche**) déterminait la charge pouvant être supportée par le pneu et, par conséquent, l'**indice de résistance mécanique** de celui-ci. Actuellement, compte tenu de l'évolution des matériaux de la carcasse, on leur fait correspondre le nombre fictif de nappes de tissu de coton qui donnerait une résistance identique ; d'où un nombre habituellement compris entre 4 et 10, inscrit également sur le flanc du pneumatique.

- **L'indice de capacité de charge :**

Nombre défini par les **normes E.T.R.T.O (Européan Tyre and Rim Technical Organisation)** et qui correspond à **des charges par pneu**. Le marquage de l'indice de capacité de charge est toujours accompagné de l'indice de vitesse. Exemple : **146 A8 = 3 000 kg par pneu à 40 km/h**.

- **L'indice de vitesse :**

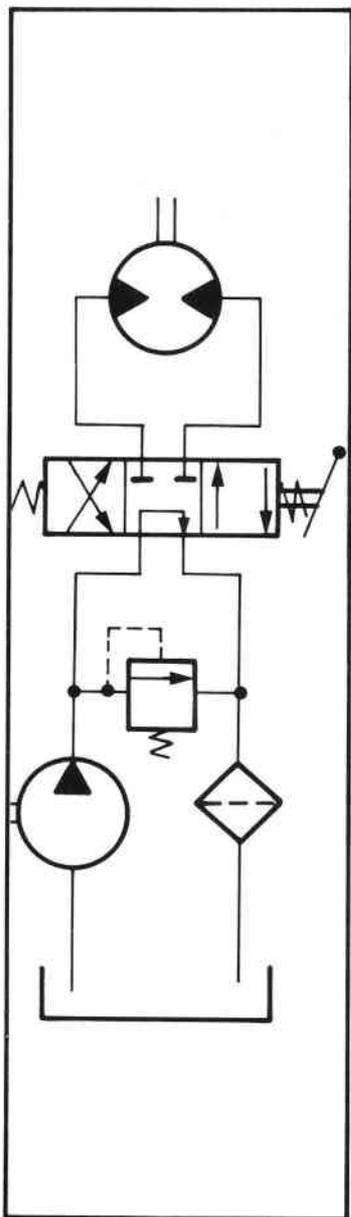
Symbole également défini par les **normes E.T.R.T.O** correspondant à des **vitesse de référence pour des charges données**. Exemple : **AG = 30 km/h, A8 = 40 km/h, E = 70 km/h, J = 100 km/h...**

Prenons pour exemple le marquage suivant :

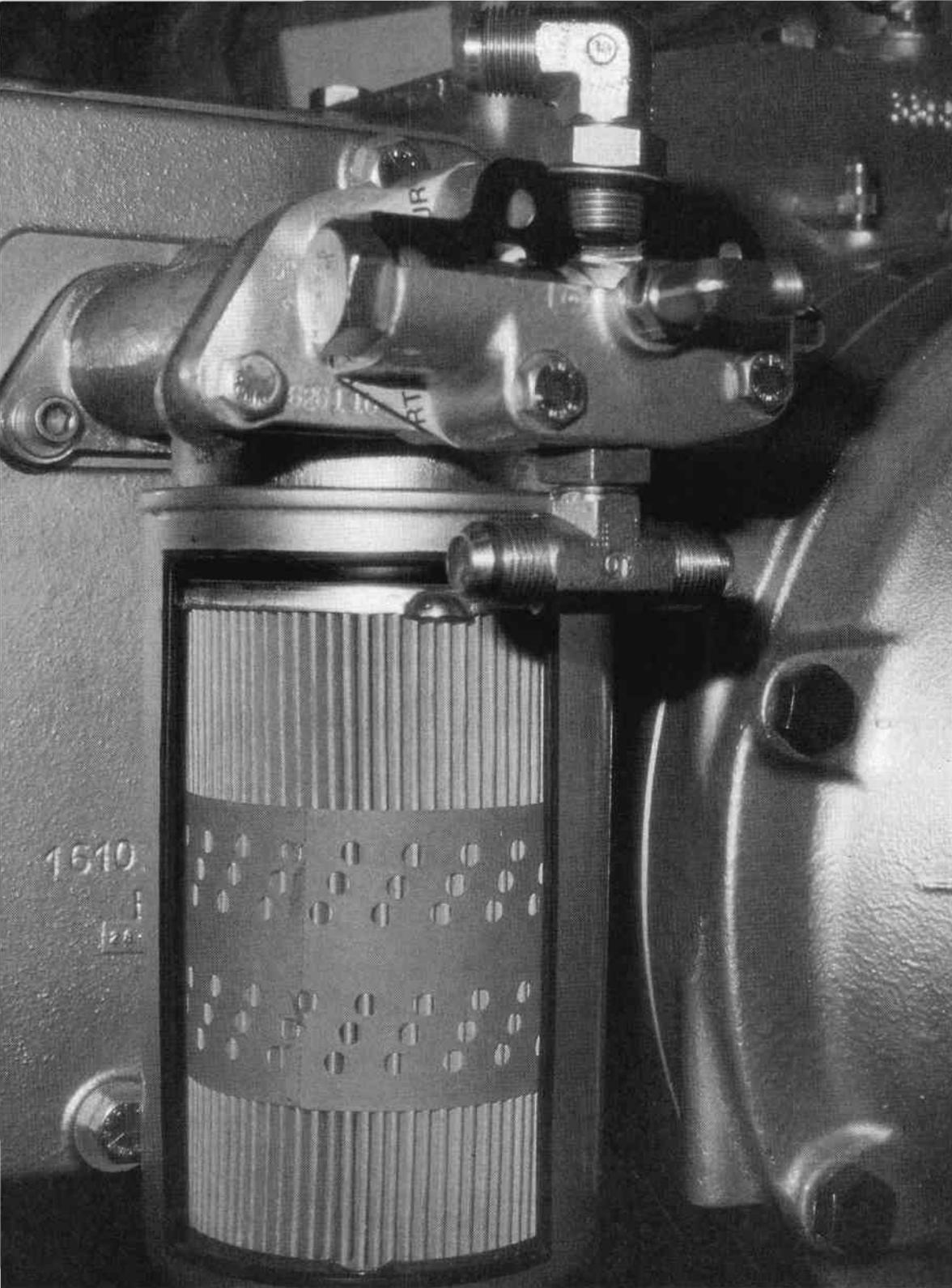
**16.9 R 34 PR 8 139 A8**

- **16.9** : largeur nominale du boudin, en pouces,
- **R** : radial,
- **34** : diamètre intérieur du pneu au talon, en pouces,
- **PR 8** : indice de résistance (Ply-rating).
- **139** : indice correspondant à une charge par pneu de 2430 kg,
- **A8** : symbole de vitesse correspondant à 40 km/h.

Se reporter aux tableaux de normalisation diffusés par les manufacturiers.



- Les transmissions hydrocinétiques . 201
- Le principe des transmissions hydrostatiques ... 205
- Les pompes hydrauliques ..... 213
- Les filtres et les échangeurs ..... 217
- Les appareils de régulation de pression et de débit ..... 217
- Les distributeurs ..... 222
- Les vérins ..... 227
- Les moteurs hydrauliques ..... 229
- Les circuits hydrauliques des tracteurs ..... 231
- Le principe d'une transmission hydrostatique en circuit fermé ..... 234
- Les transmissions hydrostatiques à signal de charge ..... 236



**Filtre et répartiteur hydraulique (basse pression) d'un tracteur Massey-Ferguson,**  
*(Document CEMAGREF-DICOVA).*

## • LES TRANSMISSIONS HYDROCINETIQUES :

Le principe des transmissions hydrocinétiques consiste, comme l'indique leur dénomination, en **une transmission de la puissance par l'utilisation d'une énergie « cinétique »**, c'est-à-dire celle qui est engendrée par la masse et la vitesse d'un liquide (une huile en l'occurrence), selon la relation :

$$E_c = \frac{1}{2} mv^2$$

Sur les tracteurs et autres matériels mobiles, les transmissions hydrocinétiques sont constituées de coupleurs ou de convertisseurs de couple, utilisés en complément des transmissions mécaniques.

### — Les coupleurs hydrocinétiques (fig. 188) :

Les coupleurs hydrocinétiques, appelés aussi **coupleurs hydrauliques**, sont généralement situés au niveau du volant moteur. Au démarrage, ils permettent d'obtenir un régime plus important du moteur tout en assurant une plus grande progressivité d'accouplement. Ils absorbent les vibrations de torsion transmises par l'arbre moteur et les à-coups provenant de la transmission. Ils préservent donc à la fois le moteur et la transmission et, de plus, ils rendent le calage du moteur pratiquement impossible.

Un coupleur hydrocinétique comporte essentiellement un rotor menant ou **impulseur** et un rotor mené ou **turbine** (fig. 188) logés dans un carter étanche contenant de l'huile. Ces deux rotors portent des **aubages disposés radialement**. L'huile ne doit pas remplir complètement le carter afin que la dilatation consécutive à l'échauffement ne provoque pas des fuites intempestives ou même, à la limite, l'éclatement du coupleur.

Le fonctionnement est le suivant (fig. 188) :

— lorsque l'impulseur est mis en mouvement par le moteur, l'huile contenue dans ses aubages s'échappe de la partie périphérique et pénètre dans les aubages de la turbine sous l'effet conjugué de la

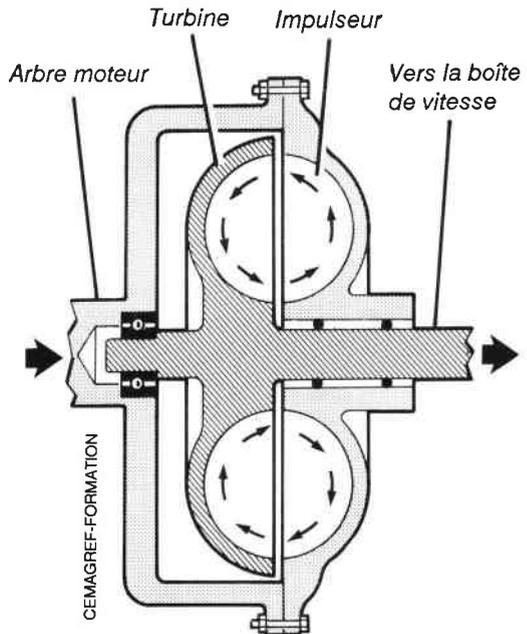


Fig. 188 — Coupleur hydrocinétique.

vitesse circonférentielle et de la force centrifuge.

En régime permanent, le mouvement du fluide est celui qui est indiqué sur la figure 188. On comprend facilement que ce type de transmission s'effectue nécessairement avec un certain **glissement** en fonction de la vitesse de rotation et du couple transmis. Notons aussi que si les deux rotors tournaient au même régime, la force centrifuge de l'huile contenue dans l'impulseur serait égale et opposée à celle de l'huile contenue dans la turbine ; aucune circulation d'huile ne pourrait s'établir et le coupleur ne pourrait donc conduire aucun couple.

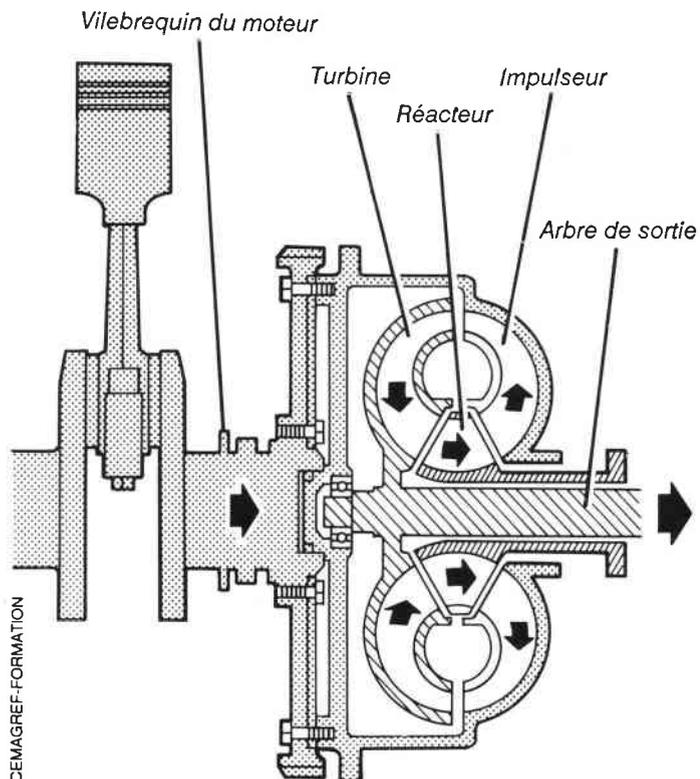


Fig. 189 — Coupe d'un convertisseur de couple.

Pour un coupleur de dimensions données et pour un couple donné, **le glissement croît lorsque la vitesse diminue** car la force centrifuge est proportionnelle au carré de la vitesse. En conséquence, lorsqu'un coupleur tourne à une vitesse insuffisante, il ne peut transmettre qu'un couple faible avec un mauvais rendement.

Le glissement représente une perte de puissance, accompagnée d'un échauffement de l'huile.

Les coupleurs sont étudiés pour chaque type de transmission de telle sorte que, pour un couple et une vitesse donnés, le glissement n'excède pas quelques %.

#### — Les convertisseurs de couple (fig. 189) :

Les convertisseurs de couple, hydrocinétiques, permettent **une variation automatique et continue du rapport de transmission en fonction de la charge**. Utilisés depuis longtemps en traction ferroviaire, les convertisseurs de couple ont trouvé d'autres applications sur les engins de travaux publics où ils sont très utilisés, ainsi qu'en automobile où ils sont à la base de nombreuses transmissions automatiques.

La structure d'un **convertisseur de couple** (fig. 189) diffère de celle d'un coupleur par la forme beaucoup plus élaborée des aubages et la présence entre l'**impulseur** et la **turbine**, d'un troisième élément appelé **réacteur**.

Ce terme de réacteur appelle d'ailleurs quelques explications.

Considérons en effet une transmission de nature quelconque permettant de réduire une vitesse : mécanique (boîte de vitesses), hydraulique, électrique, etc. ; soit (**Me**) le couple à l'entrée de cette transmission et (**Ms**) le couple à la sortie ; la différence des couples à l'entrée et à la sortie se traduit par un **couple de réaction (Mr)** sur le carter de transmission tel que :

$$M_r = M_s - M_e$$

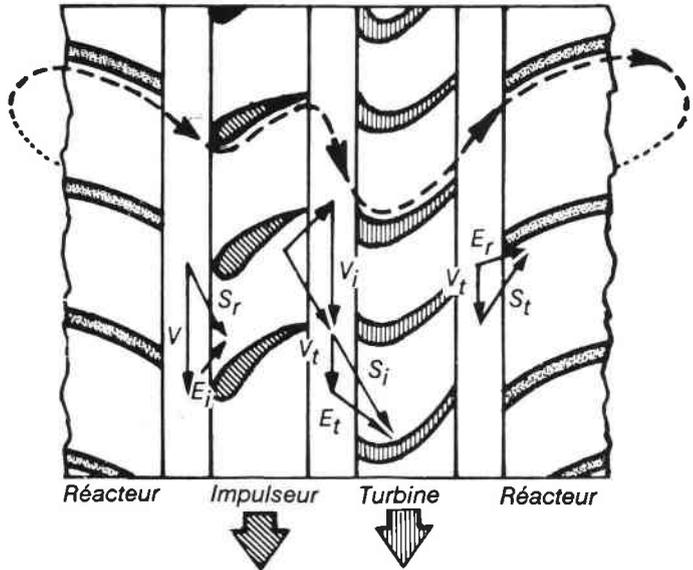
Ce couple de réaction (**Mr**) dont on a peu conscience, se matérialise par des efforts qui s'exercent sur les supports de fixation du carter de la transmission.

Dans le cas particulier du convertisseur de couple, la différence des couples à l'entrée et à la sortie du convertisseur suppose donc l'application d'un couple de réaction sur le carter de celui-ci. Réciproquement, pour qu'un dispositif puisse se comporter en convertisseur de couple, il doit nécessairement comporter un élément capable de capter ce couple de réaction. Dans un convertisseur de couple hydrocinétique, c'est le **réacteur, solidaire du carter fixe du dispositif**, qui permet de capter un couple de réaction, (**Mr**), tel que le couple à l'entrée, (**Me**), et le couple à la sortie, (**Ms**), puissent être différents selon la relation :

$$M_s = M_e + M_r$$

La figure 190, représente la forme des aubages d'un convertisseur de couple simple, développée suivant un plan.

On remarque que, à la sortie de l'impulseur, la trajectoire du flux d'huile se trouve modifiée dans un premier temps par les aubages de la turbine, puis, dans un second temps, dans les au-



- $V_j$  : vitesse périphérique de l'impulseur
- $V_t$  : vitesse périphérique de la turbine
- $E_e$  : direction de l'huile à l'entrée de l'impulseur
- $S_j$  : direction de l'huile à la sortie de l'impulseur
- $E_t$  : direction de l'huile à l'entrée de la turbine
- $S_t$  : direction de l'huile à la sortie de la turbine
- $E_r$  : direction de l'huile à l'entrée du réacteur
- $S_r$  : direction de l'huile à la sortie du réacteur

Fig. 190 — Principe d'un convertisseur de couple et de ses aubages.

bages du réacteur fixe. Chacune de ces modifications de trajectoire s'accompagne d'une **variation de la quantité de mouvement** (exprimée en masse par unité de temps) ou, plus simplement, d'une **accélération sensible de la vitesse de l'huile**.

Ainsi, l'énergie cinétique de l'huile projetée sur les aubages de la turbine engendre un couple. A ce couple transmis par le flux d'huile venant de l'impulseur s'ajoute le couple créé par l'augmentation de quantité de mouvement de l'huile due au profil des aubages de la turbine (effet de tuyère s'accompagnant d'un changement de direction). Cette amplification de couple s'accomplit grâce au réacteur qui oriente vers l'entrée de l'impulseur, l'huile sortant de la turbine. Dans un convertisseur, **la croissance du couple moteur est donc d'autant plus importante que le glissement (c'est-à-dire plus simplement la différence de vitesse) entre impulseur et turbine est plus grand (fig. 191).**

A titre d'exemple, un convertisseur simple peut multiplier par 2,5 le couple moteur, mais des convertisseurs à plusieurs turbines (convertisseurs étagés) peuvent multiplier le couple d'entrée jusqu'à 6 fois.

Souvent, le réacteur est monté avec une **roue libre**. En effet, lorsque la turbine tourne à un régime voisin de celui de l'impulseur (charge faible), l'huile, qui est pratiquement animée par le seul effet de la vitesse périphérique de la turbine, serait freinée par les aubages du réacteur. Dans ce cas, la roue libre permet au réacteur de tourner sur lui-même, sans créer de pertes inutiles.

Sur certains matériels, les convertisseurs peuvent être équipés d'un dispositif de **pontage** qui assure la solidarisation mécanique de l'impulseur avec la turbine.

Ce dispositif peut être commandé automatiquement par une unité électronique, à partir des informations fournies par des capteurs qui mesurent le régime du moteur et la vitesse de la turbine.

Cette disposition permet de supprimer les pertes de puissance, dues au glissement, lors de l'utilisation partielle du couple du moteur. Le pontage est aussi un moyen pour assurer un frein moteur efficace même à faible régime.

De tout ce qui précède, retenons qu'un convertisseur de couple hydrocinétique, intercalé entre un moteur et un dispositif récepteur, permet d'**ajuster automatiquement et**

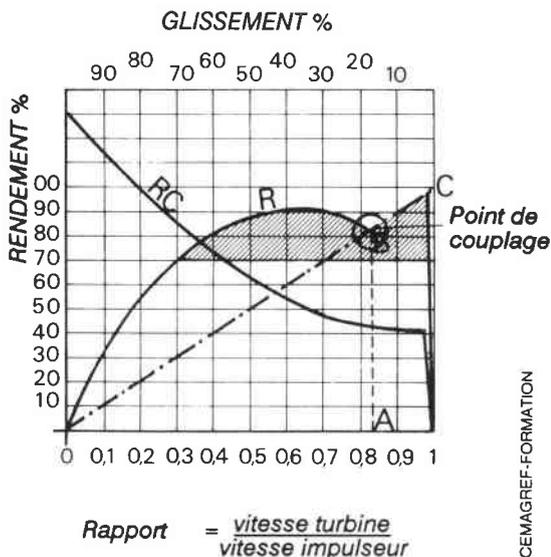


Fig. 191 — Courbes caractéristiques d'un convertisseur de couple.

d'une manière continue le rapport de transmission à la charge résistante ; au prix, bien entendu, de pertes d'autant plus élevées que le glissement est grand.

Le rendement étant d'autant plus faible que le glissement est grand, l'échauffement de l'huile nécessite un circuit de refroidissement. L'huile du convertisseur, maintenue à une pression de 4 à 5 bars, est renouvelée par une pompe entraînée directement par le moteur. Le circuit comprend un filtre et un échangeur de chaleur. Cet équipement ne peut pas assurer un bon frein moteur.

Les convertisseurs de couple sont souvent associés à des boîtes de vitesses du type « power-shift », pour les engins de travaux publics, ou à des boîtes à trains planétaires à commande automatique sur les automobiles.

Les tracteurs agricoles sont rarement munis de coupleurs ou de convertisseurs hydrocinétiques ; seul le constructeur allemand FENDT les utilise couramment.

### • LE PRINCIPE DES TRANSMISSIONS HYDROSTATIQUES :

Les transmissions hydrostatiques appliquent les lois de l'hydraulique selon lesquelles les **liquides, pratiquement incompressibles, peuvent transmettre intégralement les pressions qu'on leur applique** vers tous les points du milieu qui les contient.

Dans les transmissions hydrostatiques, l'énergie est véhiculée **par le débit et la pression « statique » de l'huile**. Ainsi, chaque surface (S), qui est exposée à une pression hydraulique (p), est soumise à une poussée (F) résultant du produit pression x surface :

$$F = p \times S$$

Examinons le montage hydraulique élémentaire de la figure 192 : à gauche, une force F1 s'applique à un piston ayant une surface utile S1. Le cylindre du piston S1 est en communication avec un cylindre de plus grand diamètre qui contient un piston de surface S2, auquel s'applique une force F2. Selon le principe de l'équilibre statique des fluides :

$$p = \frac{F2}{S2} = \frac{F1}{S1} \quad , \quad F1 = p \times S1 \quad \text{et} \quad F2 = p \times S2$$

Si le piston S1 se déplace d'une distance l1, la poussée hydraulique provoque un déplacement l2 du piston S2, ou vice versa :

$$S1 \times l1 = S2 \times l2 \quad \text{d'où}$$

$$l2 = \frac{S1 \times l1}{S2} \quad \text{et} \quad l1 = \frac{S2 \times l2}{S1}$$

Il convient de noter que **la pression ne se manifeste que s'il y a résistance au mouvement de l'élément récepteur**.

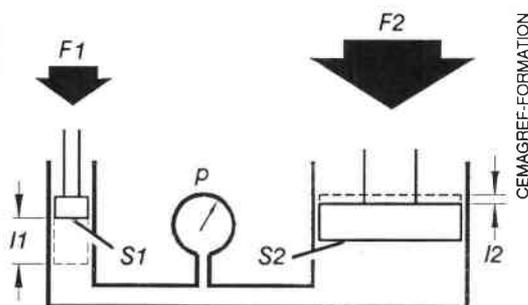


Fig. 192 — Principe de l'équilibre statique des fluides.

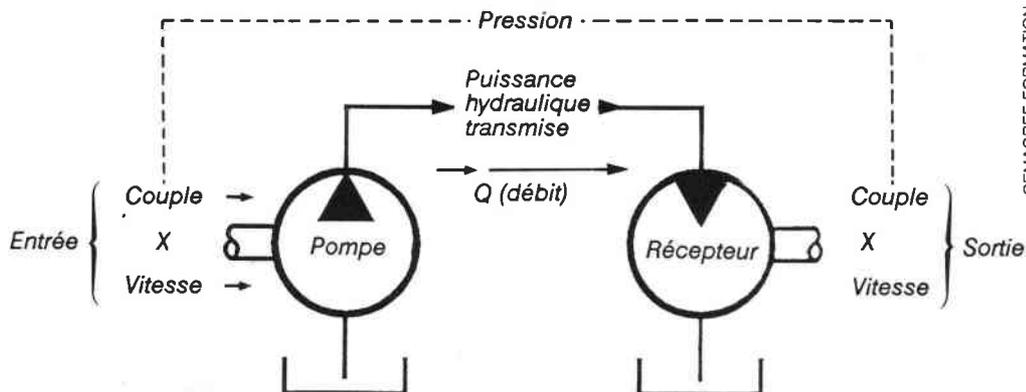


Fig. 193 — Principe du transfert de l'énergie dans une transmission hydrostatique.

Schématiquement (fig. 193), une transmission hydrostatique comprend une **pompe volumétrique** et un **récepteur ou moteur**, également volumétrique, qui sont reliés par une **canalisation de refoulement** et une **canalisation de retour**. Afin d'aider à mieux comprendre le fonctionnement des transmissions hydrostatiques, la figure 193 présente les différentes phases de transformation des termes de la puissance transmise. Ainsi, nous pouvons observer que la **pression** est le **facteur de couple** ou de « force » et que le **débit** est, de son côté, le **facteur de vitesse**, (se reporter aussi à l'annexe documentaire).

La compréhension des schémas des circuits hydrauliques pour les étudier, les concevoir et les dépanner, peut être grandement facilitée par l'adoption généralisée des symboles hydrauliques normalisés qui ont été établis de façon logique. La figure 194 indique les symboles les plus courants.

La figure 195 indique la signification des repères le plus couramment utilisés pour l'identification des orifices de raccordement.

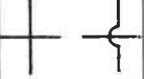
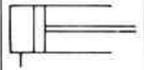
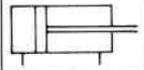
### — Le débit et la vitesse :

Le **débit** ( $Q$ ) d'une pompe est la quantité d'huile effectivement refoulée, pendant l'unité de temps. L'unité légale de débit est le  $m^3$  par seconde, mais en pratique on utilise le litre par minute. Le débit est fonction de la cylindrée ( $v$ ) et de la vitesse de rotation ( $n$ ) de la pompe.

La **cylindrée**, exprimée en  $cm^3$ /tour, détermine le volume engendré par un tour de l'arbre de pompe, ou du moteur.

Prenons un exemple : une pompe de  $25\text{ cm}^3$  de cylindrée tourne à  $2\ 000\text{ tr/mn}$  :

$$Q = v \times n = \frac{25 \times 2\ 000}{1\ 000} = 50\text{ l/mn}$$

	Conduite de travail
	Conduite de pilotage
	Conduite de fuite
	Conduite de gavage
	Conduite d'aspiration
	Conduite flexible
	Raccordement de conduites
	Croisement de conduites, sans intercommunication
	Liaisons mécaniques
	Flèches indiquant le sens du flux
	Flèches indiquant un sens de rotation
	Flèche oblique indiquant une possibilité de variation d'un réglage
	Vérin à simple effet
	Vérin à double effet
	Pompe à cylindrée fixe et sens unique de débit
	Pompe à cylindrée variable et sens unique de débit
	Pompe à cylindrée variable et double sens de débit
	Moteur à cylindrée fixe et sens unique de rotation
	Moteur à cylindrée fixe et double sens de rotation

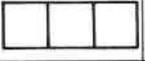
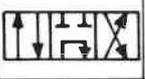
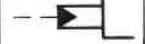
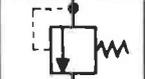
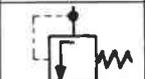
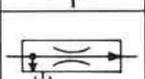
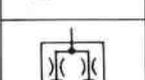
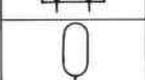
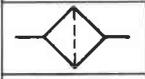
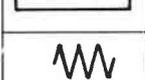
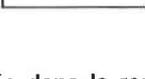
	Moteur à cylindrée variable et double sens de rotation
	Symbole de base d'un distributeur à 3 positions distinctes
	Distributeur 4/3 - 4 orifices - 3 positions distinctes
	Commande manuelle
	Commande hydraulique directe
	Commande hydraulique indirecte
	Clapet anti-retour
	Limiteur de pression à action directe
	Limiteur de pression à action pilotée
	Régulateur de débit (décharge au réservoir)
	Diviseur de débit
	Accumulateur de pression
	Etranglement : - sensible à la viscosité - non sensible à la viscosité
	Filtre
	Refroidisseur Radiateur d'huile
	Raccord rapide
	Réservoir à l'air libre
	Ressort

Fig. 194 — Principaux symboles utilisés dans la représentation schématique des installations hydrauliques.

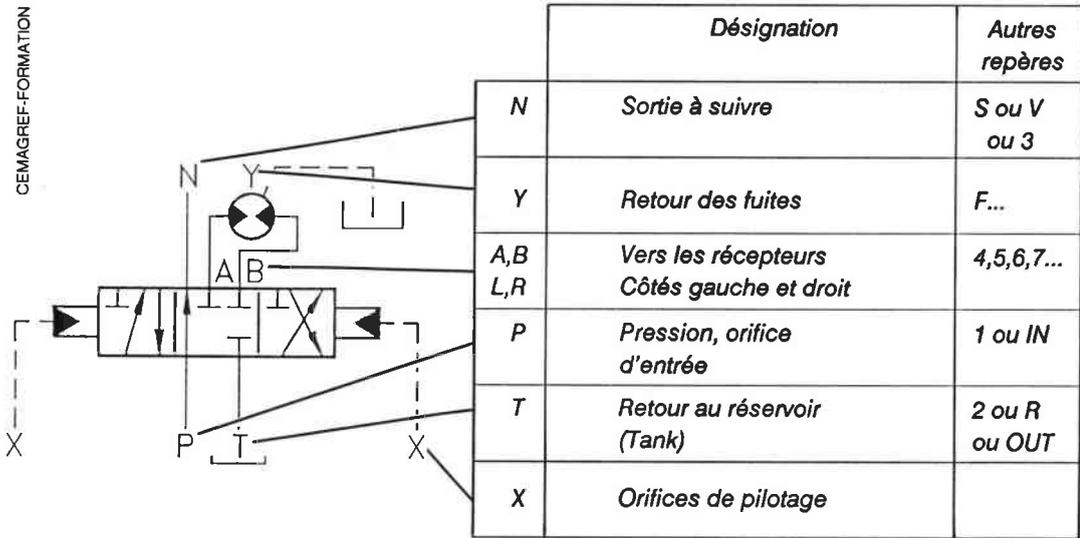


Fig. 195 – Principe du repérage des orifices des composants hydrauliques.

Il s'agit là du débit théorique car, en fonction du **rendement volumétrique** (fuites internes), le débit réel sera en réalité un peu plus faible.

A l'inverse, le **régime théorique de rotation d'un moteur** hydraulique, exprimé en tours par minute, est le quotient du **débit absorbé** par la cylindrée. Toujours en raison des fuites internes, le régime final est inférieur au régime théorique.

L'abaque de la figure 196 permet de déterminer, selon les valeurs connues : le débit, la vitesse ou la cylindrée d'une pompe ou d'un moteur hydraulique. Il s'agit bien entendu de valeurs théoriques qui ne tiennent pas compte du rendement des composants.

#### – La puissance hydraulique :

La **puissance hydraulique (Ph)** s'exprime en Watt. Elle correspond au produit de la pression (p) en Pascal, par le débit (Q) en m<sup>3</sup>/s. Afin de pouvoir utiliser directement les unités usuelles (P en kW, p en bar et Q en l/min), on applique la relation :

$$P \text{ (kW)} = \frac{p \times Q}{600}$$

#### – Le rendement :

Le **rendement net (Rn)** d'une transmission hydrostatique est le quotient de la puissance effectivement transmise à la sortie (Ps) par la puissance reçue à l'entrée (Pe) :

$$Rn = \frac{Ps}{Pe}$$

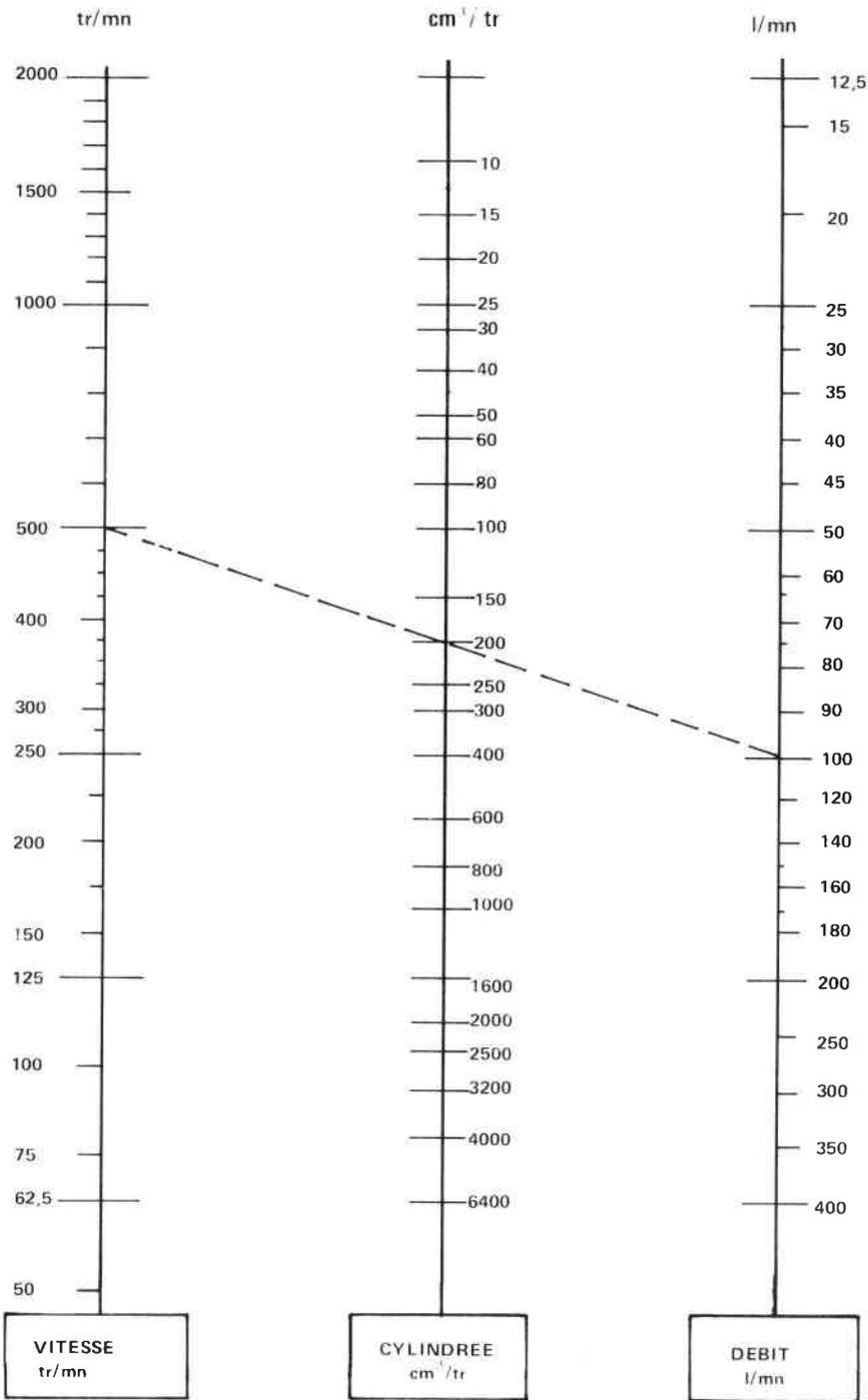


Fig. 196 – Abaque pour la détermination des caractéristiques, des pompes et moteurs hydrauliques.

Le rendement net ( $R_n$ ) est aussi le produit des **rendements unitaires ( $R_u$ )** de chacun des composants : pompes, appareils de régulation et de distribution, récepteurs, conduites...

Le **rendement unitaire ( $R_u$ )** d'une pompe ou d'un moteur hydraulique, est égal au produit des **rendements hydro-mécanique ( $R_{hm}$ ) et volumétrique ( $R_v$ )** :

$$R_u = R_{hm} \times R_v$$

Le **rendement hydro-mécanique ( $R_{hm}$ )** exprime les pertes de pression (pertes de charge) et les frottements mécaniques internes, dus au fonctionnement d'une pompe ou d'un moteur.

Le **rendement volumétrique ( $R_v$ )** exprime les pertes d'énergie causée par les fuites internes des composants.

Précisons que, dans tous les cas, les rendements hydro-mécanique et volumétrique tendent à être d'autant plus faible que la pression de service augmente.

Prenons un exemple : une pompe de 25 cm<sup>3</sup>/tr de cylindrée, possède à 2 000 tr/mn, un rendement hydro-mécanique de 0,9 et un rendement volumétrique de 0,92, pour une pression de service de 170 bars :

– le débit réel est :  $Q = \frac{25 \times 2\,000}{1\,000} \times 0,92 = 46 \text{ l/mn}$

– le rendement unitaire est :  $R_u = 0,9 \times 0,92 = 0,83$

– la puissance hydraulique fournie est :  $P_h = \frac{46 \times 170}{600} = 13 \text{ kW}$

– la puissance mécanique nécessaire à l'entraînement de la pompe est :

$$P_m = \frac{13}{0,83} = 15,7 \text{ kW}$$

– si cette pompe anime une transmission ayant un rendement net de 0,71, la puissance mécanique restituée par le récepteur sera égale à :  $15,7 \times 0,71 = 11,15 \text{ kW}$ . Soit une perte totale de 4 500 watts, entièrement perdue en chaleur dans l'huile et les carters.

### – L'organisation des circuits :

Selon leurs applications et les types de pompes et de moteurs hydrauliques employés, les transmissions hydrostatiques peuvent être en circuit ouvert ou en circuit fermé.

#### - Le circuit ouvert (fig. 197) :

Dans un circuit ouvert, **l'huile retourne au réservoir après avoir accompli son travail** dans le récepteur. C'est ce type de circuit que l'on rencontre pour tous les circuits

des tracteurs (décrits plus loin), les circuits de servitudes des machines automotrices et des machines attelées aux tracteurs.

**- Le circuit fermé (fig. 197) :**

Le circuit fermé est un circuit dans lequel, le débit d'huile circule de la pompe au récepteur et du récepteur à la pompe sans retourner au réservoir. Il utilise généralement une pompe à cylindrée variable à double sens de débit. C'est le circuit des transmissions de puissance qui équipent les tracteurs et machines automotrices dont l'avancement est hydrostatique. Il permet **une variation continue du rapport de transmission** entre le moteur et les roues (ou tout autre organe), ainsi qu'une excellente réversibilité du mouvement, permettant entre autre d'utiliser le frein-moteur, (se reporter à la fin de ce chapitre : le principe des transmissions hydrostatiques en circuit fermé).

**— Les perturbations des circuits hydrauliques :**

Les perturbations des circuits hydrauliques sont essentiellement causées par **les impuretés, la chaleur, les pertes de charge, les coups de bélier et la cavitation** :

**- Les impuretés :**

Elles constituent le **principal ennemi des transmissions hydrauliques**. Il s'agit soit de particules provenant du fonctionnement des organes (limailles, débris de joints...), soit de particules extérieures (poussières de terre ou de récolte...), ou bien d'eau provenant en particulier de la condensation de l'air dans les carters et réservoirs.

L'eau corrode les surfaces métalliques, tandis que les particules solides sont à l'origine d'une usure prématurée et de rayures entraînant des fuites internes.

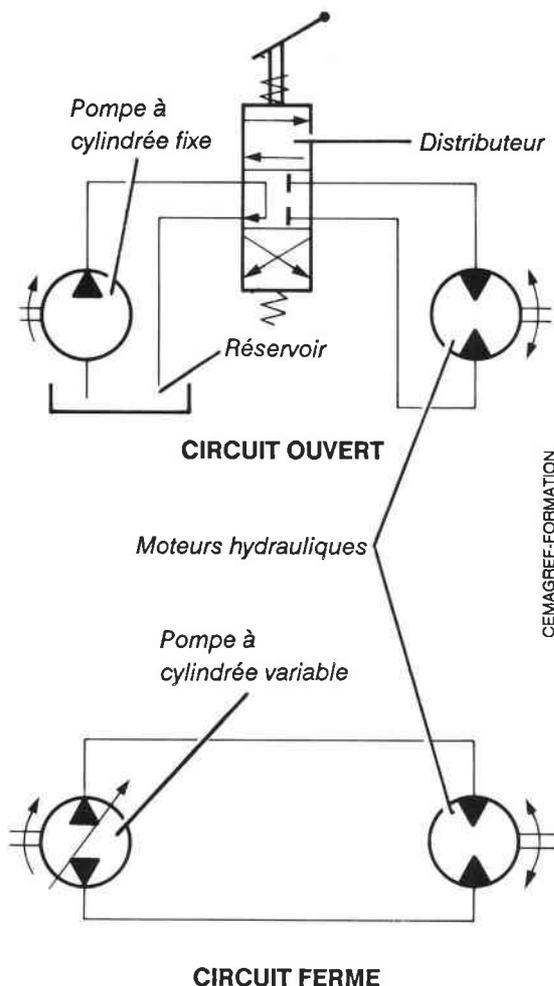


Fig. 197 — Le circuit ouvert et le circuit fermé.

**La meilleure protection contre les impuretés consiste :**

- à respecter les échéances de remplacement des filtres et de l'huile,
- à effectuer, dans la plus grande propreté, les opérations d'entretien (vidanges, filtres), de raccordement et de remplacement des flexibles,
- à veiller à l'efficacité des bouchons de remplissage.

**- La chaleur :**

La chaleur est le résultat des frottements mécaniques et hydrauliques. En fonctionnement normal, elle est échangée, avec l'air ambiant, par les tuyauteries, carters et radiateurs (échangeurs). Le plus souvent, la température maximale de l'huile se situe entre 60 et 80° C. En cas d'échauffement anormal (échangeur colmaté, fuite interne importante, surcharge...), la température peut dépasser 120° C et entrer dans une **spirale** dangereuse. L'expression spirale évoque l'inter-action entre la température et la viscosité de l'huile : plus la température s'élève, plus la viscosité diminue, plus les fuites internes augmentent, plus la température croît et ainsi de suite jusqu'au grippage des organes.

**- Les pertes de charge :**

**Les pertes de charge se traduisent par une chute de pression et par une élévation de la température.** Leur valeur est d'autant plus importante que l'on s'éloigne de la source d'énergie.

Elles sont essentiellement fonction de la rugosité interne des conduites, des accidents du parcours (coudes, étranglements, etc.), de la vitesse d'écoulement du liquide et de la viscosité cinématique de l'huile utilisée.

**- Les coups de bélier :**

**Les coups de bélier** sont la conséquence d'une très brusque modification du régime d'écoulement d'un liquide dans une conduite. Les circuits sont alors soumis à des surpressions importantes qui détériorent les systèmes d'étanchéité, fatiguent les composants et peuvent provoquer l'éclatement des conduites.

**— La cavitation :**

C'est un phénomène physique caractérisé par des ondes vibratoires (pression intense et hautes fréquences), capables de détériorer, voir de détruire des éléments de pompes ou de moteurs hydrauliques. La cavitation est due à la présence, dans l'huile, de nombreuses micro-bulles de vide ou d'air causées par des difficultés d'alimentation, des prises d'air intempestives ou de la mousse.

Lorsqu'elles passent des secteurs basse à haute pression (ou vice versa) d'une pompe ou d'un moteur hydraulique, les micro-bulles de vide ou d'air, provoquent des vibrations localisées qui peuvent arracher des particules de métal.

## • LES POMPES HYDRAULIQUES :

Les pompes sont les **éléments primaires** des transmissions hydrostatiques. Les variantes de fonctionnement et de conception des pompes étant extrêmement nombreuses, nous retiendrons seulement les plus couramment utilisées sur les matériels agricoles : **les pompes à engrenages à dentures extérieures, les pompes à palettes, les pompes à pistons radiaux, les pompes à pistons axiaux.**

### — Les pompes à engrenages (fig. 198) :

Ce sont de loin les pompes les plus courantes. Elles sont très souvent utilisées sur les tracteurs agricoles comme source d'énergie pour le relevage hydraulique. Leur capacité varie de un à plusieurs dizaines de  $\text{cm}^3$  par tour et la pression maximale obtenue est de l'ordre de 200 bars.

Elles sont d'un fonctionnement très simple, l'engrènement des pignons, ajustés dans le carter de pompe, provoquant une aspiration d'huile du côté où les dents se séparent. L'huile est alors véhiculée à la périphérie des pignons jusqu'à l'orifice de refoulement où les dents se « retrouvent » en entraînant des réductions successives de volume qui provoquent le refoulement.

Un circuit interne draine les fuites des paliers et les recycle à l'aspiration. Afin d'améliorer le rendement volumétrique, les paliers sont comprimés contre les pignons, sous l'effet de la pression de refoulement.

De par leur fonctionnement, les pompes à engrenages ne peuvent être qu'à **cylindrée fixe**. La réunion ou l'empilage de plusieurs pompes à engrenage est possible. Elle permet d'obtenir des **débits indépendants**.

### — Les pompes à palettes (fig. 199) :

Elles sont constituées d'un rotor entraînant un certain nombre de **palettes radiales coulissantes**, à l'intérieur d'un stator

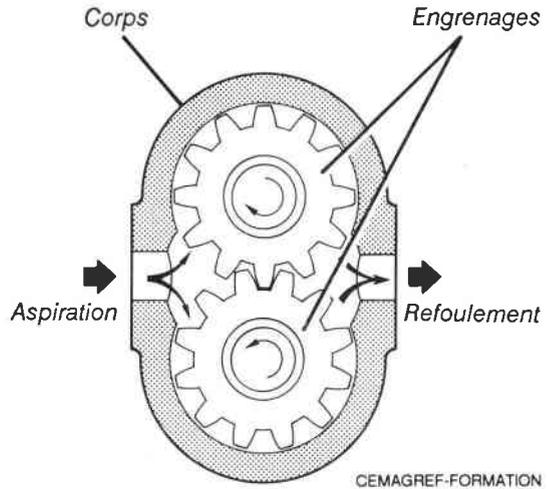


Fig. 198 — Pompe hydraulique à engrenages, à denture extérieure.

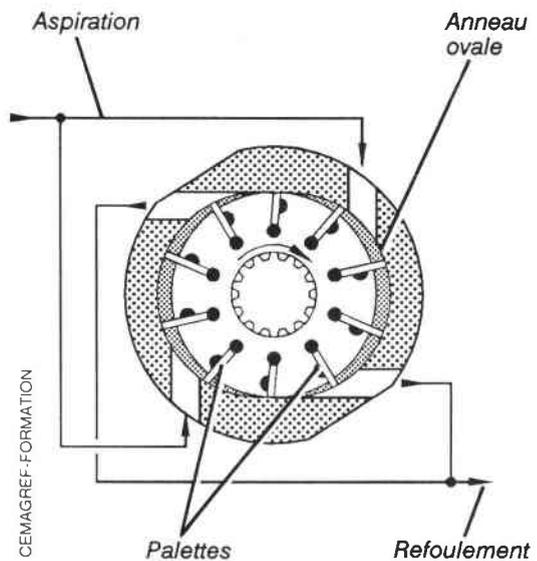


Fig. 199 — Pompe à palettes.

usiné suivant une forme ovale.

Au cours de leur rotation, les palettes engendrent dans l'« ovale » des variations successives de volume créant **tantôt une aspiration, tantôt un refoulement**. Afin de réduire les contraintes sur les paliers du rotor, les pompes à palettes sont équilibrées. **L'équilibrage** consiste à placer les orifices d'aspiration et surtout ceux de refoulement dans des positions diamétralement opposées. L'étanchéité, entre les palettes et les parois intérieures de l'ovale, est assurée par la force centrifuge, des ressorts ou, le plus souvent, par la pression hydraulique de refoulement.

Plusieurs pompes à palettes peuvent être accouplées afin d'obtenir des débits indépendants.

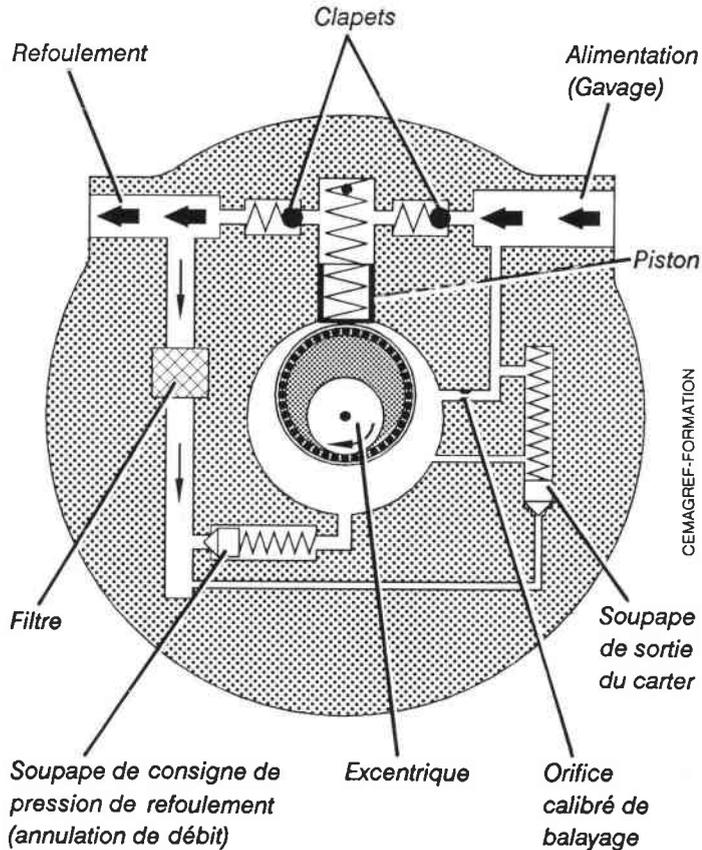


Fig. 200 — Principe d'une pompe à pistons radiaux à auto-régulation de débit (pour plus de clarté, un seul piston a été représenté).

#### — Les pompes à pistons radiaux (fig. 200 et 201) :

Ces pompes sont généralement constituées d'un rotor central portant un excentrique qui anime alternativement des pistons placés radialement dans un carter. Des ressorts rappellent les pistons contre l'excentrique et des clapets d'aspiration et de refoulement assurent, pour chaque cylindre, l'alimentation et le refoulement de l'huile.

Ce type de pompe peut être à **cylindrée variable** grâce à un dispositif de **limitation de la course des pistons**.

La figure 200 présente le principe d'une pompe **John Deere** utilisée pour l'alimentation de circuits de tracteurs à **centre fermé** (se reporter plus loin dans ce chapitre, au paragraphe : les distributeurs à centre fermé). En fonctionnement, la cylindrée demeure maximale si la pression de service est inférieure à la pression de consigne (environ 180 bars). Si la pression du circuit atteint cette valeur, une soupape permet la mise en com

munication entre le refoulement et le carter. La contre-pression dans le carter s'oppose alors au rappel des pistons et la pompe cesse de débiter.

— **Les pompes à plateau incliné rotatif et à pistons axiaux :**

Ces pompes présentent des pistons coulissant dans des cylindres **usinés axialement à l'intérieur d'un corps de pompe, fixe**. Chaque cylindre dispose de clapets d'admission et de refoulement. Les pistons sont soumis à un **mouvement alternatif grâce à la rotation d'un plateau oblique**. Des ressorts permettent le rappel des pistons contre le plateau.

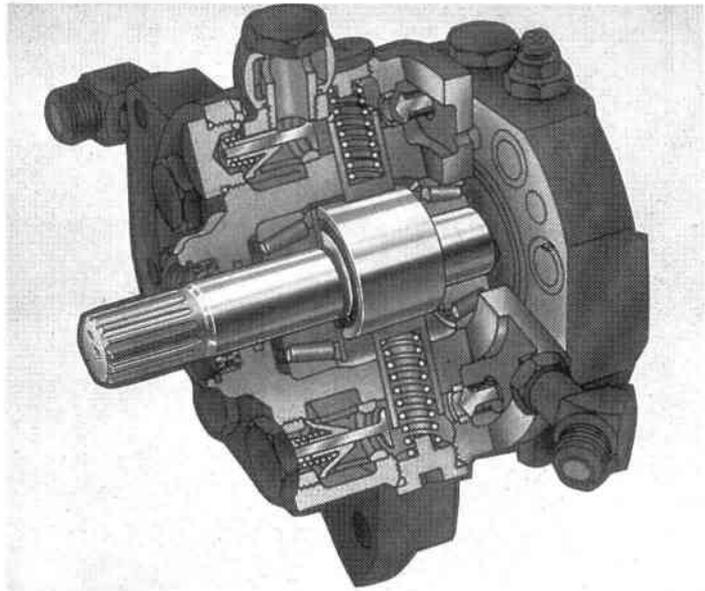


Fig. 201 — Vue en coupe d'une pompe à pistons radiaux à auto-régulation de débit (Document John Deere).

Ce type de pompe a une **cylindrée fixe** et peut, selon les cas, tourner dans les deux sens.

— **Les pompes à pistons axiaux à plateau inclinable** (fig. 202 et 203) :

Appelées aussi **pompes à barillet rotatif**, ce type de pompe est celui le plus souvent utilisé pour les transmissions hydrostatiques à débit variable. Dans ce cas, **le plateau ne tourne pas, mais peut s'incliner à volonté** dans les deux sens. C'est alors **l'ensemble constitué par le barillet et les pistons qui tourne devant ce plateau**.

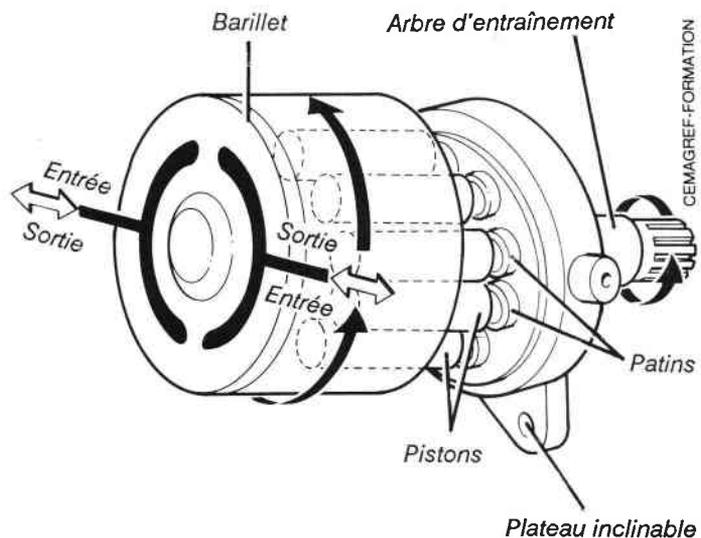


Fig. 202 — Principe d'une pompe hydraulique à pistons axiaux et plateau inclinable.

Ainsi, la course des pistons peut être modifiée en

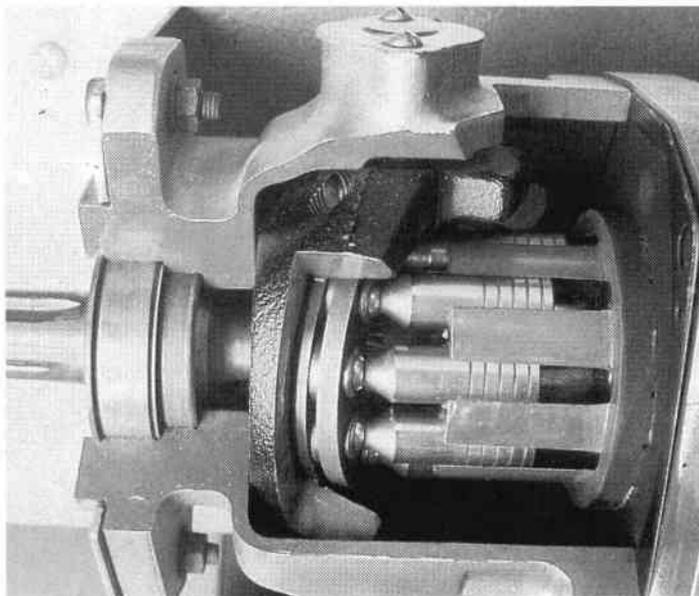


Fig. 203 — **Vue d'une pompe hydraulique à pistons axiaux et plateau inclinable Vickers**  
(Coupe et photo CEMAGREF-DICOVA).

fonction de l'inclinaison du plateau. Si le plateau se trouve placé perpendiculairement à l'axe du barillet, la course des pistons devient nulle et l'on est alors en position neutre. Toute modification de l'inclinaison du plateau de part et d'autre de cette position neutre permet de changer **le sens** et **la valeur** du débit de la pompe.

Les phases d'alimentation et de refoulement dans les cylindres en rotation sont assurées par **un collecteur à lumières** qui vient en appui contre le barillet. Ce dispositif d'alimentation, appelé aussi « **glace** », doit être usiné avec une grande précision, un parfait état de surface étant une garantie de bonne étanchéité.

L'ensemble du dispositif constitue par conséquent une pompe à **cylindrée variable** avec **double sens de débit**.

Un autre type de pompe à barillet rotatif et pistons axiaux réalise la variation de cylindrée par **modification de l'angle entre l'axe de l'arbre d'entraînement et l'axe du barillet**, la liaison d'entraînement entre ces organes étant réalisée par un système de **noix d'accouplement**.

## • LES FILTRES ET LES ÉCHANGEURS :

Les filtres (fig. 204) peuvent être disposés en un ou plusieurs endroits du circuit : en amont de la pompe principale en circuit ouvert ou de la pompe de gavage en circuit fermé, mais aussi sur le circuit haute pression, sur le circuit de retour au réservoir, sur le circuit de retour des fuites.

Selon la technologie des composants et l'emplacement des filtres, la **finesse de filtration** des éléments filtrants varie de 5 à 40 microns.

Il importe de remplacer les filtres aux échéances prescrites par les constructeurs, car la **fiabilité et la durée de vie d'une installation hydraulique** dépendent en grande partie de la constante et parfaite propreté de l'huile utilisée.

Les échangeurs de chaleur sont en général des **radiateurs d'huile** destinés à éviter que le fluide hydraulique n'atteigne une température trop élevée.

Ils sont situés le plus souvent sur la conduite de retour général ou sur le circuit de gavage des circuits fermés.

## • LES APPAREILS DE RÉGULATION DE PRESSION ET DE DÉBIT :

Les organes de régulation permettent le réglage des deux grandeurs essentielles d'une transmission hydraulique : **la pression et le débit**. Selon les cas, leur rôle consiste soit à agir comme éléments de sécurité pour le fonctionnement des installations, soit à régler la valeur fonctionnelle de la pression ou du débit.

Le réglage des appareils de régulation peut être **fixe** ou **ajustable** suivant les applications.

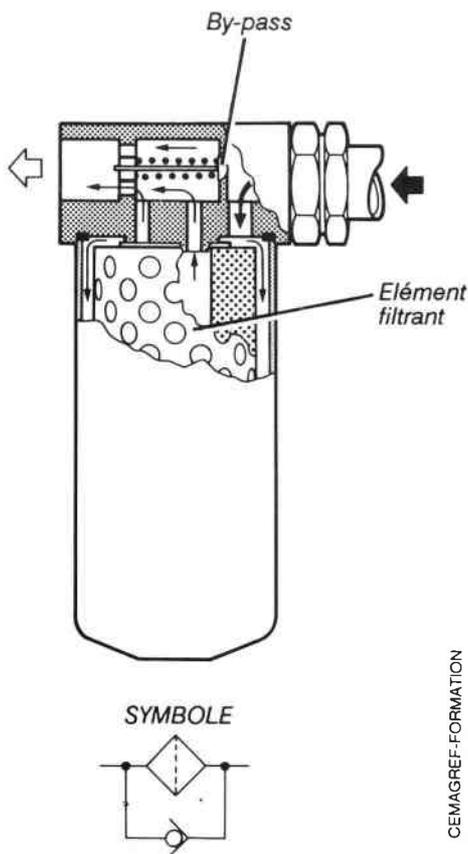


Fig. 204 — Filtre hydraulique.

## — Les limiteurs de pression

(fig. 205 et 206) :

Appelés aussi **soupapes ou clapets de sécurité**, les **limiteurs de pression** protègent les organes contre les surpressions, en permettant l'évacuation d'un certain volume d'huile vers le réservoir.

Ils sont placés le plus près possible des organes à protéger : près de la pompe pour le limiteur principal et près des récepteurs pour les limiteurs « locaux ».

Suivant les cas, ils sont à **action directe** ou à **action pilotée** :

— les **limiteurs à action directe** sont généralement réservés aux petits débits. L'exemple de la figure 205 représente un limiteur de pression, simplement constitué d'un clapet et d'un ressort taré.

— les **limiteurs de pression à action pilotée** permettent l'évacuation très rapide de débits importants.

La figure 206 montre un appareil constitué d'un **clapet-pilote** taré à la pression maximale du circuit et d'un tiroir qui ferme normalement l'orifice de retour au réservoir. Lorsque la pression dépasse la valeur convenue, le clapet-pilote se soulève en permettant la levée immédiate du tiroir et une évacuation rapide de l'huile vers le réservoir. Après la surpression, l'orifice calibré du tiroir permet sa fermeture progressive, sous l'action du ressort.

Les limiteurs de pression, lorsqu'ils sont utilisés comme éléments de sécurité, sont toujours placés en dérivation et normalement fermés. Leur pression de tarage correspond à la pression maximale (pm) du circuit et non à la pression de service (ps), qui doit être plus faible d'au moins 10 %, soit  $ps = pm \times 0,9$ .

Dans certains cas, on peut contrôler la pression d'un récepteur en plaçant un **réducteur de pression** (fig. 207). Placé en série avec le récepteur, il est normalement ouvert si la pression est inférieure à la valeur de consigne appliquée au clapet-pilote. Si la pression de consigne est dépassée, l'ouverture du clapet-pilote provoque une différence de pression qui déplace le tiroir vers la fermeture du passage P-A.

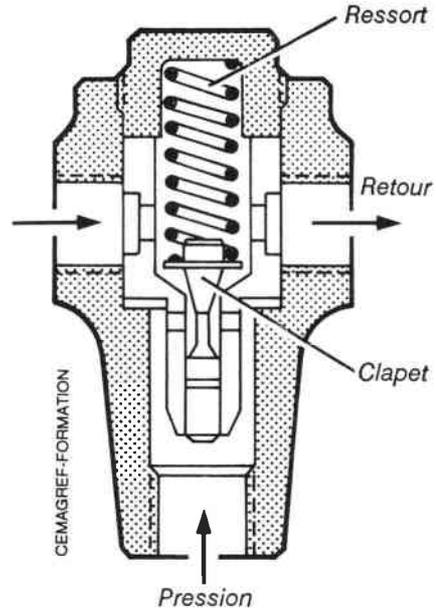
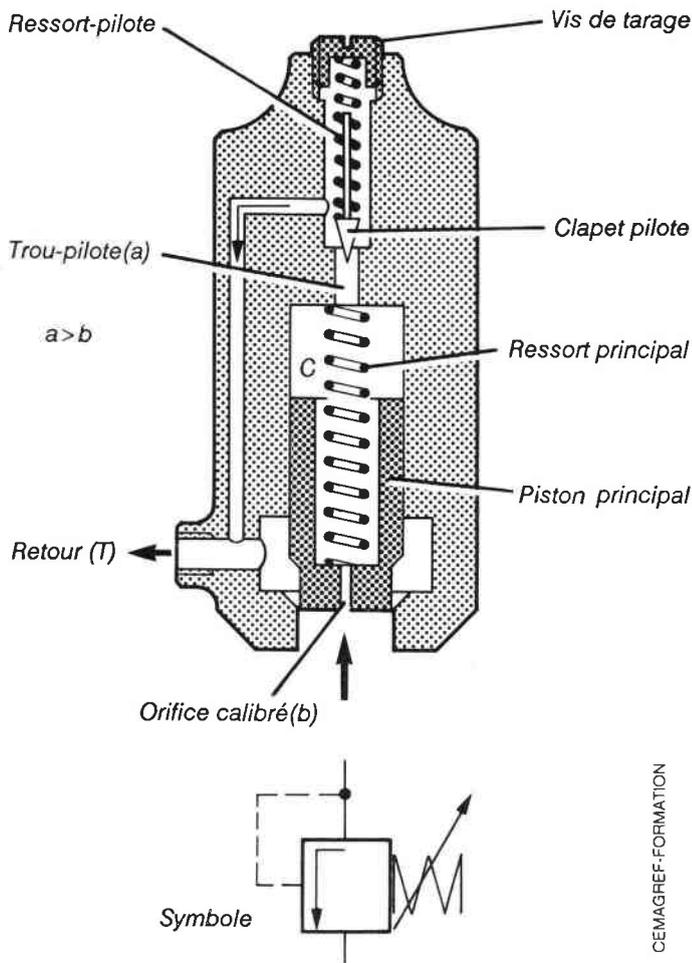


Fig. 205 — Limiteur de pression à action directe.



CEMAGREF-FORMATION

Fig. 206 — Limiteur de pression à action pilotée.

— **Les limiteurs de débit (fig. 208) :**

Constitués par un étranglement réglable, ces limiteurs ne permettent le réglage du débit que pour une valeur constante de la pression, au prix d'un laminage important de l'huile.

— **Les régulateurs de débit (fig. 209) :**

Les régulateurs de débit sont utilisés pour **le réglage de la vitesse** des récepteurs hydrauliques. Ils permettent de maintenir une valeur constante du débit malgré les variations de pression dans le circuit. La figure 209 représente un **régulateur de débit à trois voies** : une entrée (P), une sortie réglée (A) et une sortie résiduelle (T). Il comprend

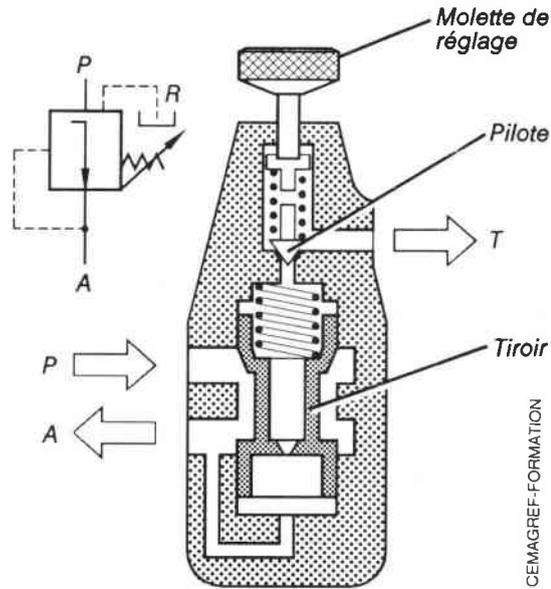


Fig. 207 — Réducteur de pression.

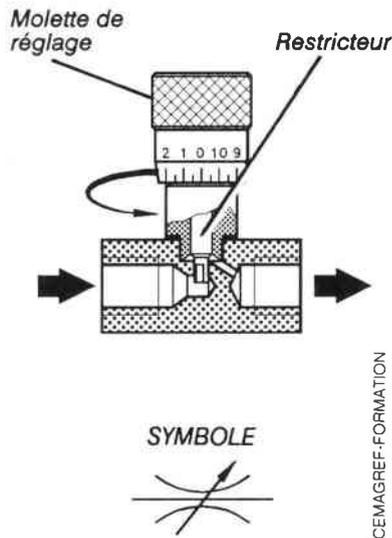
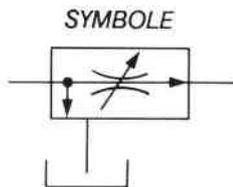
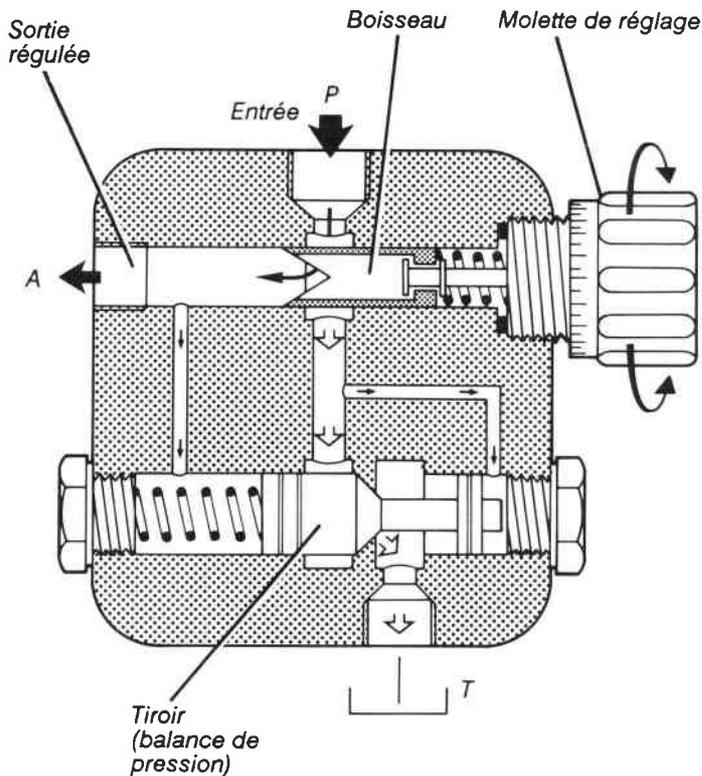


Fig. 208 — Limiteur de débit.

un étranglement réglable par une molette, un tiroir de régulation appelé **balance de pression** et un ressort.

Le débit venant de (P) passe par l'étranglement réglable avant de sortir par l'orifice (A). Le débit excédentaire (T) est contrôlé par le tiroir de régulation, placé en dérivation. Ce tiroir est piloté par les pressions régnant en amont et en aval de l'étranglement. Le ressort tend à pousser le tiroir dans le sens de la fermeture de l'orifice (T) ;



CEMAGREF-FORMATION

Fig. 209 — Régulateur de débit trois voies.

son tarage correspond à la perte de charge fonctionnelle de l'étranglement de commande, (2 à 5 bars environ). Plus le débit d'entrée est grand, plus la pression agissant sur la face droite du tiroir est élevée, et plus celui-ci laisse passer d'huile vers l'orifice (T), de manière à maintenir un débit constant à l'orifice (A).

— **Les diviseurs de débit** (fig. 210) :

Lorsqu'une pompe doit alimenter deux récepteurs dont le fonctionnement nécessite des débits différents, un **diviseur de débit**, placé sur son refoulement, permet d'alimenter chacun de ces récepteurs tout en répartissant le débit dans le rapport souhaité.

La figure 210 montre un **diviseur de débit à une voie prioritaire**, utilisé pour l'alimentation d'un récepteur prioritaire, telle la direction d'un tracteur, par exemple.

Au repos, le tiroir du diviseur est rappelé vers la gauche par le ressort ; il ne permet que l'alimentation du récepteur prioritaire, au travers d'un orifice dont le calibre correspond au débit nécessaire. Si le débit d'entrée devient supérieur au débit prioritaire, la pression en amont du tiroir tend à augmenter et à déplacer le tiroir vers la droite ; permettant ainsi au débit résiduel d'alimenter d'autres récepteurs.

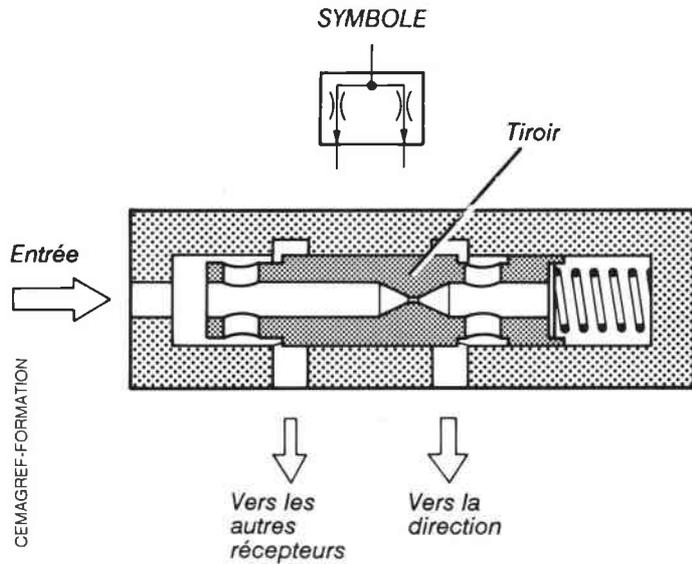


Fig. 210 — Diviseur de débit à voie prioritaire.

#### — Les accumulateurs hydrauliques (fig. 211) :

Appelés aussi **accumulateurs oléopneumatiques**, ils peuvent être placés en certains points des circuits afin d'**atténuer d'éventuelles surpressions** ou de **régulariser l'alimentation d'un récepteur**.

Il s'agit en fait d'une capacité séparée par une membrane élastique. Cette membrane, sous l'effet d'une surpression, se déforme en comprimant un gaz neutre (azote).

Une pastille métallique placée au centre du diaphragme, évite le poinçonnement de la membrane par l'orifice de décharge.

#### • LES DISTRIBUTEURS :

Les distributeurs sont utilisés pour canaliser et contrôler l'énergie hydraulique venant de la pompe vers les organes récepteurs du circuit.

On a, selon les cas, des distributeurs du type à **boisseau** et, le plus souvent, des distributeurs du type à **tiroir**.

Chaque circuit hydraulique présente un certain nombre de caractéristiques particulières, liées notamment, à la nature des distributeurs.

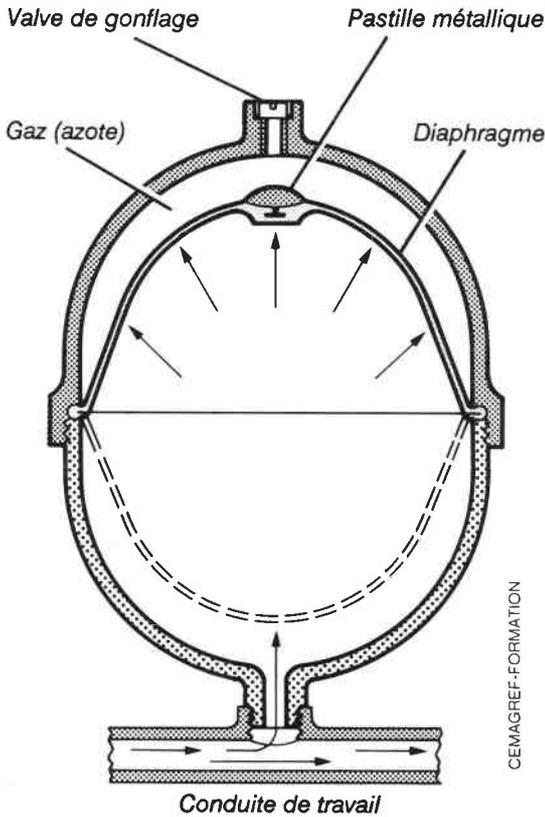


Fig. 211 — Accumulateur.

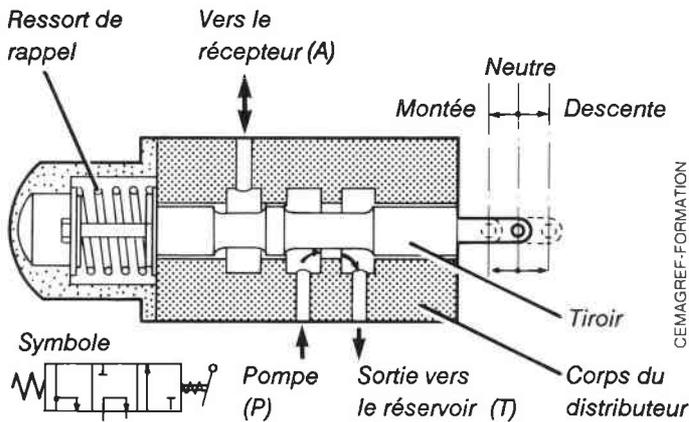


Fig. 212 — Distributeur à simple effet à centre ouvert.

On classe les distributeurs selon le nombre d'orifices actifs qu'ils possèdent et le nombre de positions de travail qu'ils peuvent prendre. Ainsi, la figure 213 représente un distributeur 4/3 à double effet avec quatre orifices et trois positions distinctes de fonctionnement.

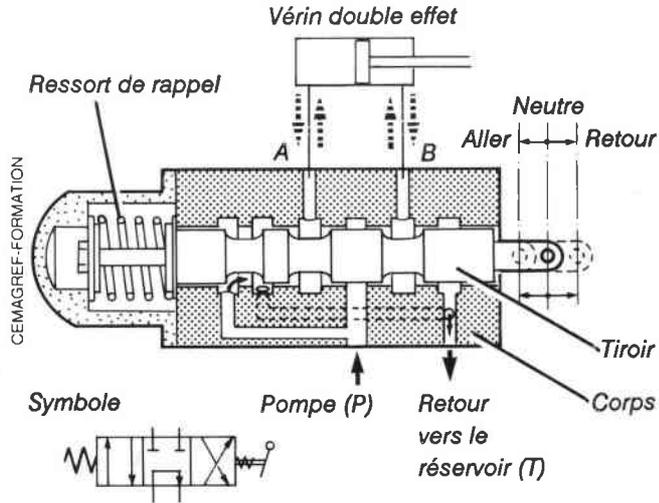


Fig. 213 — Distributeur à double effet, à centre ouvert.

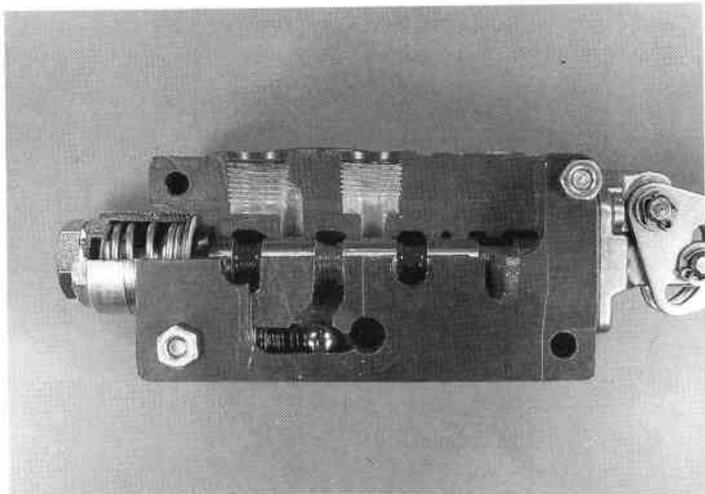


Fig. 214 — Vue en coupe d'un distributeur hydraulique à double effet (Coupe et Photo CEMAGREF-DICOVA).

En pratique, les fonctions d'un distributeur le destinent à un type donné d'organe récepteur. Ainsi, un vérin à simple effet ou un moteur hydraulique à un seul sens de marche seront alimentés par un **distributeur à simple effet** (fig. 212), car l'énergie hydraulique n'est nécessaire que **dans un seul sens, celui du travail**. Par contre, un vérin à double effet ou un moteur hydraulique pouvant tourner dans les deux sens seront alimentés par un distributeur à double effet (fig. 213 et 214) : en effet dans ce cas, l'énergie hydraulique doit être appliquée **dans les deux sens de travail**.

La fig. 215 montre un **distributeur commutable simple-double effet**. Lorsque le boisseau est fermé (en position double effet), l'orifice B est isolé de l'orifice (T). En position simple effet, le boisseau relie l'orifice (B) obturé, avec le retour au réservoir (T).

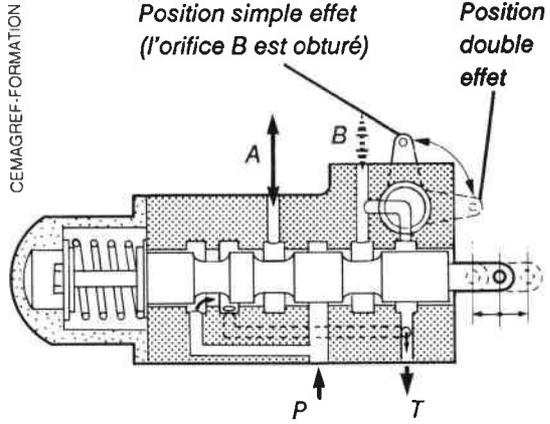


Fig. 215 — Distributeur commutable simple-double effet.

— **Les variantes dans la conception des distributeurs :**

- **Les distributeurs « à centre ouvert »** (fig. 212 et 213) :

C'est le principe appliqué le plus souvent, dans les circuits alimentés par des pompes à cylindrée constante. En position neutre, le « centre » du distributeur est ouvert : l'huile peut retourner librement au réservoir.

Les circuits à distribution à centre ouvert sont aussi appelés **circuits à débit permanent**.

- **Les distributeurs « à centre fermé »** (fig. 216) :

Dans ce cas, l'huile venant de la pompe ne peut retourner au réservoir lorsque le distributeur se trouve en position neutre. Un tel type de distributeur est utilisé, par exemple, avec une pompe à cylindrée variable dont le débit cesse quand le distributeur est au point neutre. Une telle disposition permet d'éviter toute circulation inutile d'huile au moment où les organes récepteurs se trouvent placés hors circuit (circuit des tracteurs John Deere, par exemple).

- **Le recouvrement :**

On appelle **recouvrement**, la transition entre les positions neutre et travail d'un distributeur.

Le **recouvrement est négatif** lorsque le déplacement du tiroir assure simultanément la fermeture de l'orifice de retour au réservoir et l'ouverture de l'orifice d'alimentation du récepteur. Il existe alors une position transitoire du tiroir

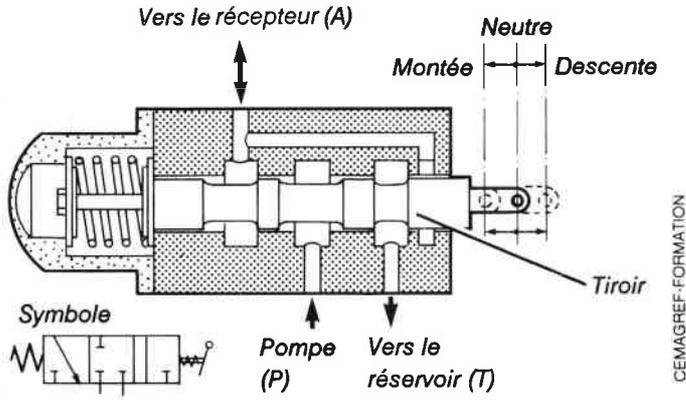


Fig. 216 — Distributeur à simple effet à centre fermé.

pendant laquelle s'établit une communication partielle entre les orifices de la pompe, du réservoir et du récepteur. Une telle situation peut s'avérer gênante, voire même dangereuse dans certaines applications (dans le cas, par exemple, d'appareils de maintenance).

Le « recouvrement positif » (fig. 213), consiste à **fermer d'abord l'orifice de retour au réservoir, avant d'ouvrir ensuite l'orifice d'alimentation du récepteur**, de manière à donner à l'huile venant de la pompe une pression compatible avec la charge qu'elle doit permettre de soulever et cela sans qu'il y ait de retour possible.

**- L'indexage :**

Pour les distributeurs à commande manuelle, l'indexage permet le maintien de la commande en position de travail. Selon les cas l'indexage est constitué soit par un simple verrouillage mécanique, soit par un verrouillage hydro-mécanique (fig. 217) permettant le retour automatique en position neutre, en cas de surpression.

**— Le branchement de plusieurs distributeurs :**

La figure 218 présente les deux possibilités le plus couramment utilisées pour le branchement de plusieurs distributeurs d'un même circuit : **le montage en cascade et le montage en parallèle**.

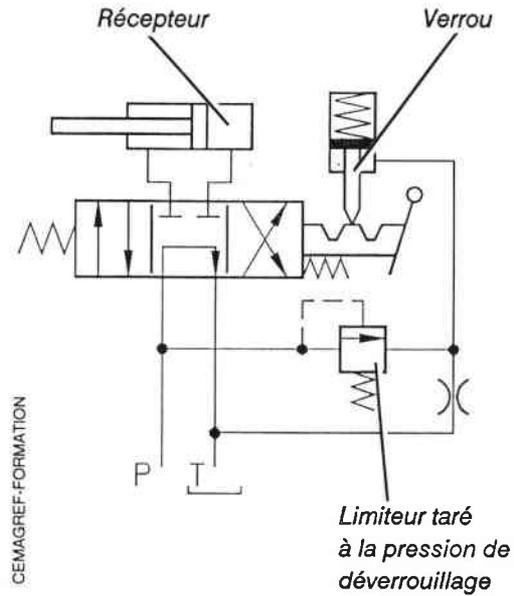
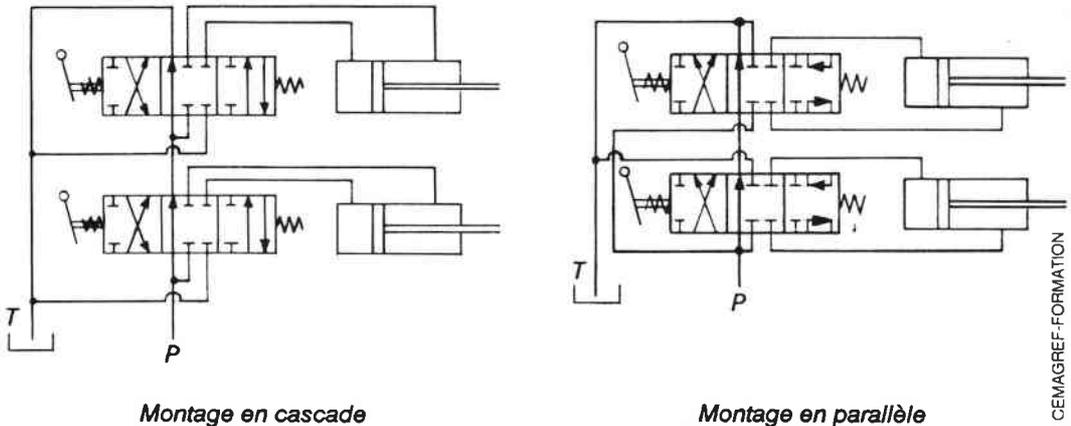


Fig. 217 — Principe du déverrouillage automatique d'un distributeur.



Montage en cascade

Montage en parallèle

Fig. 218 — Montage de distributeurs en cascade et en parallèle.

- Le montage en cascade, appelé également « distribution individuelle » (fig. 218), est établi de telle manière qu'un seul récepteur puisse fonctionner à la fois. En actionnant simultanément les deux distributeurs, le débit ne peut traverser que le distributeur situé le plus près de la pompe (orifice P).

- Le montage en parallèle (fig. 218), permet d'actionner soit un seul distributeur, soit, en agissant sur les deux manettes, plusieurs distributeurs et récepteurs en parallèle. Dans le cas présent, c'est le récepteur réclamant la plus faible pression qui sera alimenté le premier.

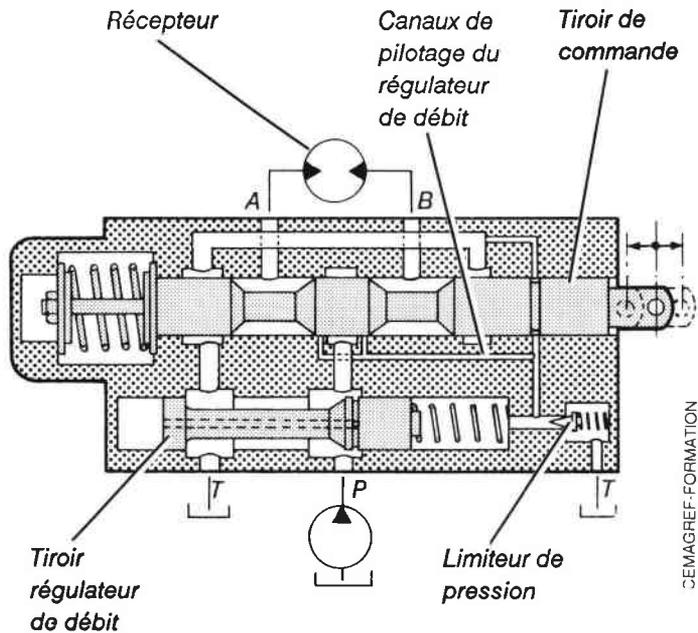


Fig. 219 — Principe d'un distributeur à effet proportionnel.

— Les distributeurs à effet proportionnel (fig. 219) :

Il s'agit de distributeurs qui permettent de contrôler avec précision, le débit d'huile. Le débit destiné au récepteur, et donc sa vitesse, sont proportionnels à l'action de commande appliquée au distributeur (commande manuelle ou électromagnétique).

On constate à la figure 219 que le tiroir du distributeur actionne, par pilotage, un tiroir régulateur de débit, placé en amont. Au repos, le tiroir du régulateur de débit permet à l'huile venant de la pompe (P) de retourner directement au réservoir (T). Dès que l'on sollicite le tiroir du distributeur, une pression de pilotage s'instaure à droite du régulateur, afin que celui-ci ferme plus ou moins l'orifice (T) de manière à pouvoir alimenter le récepteur. Plus le déplacement du tiroir est grand, plus la pression de pilotage du régulateur est élevée et plus il y a de débit vers le récepteur.

• LES VÉRINS :

Les vérins hydrauliques sont des récepteurs permettant de transformer l'énergie hydraulique en énergie mécanique. La force mécanique fournie est, le plus souvent linéaire mais, parfois, semi-rotative avec l'emploi de vérins oscillants. Lorsque l'énergie fournie est rotative et continue, on a un moteur hydraulique.

Les vérins peuvent être à simple effet ou à double effet :

— **Les vérins à simple effet** (fig. 220) :

Les vérins à simple effet sont des vérins dont la poussée hydraulique ne se produit que **dans un seul sens**. Aussi, l'alimentation s'effectue-t-elle par une seule conduite et le retour, par le seul effet de la charge appliquée.

Les vérins à simple effet sont souvent du type à **piston « plongeur »** (fig. 220), la tige du vérin faisant elle-même office de piston.

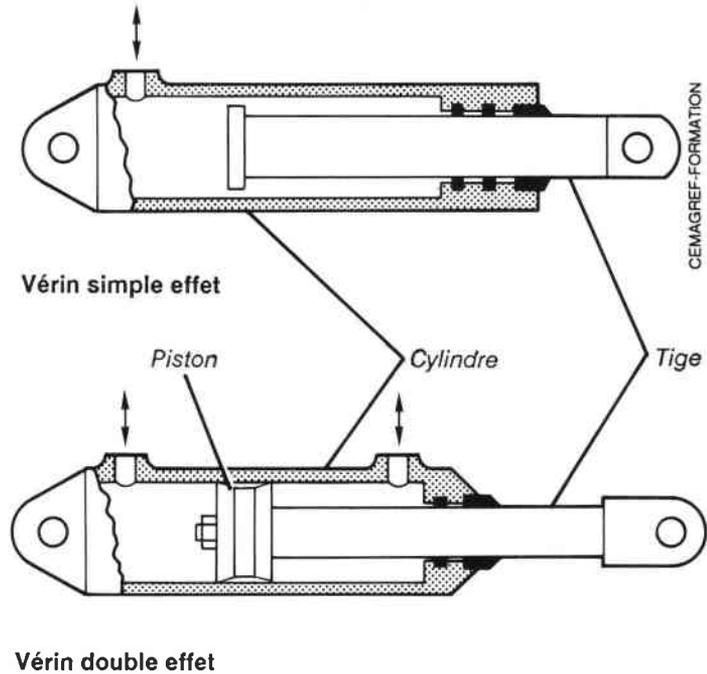


Fig. 220 — Vérins à simple et à double effet.

Les vérins à simple effet peuvent être **télescopiques**. Dans ce cas, plusieurs cylindres concentriques et de diamètres différents s'emboîtent les uns dans les autres. Cette disposition présente l'intérêt de disposer d'une course importante pour un encombrement réduit au repos (exemple des bennes basculantes).

— **Les vérins à double effet** (fig. 220) :

Il s'agit de vérins dont la poussée hydraulique peut se produire **dans les deux sens**. Il faut pour cela une alimentation par deux conduites aboutissant chacune dans l'une ou l'autre des chambres qui sont séparées par le piston. En fonctionnement, lorsqu'une chambre se remplit, l'autre se vide nécessairement.

L'étanchéité du piston avec la paroi intérieure du cylindre est assurée **par des joints annulaires** ou **joints « coupelles »** en matériaux synthétiques.

Notons que les **sections actives** de chaque chambre sont **différentes** ; en effet, la section de la tige du vérin doit être soustraite de la section de la face correspondante du piston. Il en résulte que la force délivrée par un vérin à double effet est **plus importante** lors de la sortie de la tige que pendant son retour. Pour supprimer cette particularité, certains vérins double effet ont deux tiges, placées de chaque côté du piston, (direction hydrostatique à vérin à double tige, par exemple).

## • LES MOTEURS HYDRAULIQUES :

Les moteurs hydrauliques transforment l'énergie hydraulique fournie par la pompe en énergie mécanique appliquée de façon rotative. Mécaniquement, ces moteurs sont assez semblables à des pompes hydrauliques. Cependant, dans la pratique, peu de pompes sont transformables en moteurs par suite de difficultés pour l'alimentation et l'évacuation des fuites internes.

Parmi les nombreux types existant, retenons les moteurs hydrauliques à engrenages à dentures extérieures, les moteurs à rotor hypocycloïdal, les moteurs à pistons radiaux et les moteurs à pistons axiaux.

### — Les moteurs à engrenages à dentures extérieures :

Ces moteurs sont semblables aux pompes du même type, mais ils sont souvent pourvus d'un troisième orifice destiné au retour des fuites. Ils sont généralement conçus pour tourner dans les deux sens.

De faible encombrement, économiques à l'achat, les moteurs à engrenages ont trouvé des applications très diverses en agriculture (convoyeurs-élévateurs, transporteurs à vis, ventilateurs, etc.).

### — Les moteurs à rotor hypocycloïdal (fig. 221 et 222) :

Appelés aussi **moteurs « orbit »**, ces moteurs sont constitués d'un rotor à bossages extérieurs roulant à l'intérieur d'un stator comportant lui aussi des bossages en nombre égal à ceux du rotor **plus un**. Si, par exemple, le rotor comporte six bossages, son « excéntration » constante pendant sa rotation à l'intérieur du stator permet d'assurer avec celui-ci sept points de contact étanches et autant de chambres dont le volume augmente puis diminue au rythme du chevauchement des bossages.

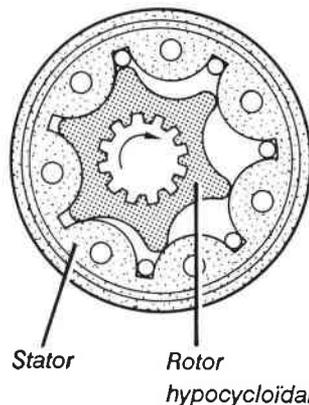


Fig. 221 — Moteur hydraulique à rotor hypocycloïdal.

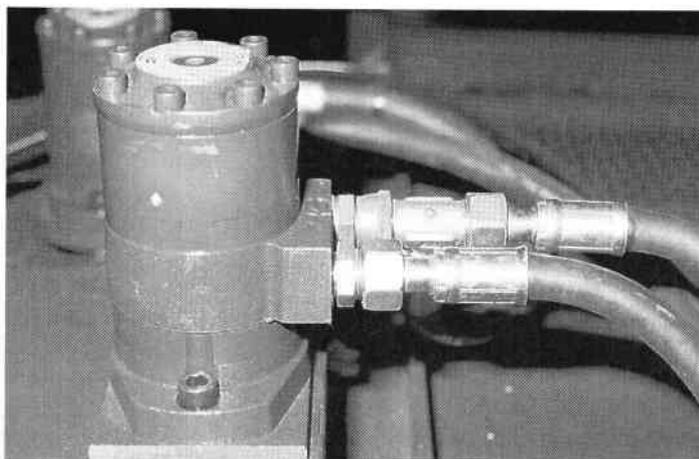


Fig. 222 — Vue d'un moteur hydraulique à rotor hypocycloïdal (Photo CEMAGREF-DICOVA).

L'appellation « **hypocycloïdal** » provient de l'hypocycloïde, qui est la courbe décrite par le point d'un cercle qui tourne lui-même en roulant à l'intérieur d'une circonférence.

Malgré une apparente complexité, ce moteur présente l'avantage de développer **un couple important** pour un encombrement réduit. En effet, la cylindrée, c'est-à-dire le volume engendré durant un tour de l'arbre du moteur, correspond à six révolutions du rotor (dans le cas d'un rotor possédant six bossages).

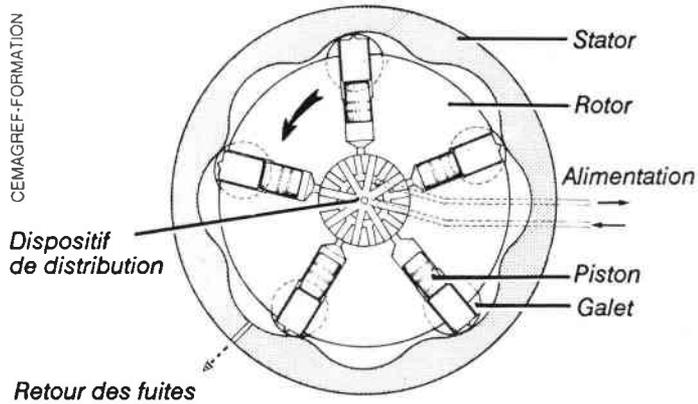


Fig. 223 — **Moteur hydraulique à pistons radiaux**  
(Document Poclair).

Le changement de sens de rotation s'effectue en inversant le sens de l'alimentation en huile à l'entrée du moteur, à l'aide, par exemple, d'un distributeur à double effet.

### — Les moteurs hydrauliques à pistons axiaux :

Ces moteurs sont de conception semblable aux pompes à pistons axiaux décrites ci-dessus. Ils peuvent tourner dans les deux sens. Le plus souvent à cylindrée constante (plateau à inclinaison fixe), ils sont surtout utilisés dans les transmissions hydros-tatiques en circuit fermé. Certaines applications utilisent néanmoins des moteurs à cylindrée variable, lorsqu'une gestion particulière du couple est nécessaire (avancement d'une draineuse automotrice, par exemple).

### — Les moteurs hydrauliques à pistons radiaux (fig. 223) :

Ces moteurs sont généralement constitués d'un rotor dont les pistons, placés radialement, s'appuient à l'intérieur d'un stator pourvu de **bossages périphériques**.

Un système de distribution approprié permet l'alimentation successive des pistons, en phase avec leur course de travail.

Ils peuvent tourner dans les deux sens, mais ne présentent pas de variation continue de cylindrée. Toutefois, dans certaines réalisations, plusieurs cylindrées peuvent être obtenues en court-circuitant un ou plusieurs groupes de pistons (cas, par exemple des moteurs hydrauliques Poclair, « bi » ou « tri-cylindrée »).

• **LES CIRCUITS HYDRAULIQUES DES TRACTEURS** (fig. 225 et 226) :

Les circuits hydrauliques des tracteurs sont ouverts. Rappelons que dans un **circuit ouvert**, on utilise **une pompe à sens unique de débit**. L'alimentation des récepteurs (vérins ou moteurs hydrauliques) est alors assurée par l'intermédiaire d'un distributeur dont le nombre d'orifices et de positions correspond aux fonctions à assurer. Dans tous les cas, l'huile revient au carter ou au réservoir après avoir accompli son travail. Ce type de circuit est le plus utilisé lorsqu'il s'agit d'alimenter des récepteurs hydrauliques (vérin, moteur) actionnant des organes de machines (relevages hydrauliques, élévateurs, etc.).

La figure 224 représente, de façon simplifiée, un exemple de transmission hydrostatique en circuit ouvert, qui comprend :

- une pompe à sens unique de débit et à cylindrée fixe,
- un limiteur de pression réglable,
- un distributeur à double effet du type 4/3,
- un moteur hydraulique à cylindrée fixe et double sens de rotation,
- un filtre placé sur le retour général,
- un réservoir.

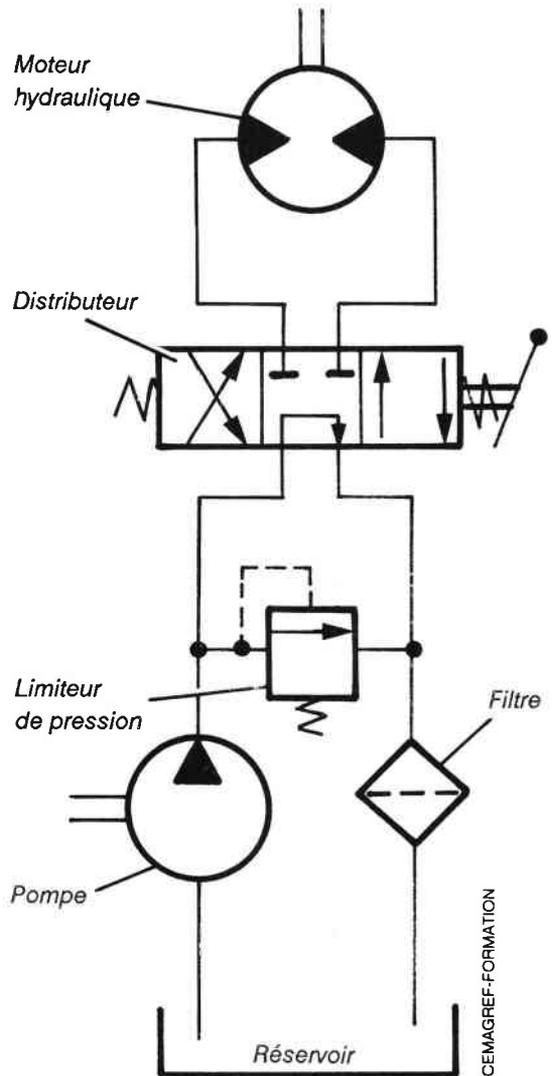


Fig. 224 — Schéma d'une transmission hydrostatique en circuit ouvert.

La figure 225 montre de manière simplifiée un exemple d'organigramme des circuits hydrauliques d'un tracteur, tandis que la figure 226 représente schématiquement l'ensemble des circuits hydrauliques d'un tracteur. On distingue (fig. 226), trois groupes de fonctions alimentés chacun par une pompe : le **circuit principal** à gauche, le **circuit de direction** au centre et le **circuit basse-pression** à droite. Il s'agit bien sûr d'un exemple qui ne représente qu'une des nombreuses combinaisons possibles :

- le **circuit hydraulique principal** comprend une pompe (25 à 70 l/min selon la puissance du tracteur), un limiteur de pression taré à 180 bars, une valve prioritaire pour le freinage des remorques, deux distributeurs double effet pour les raccordements extérieurs, un distributeur à commande électro-magnétique pour le relevage hydraulique.

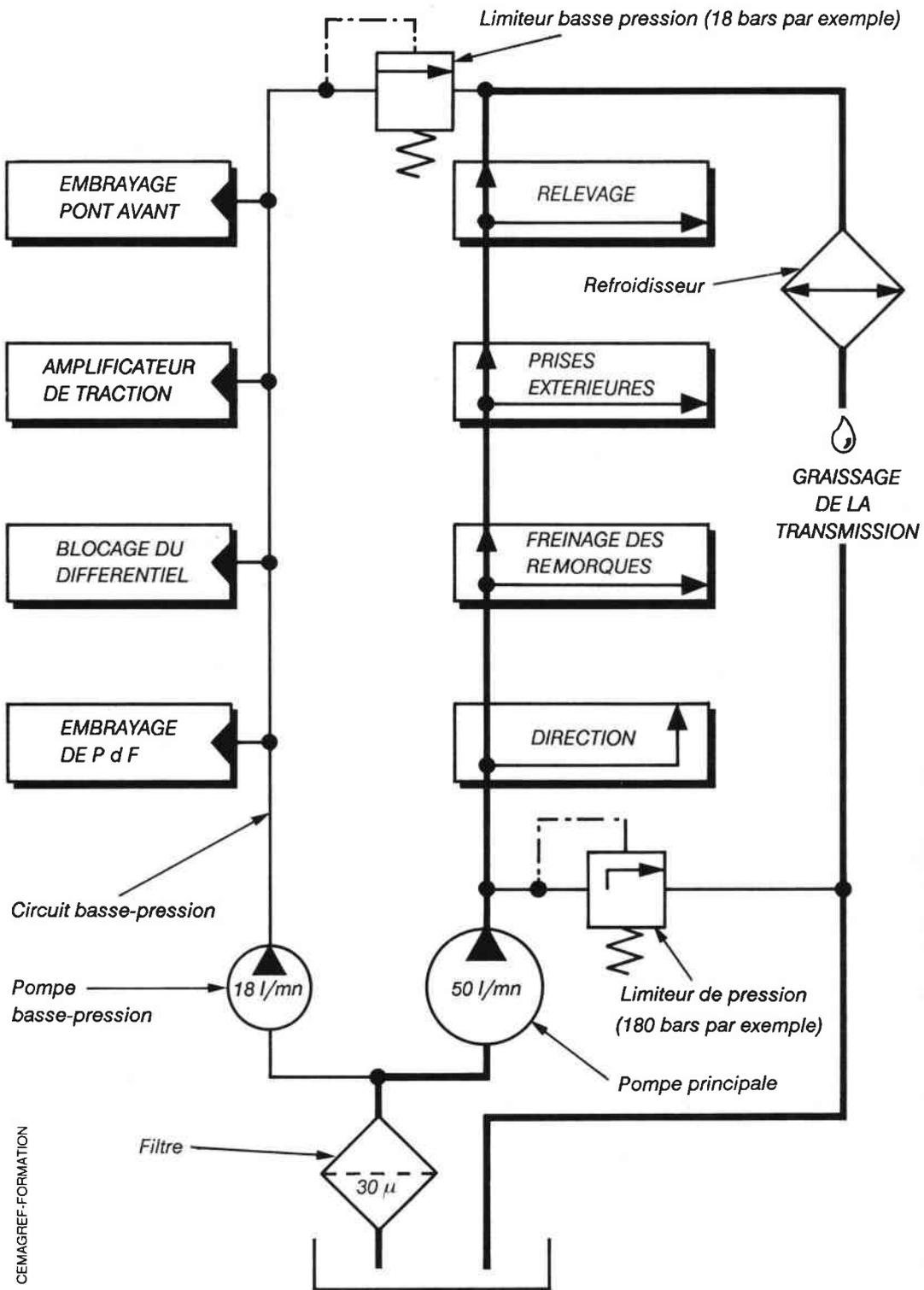


Fig. 225 — Organigramme des circuits hydrauliques d'un tracteur.

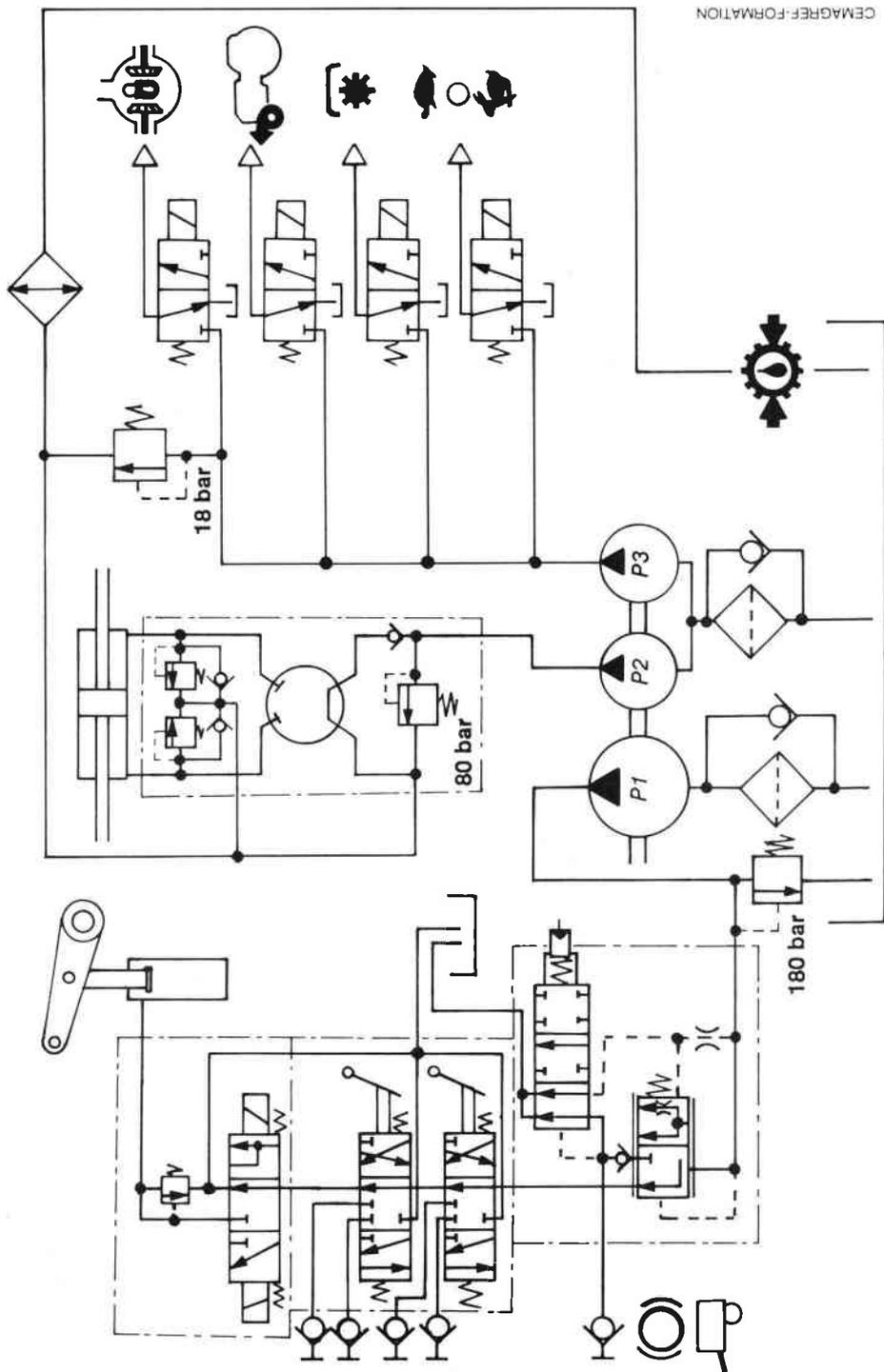


Fig. 226 — Schéma des circuits hydrauliques d'un tracteur.

— le **circuit hydraulique de direction** comprend une pompe (6 à 15 l/min selon les tracteurs), un limiteur de pression réglé à 80 bars, un boîtier de direction, des clapets anti-chocs et un vérin double effet à deux tiges.

— le **circuit hydraulique basse-pression** (12 à 20 bars), permet la commande de tous les éléments de transmission : blocage du différentiel, embrayage de pont avant, embrayage de prise de force et amplificateur de traction.

La filtration de l'huile s'effectue à l'aspiration des pompes ; l'ensemble des débits de retour est refroidi par un échangeur et assure la **lubrification de la transmission** mécanique avant de retourner finalement au carter.

• **LE PRINCIPE D'UNE TRANSMISSION HYDROSTATIQUE EN CIRCUIT FERME** (fig. 227) :

Il convient de noter que les transmissions hydrostatiques pour l'avancement équipent très souvent les machines automotrices, mais qu'elles n'ont trouvé que peu d'applications sur les tracteurs agricoles. Les raisons sont à la fois techniques (rendements) et économiques (investissement, maintenance).

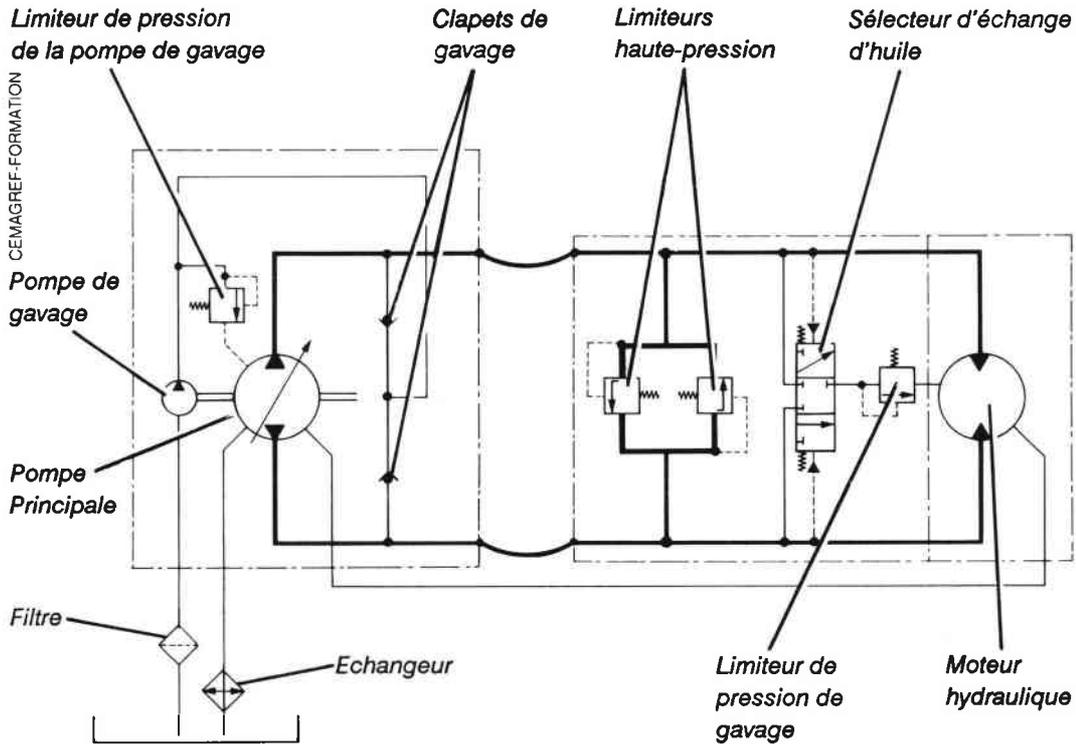


Fig. 227 — Schéma d'une transmission hydrostatique en circuit fermé.

La figure 227 montre un exemple de transmission hydrostatique en circuit fermé, qui comprend en fait trois principaux circuits :

- le circuit de puissance
- le circuit de gavage
- le circuit de retour des fuites.

— **Le circuit de puissance :**

Il est constitué d'une pompe principale du type à cylindrée variable et à double sens de débit, qui est reliée en circuit fermé à un moteur hydraulique du type à cylindrée fixe et à double sens de rotation.

En inversant le débit de la pompe, on peut réaliser l'inversion du sens de marche de la machine puisque le moteur hydraulique se met alors à tourner en sens contraire. Ainsi, l'huile circulant dans chaque conduit du circuit de puissance est soumise tantôt à la pression de refoulement, tantôt à la pression d'aspiration de la pompe principale, selon le sens d'avancement de la machine. C'est pourquoi deux appareils limiteurs de pression sont placés entre les deux conduits du circuit de puissance afin d'assurer une sécurité en cas de surpression pendant la marche avant ou la marche arrière de la machine.

— **Le circuit de gavage :**

C'est un circuit constitué d'une **pompe** auxiliaire (entraînée par la pompe principale), qui aspire au travers d'un filtre, l'huile contenue dans un réservoir et la refoule, sous pression réduite (15 à 25 bars), vers deux **clapets de gavage**. Ces deux clapets de gavage sont disposés de manière à permettre à l'huile de pénétrer dans l'un ou l'autre des conduits du circuit de puissance, c'est-à-dire celui qui se trouve orienté vers le côté « alimentation » de la pompe principale. La compensation des fuites est ainsi assurée par un gavage permanent à l'alimentation de la pompe principale.

Le circuit de gavage a une autre tâche très importante qui consiste à **réaliser l'évacuation d'une partie de l'huile ayant subi un échauffement dans le circuit de puissance**, pour la remplacer par de l'huile refroidie.

Le débit de la pompe de gavage est bien supérieur à celui qui est nécessaire pour compenser les fuites, afin d'échanger une certaine quantité d'huile circulant dans le circuit de puissance pour la remplacer par une quantité équivalente d'huile à une température normale. Cet échange est rendu possible par la présence d'un distributeur automatique appelé **sélecteur d'échange d'huile**, qui est piloté par la différence de pression existant entre la conduite haute-pression et la conduite basse-pression de la pompe principale.

Au travail, la pression de gavage est maintenue à une valeur suffisante par un **limiteur de pression** placé à la sortie du sélecteur d'échange d'huile. Ce limiteur est taré

5 bars environ, en dessous du limiteur de la pompe de gavage.

#### — Le circuit de retour des fuites :

Dans l'exemple de la figure 227, le circuit des fuites est commun avec l'évacuation de l'huile sortant du sélecteur. Il traverse successivement le carter du moteur, le carter de la pompe et un échangeur de chaleur avant de retourner au réservoir. Outre la simplification des raccordements, ce montage permet de maintenir les principaux éléments du circuit à la même température.

#### • LES TRANSMISSIONS HYDROSTATIQUES A SIGNAL DE CHARGE :

Appelés aussi « circuits load sensing », les systèmes à signal de charge sont conçus de manière à réduire les pertes d'énergie tout en utilisant au mieux le potentiel des pompes. Parmi les nombreuses combinaisons possibles, retenons deux exemples de circuits alimentés par des pompes à débit variable et permettant d'une part une **régulation à signal de pression** et, d'autre part, une **régulation à signal combiné pression-charge**.

#### — Régulation à signal de pression (fig. 228) :

Le circuit comprend une pompe à cylindrée variable et un régulateur pour le pilotage de la cylindrée. La distribution étant en centre fermé, l'annulation du débit de la pompe au repos, est obtenue grâce au régulateur qui est piloté par la pression régnant en aval de la pompe. Le tiroir du régulateur est en équilibre entre la pression de pilotage et le tarage du ressort.

L'énergie absorbée par la pompe correspond alors seulement à ses frottements internes et au très faible débit nécessaire à sa lubrification interne.

Dès que l'on ouvre le distributeur, la diminution de pression conduit le régulateur à rétablir la cylindrée et donc le débit de la pompe.

En cas de surpression au travail, le régulateur commande l'annulation de la cylindrée.

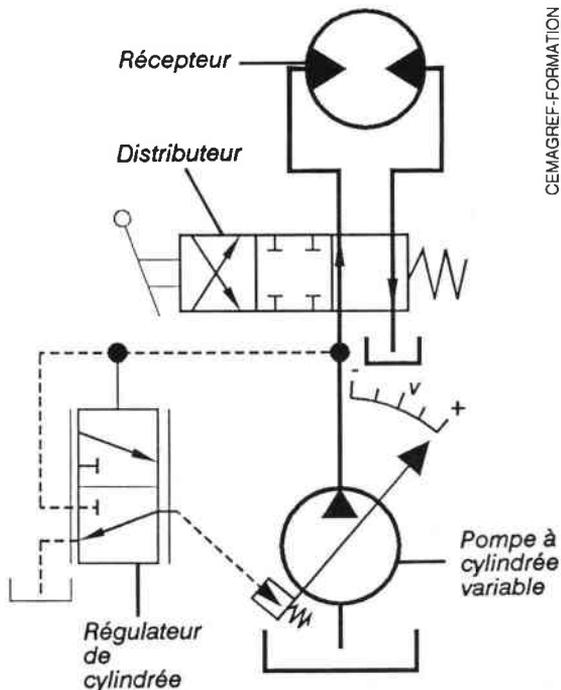


Fig. 228 — Circuit « load-sensing » avec une pompe à cylindrée variable et signal de pression.

Si l'on veut utiliser partiellement le débit de la pompe il est possible de placer un régulateur de débit à deux voies, en série avec le récepteur.

— **Régulation à signal combiné pression-débit** (fig. 229) :

Ce circuit à centre fermé comprend également une pompe à cylindrée variable et un régulateur pour le pilotage de la cylindrée. Le régulateur, plus complexe, est à **pilotage différentiel**, d'une part par la pression de refoulement de la pompe et d'autre part par la pression de fonctionnement du récepteur.

Pour simplifier, nous avons volontairement placé un étranglement réglable à la place du distributeur normalement utilisé (distributeur à commande progressive et étranglement de mesure du débit).

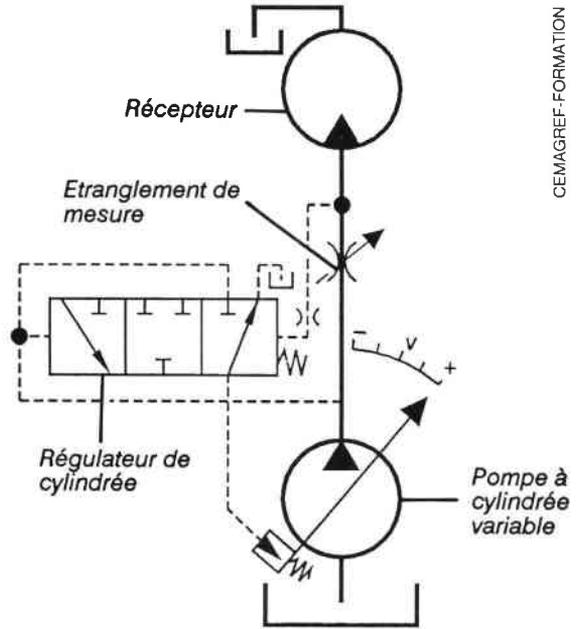
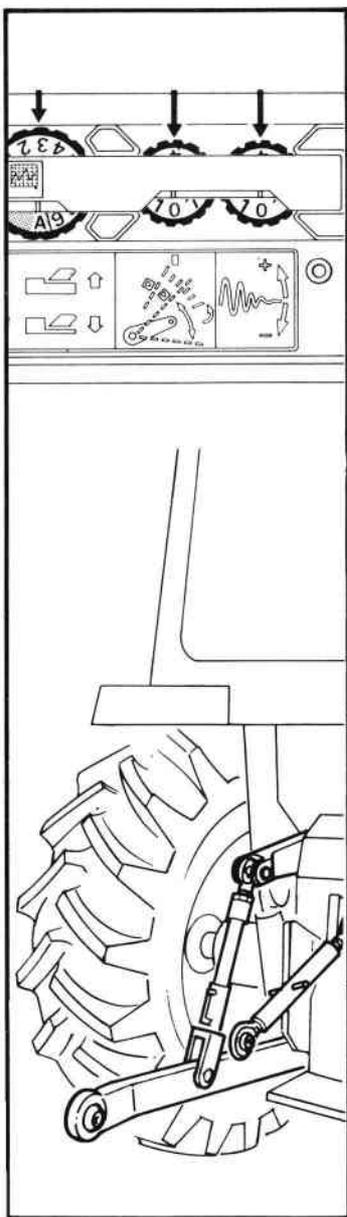


Fig. 229 — Circuit « load-sensing » avec une pompe à cylindrée variable et signal combiné pression-débit.

Au travail, la puissance hydraulique fournie par la pompe est strictement limitée au débit souhaité et à une pression légèrement supérieure à celle du récepteur (conséquence des pertes de charge et de la faible pression fonctionnelle de pilotage du régulateur).

Par rapport au système à signal de pression, ce montage permet en plus, de **moduler le débit et donc la vitesse du récepteur, pratiquement sans perte d'énergie.**





- L'attelage des machines agricoles .. 241
- Les points d'attelage ..... 243
- Les relevages hydrauliques ..... 247
- L'utilisation  
des relevages électroniques ..... 257
- Les liaisons hydrauliques  
tracteur-outil ..... 259
- Les prises de force ..... 262
- Les liaisons électriques  
et électroniques ..... 268



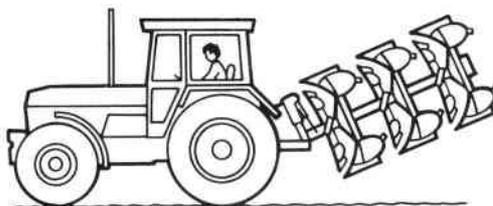
Train d'outils combinés pour le travail du sol et le semis (Photo VICON).

## • L'ATTELAGE DES MACHINES AGRICOLES :

Il existe trois modes d'attelage des machines agricoles : **outils porté, semi-porté ou traîné** (fig. 230). En fait, il faut remarquer que ces catégories ne sont pas strictement définies car il est possible de rencontrer de nombreux cas intermédiaires. D'autre part, un outil peut appartenir à deux catégories différentes, étant par exemple semi-porté au travail et porté pendant les manoeuvres ou le transport.

### — Outil porté (fig. 230 et 231) :

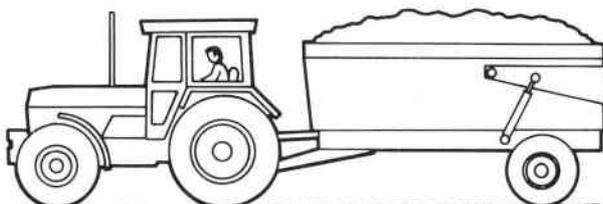
Le matériel est adapté au tracteur de telle façon que **l'attelage du tracteur supporte tout son poids**. Ce matériel ne repose donc pas, en principe, sur le sol ; il est relié au tracteur par un **attelage à trois points actionné par le relevage hydraulique**.



CEMAGREF-FORMATION

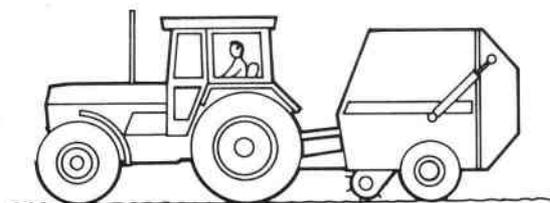
**OUTIL PORTE**

Ce type d'attelage donne une bonne maniabilité aux machines, en particulier pour les réglages, les manoeuvres et le transport. Il s'impose pour les outils légers.



**OUTIL SEMI-PORTE**

Avec des machines plus lourdes l'adhérence du tracteur est accrue en raison de l'augmentation du poids appliqué sur les roues motrices arrière. En revanche, cet accroissement de poids conduit à une augmentation des efforts de roulement et des risques de tassement du sol et, par ailleurs, l'avant du tracteur est allégé. Il convient donc d'optimiser l'alourdissement et de le répartir sur les roues du tracteur en fonction de leur motricité. L'exemple suivant montre que ces deux facteurs sont directement liés à l'attelage.



**OUTIL TRAINE**

Fig. 230 — Principaux types d'attelages.

Considérons un tracteur à quatre roues motrices inégales (fig. 231). Son poids ( $P$ ) de 40 kN se répartit également entre l'avant ( $PA$ ) et l'arrière ( $PB$ ). Le centre d'inertie (centre de gravité) est donc à égale distance des verticales passant par  $A$  et  $B$ . Les réactions du sol en  $A$  et  $B$ , soit  $RA$  et  $RB$  sont égales et opposées à  $PA$  et  $PB$ , soit 20 kN :

$$P = PA + PB = -(RA + RB)$$

Si on lève une charrue attelée de poids  $P_c = 10$  kN, la répartition des charges se modifie. On peut les calculer en écrivant que la somme des moments des forces autour d'un point est nulle à l'équilibre :

– autour de  $A$  :

$$-1,25 \times 40 + 2,5 \times RB - 5 \times 10 = 0 \text{ d'où } RB = 40 \text{ kN}$$

– autour de  $B$  :

$$-2,5 \times Ra + 1,25 \times 40 - 2,5 \times 10 = 0 \text{ d'où } Ra = 10 \text{ kN}$$

On a donc alors 80 % du poids total (50 kN) sur l'arrière et 20 % sur l'avant. Au travail, le poids de la charrue s'additionnant à l'effort sur les corps de labour, la résultante est alors oblique. Pour un report de l'outil de 50 %, les mêmes calculs nous indiquent alors  $R_b = 30$  kN et  $R_a = 15$  kN. Les charges sont alors réparties dans les proportions de 2/3 et 1/3 correspondant aux puissances à transmettre par les roues. On a dans ce cas transféré 10 kN sur les roues arrière : 5 kN de l'avant et 5 kN de la charrue. C'est le principe du **transfert de charge**.

Par soucis de clarté, l'exemple que nous venons de décrire ne prend en compte que les **transferts « statiques »** ; en pratique on doit aussi tenir compte de **transferts « dynamiques »** induits par la traction.

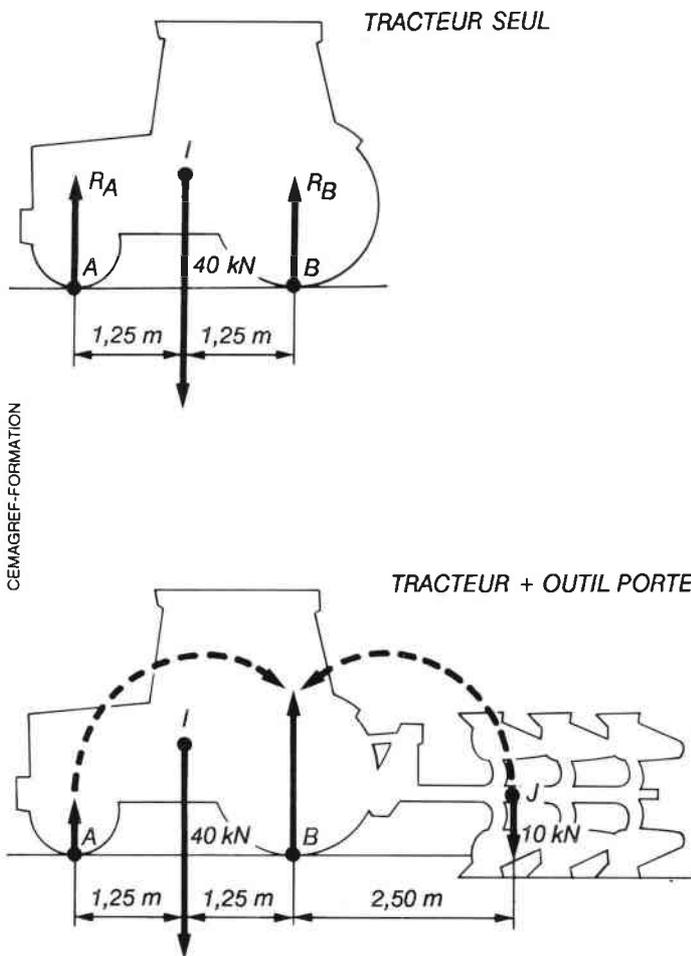


Fig. 231 – La répartition statique et le transfert de charge.

— **Outil semi-porté** (fig. 230) :

Le matériel est attelé de telle façon qu'**une partie de son poids soit supportée par le tracteur** et que l'autre partie repose en un ou plusieurs points sur le sol.

Cette répartition des charges est intéressante pour les remorques car la présence d'un appui sur le tracteur permet de renforcer l'adhérence des roues arrière du tracteur, ce qui se révèle particulièrement utile lors d'opérations de débardage sur sol mou.

**La charge statique** de la remorque s'appuyant sur le point d'attelage du tracteur ne doit réglementairement pas dépasser 30kN.

— **Outil traîné** (fig. 230) :

Le matériel est adapté au tracteur de telle façon que **l'essentiel du poids soit supporté par le sol**.

Si l'adhérence est suffisante le tracteur peut tracter des charges importantes, mais lorsque les efforts de roulement sont importants, dans le cas d'un sol mou par exemple, l'adhérence du tracteur peut devenir insuffisante. Les remorques traînées sont donc bien adaptées à la circulation sur route à condition toutefois de disposer d'un freinage conforme à la réglementation et de ne pas dépasser les charges autorisées.

Pour les machines légères, l'attelage traîné est souvent utilisé car il permet des opérations d'attelage simples et faciles.

• **LES POINTS D'ATTELAGE :**

— **la chape d'attelage**  
(fig. 232) :

C'est un élément qui permet l'accrochage de l'anneau d'attelage d'une remorque traînée. Une broche dans la chape d'attelage

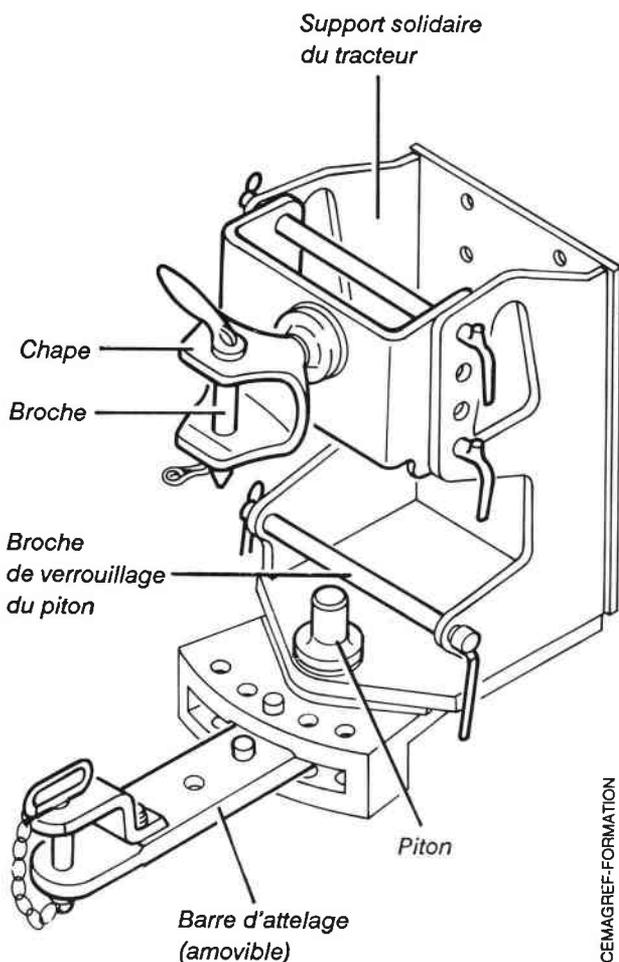


Fig. 232 — Dispositifs d'attelage pour matériels semi-portés et traînés.

réalise le verrouillage. La chape d'attelage est généralement réglable en hauteur et son axe longitudinal peut être pivotant.

— **Le piton d'attelage** (fig. 232) :

Cet axe vertical situé à la partie basse de l'arrière du tracteur est spécialement prévu pour l'attelage des remorques, épandeurs et pulvérisateurs semi-portés. Sa position basse limite les risques de cabrage du tracteur. Le piton est accompagné d'un **verrou** qui empêche l'anneau de remorque de s'échapper.

— **La barre d'attelage** (fig. 232) :

Cette barre également appelée **timon oscillant**, est fixée sous le tracteur. Elle est prévue pour de forts efforts de traction, mais des reports de charge limités (cover crop par exemple). Le recul du point d'attelage par rapport au tracteur permet le fonctionnement des transmissions dans les meilleures conditions. On l'utilisera par exemple pour les faucheuses traînées, ramasseuses presses et ensileuses. Elle peut être maintenue dans l'axe du tracteur ou déportée sur le côté pour permettre un positionnement latéral de l'outil.

— **Le crochet automatique** (fig. 233) :

Appelé aussi « **crochet ramasseur** », ce dispositif d'attelage peut-être utilisé pour l'attelage des remorques semi-portées en remplacement du piton. Il s'agit d'un crochet pendulaire actionné depuis le poste de conduite grâce au relevage hydraulique ou à un circuit hydraulique séparé. Le verrouillage est obtenu automatiquement et le déverrouillage par action mécanique commandée.

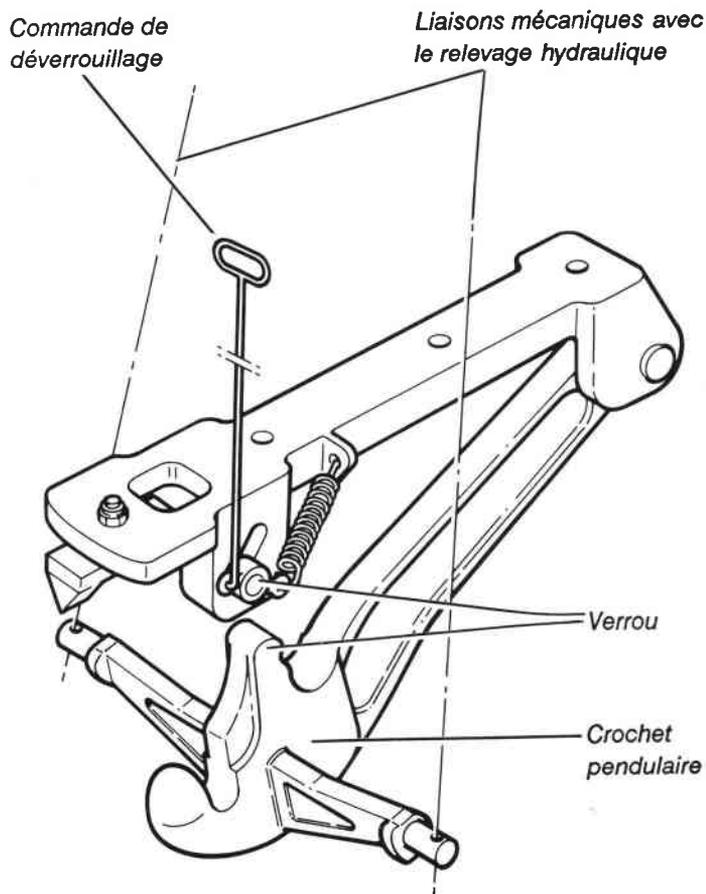


Fig. 233 — Crochet ramasseur.

## — L'attelage trois points (fig. 234) :

Actionné par le relevage hydraulique (fig. 234) ou avant (fig. 235), c'est l'attelage des outils portés ou semi-portés. L'effort de traction est transmis par deux bras inférieurs, portant à leur extrémité les rotules de fixation de l'outil. Ces deux points peuvent suffire pour l'attelage de certains outils semi-portés. Avec des outils portés il faut un troisième point situé à l'extrémité de la barre supérieure. Les bras de relevage permettent la variation de hauteur de l'ensemble par l'intermédiaire de deux chandelles réglables.

Le tableau p. 246 décrit les quatre catégories d'attelage trois points en fonction des puissances des tracteurs. Des normes définissent pour chaque catégorie les dimensions à respecter côté tracteur et côté machine.

**Des stabilisateurs latéraux** (fig. 234) réglables (rigides ou à chaînes), contrôlent le débattement latéral des bras inférieurs et les empêchent de heurter les pneumatiques.

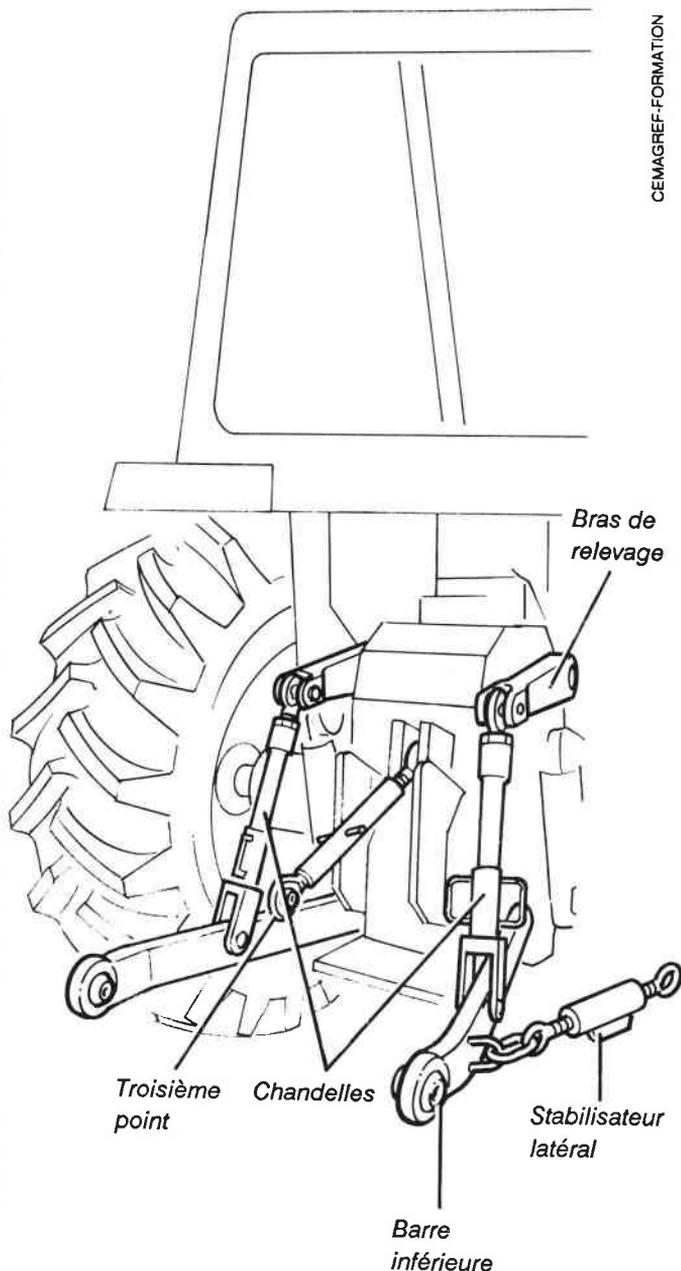


Fig. 234 — Système d'attelage arrière trois points.

De plus en plus l'attelage trois points reçoit des **accouplements automatiques** qui permettent d'effectuer les opérations d'attelage et de dételage plus facilement, plus rapidement et avec plus de sécurité. Parmi les principaux systèmes, citons : **la barre de couplage, les trois points automatiques, l'accouplement triangulaire.**

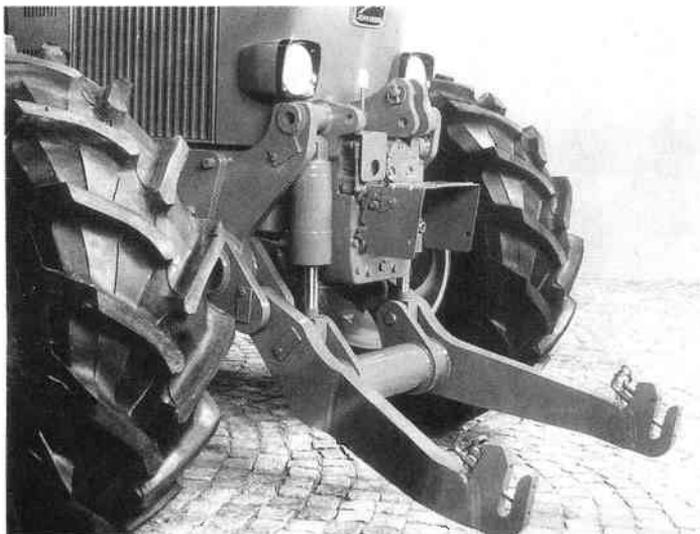


Fig. 235 — Relevage avant (Photo John Deere).

Catégorie	Puissance	Diamètre maximal des trous des bras inférieurs
1	jusqu'à 48 kW	22 mm
2	de 48 à 92 kW	28 mm
3	de 92 à 185 kW	36,6 mm
4	de 185 à 300 kW	51,5 mm

— **La barre à trous :**

Cette barre transversale s'adapte aux extrémités des bras inférieurs de l'attelage trois points. Elle est de ce fait facilement réglable en hauteur. Son utilisation n'est pas recommandée en raison du manque de stabilité latérale et du risque de basculement de l'outil attelé.

— **La barre de couplage :**

Appelée aussi « barre d'attelage deux points », il s'agit d'une solide barre transversale rectiligne ou incurvée, fixée aux extrémités des barres inférieures de l'attelage trois points. Munie de **cônes de centrage**, elle vient s'accoupler, en actionnant le relevage, à des **paliers verrouillables** placés sur l'outil attelé.

— **Les trois points automatiques (fig. 236) :**

Les rotules des trois points sont remplacées par **des mâchoires** que l'on peut verrouiller ou déverrouiller depuis le poste de conduite grâce à des flexibles ou des câbles

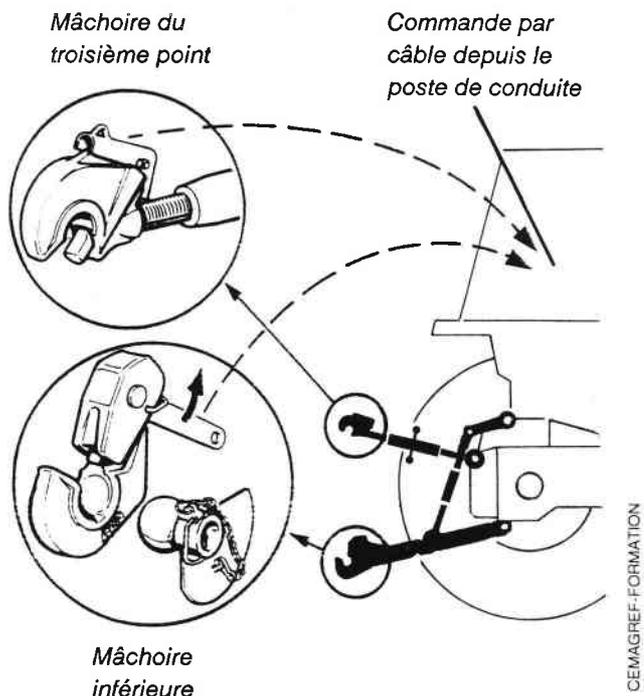


Fig. 236 — Attelage automatique à trois points.

souples. Selon les cas, la longueur de la **barre supérieure du troisième point** peut-être réglée, depuis le poste de conduite, par une **commande mécanique ou hydraulique**.

— **L'accouplement triangulaire** (fig. 237) :

Cet attelage comprend, côté outil, une **tête d'attelage en forme de triangle** ou de V retourné. Côté tracteur, l'attelage trois points est associé à un autre triangle étudié pour venir s'emboîter dans la tête d'attelage de l'outil.

• **LES RELEVAGES HYDRAULIQUES :**

Les relevages hydrauliques des tracteurs agricoles utilisent un cir-

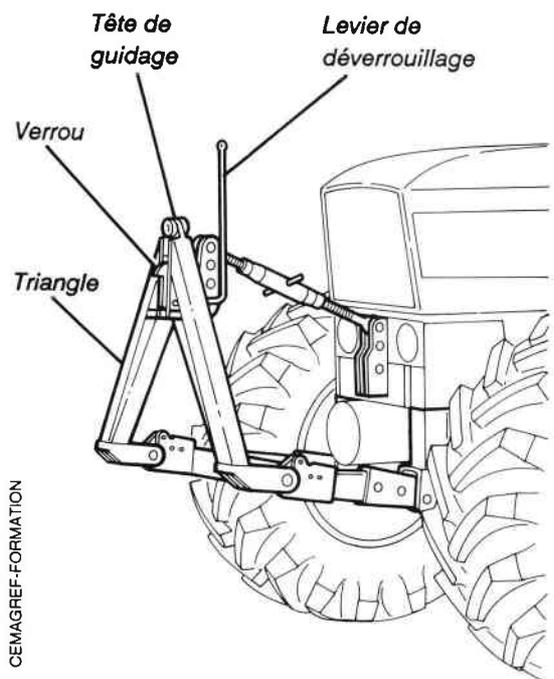


Fig. 237 — Attelage trois points frontal à accouplement triangulaire.

cuit hydraulique classique (fig. 238), comportant des composants décrits au chapitre « transmissions hydrauliques » : pompe, distributeur, vérin simple effet et limiteur de pression, (se reporter aussi au chapitre : les caractéristiques et les performances des tracteurs, l'effort de traction). La principale particularité se trouve au niveau du distributeur, qui n'est pas commandé directement par l'utilisateur, mais par des **asservissements**. En effet les relevages doivent permettre : le contrôle de la position de l'outil au travail, le contrôle de l'effort de traction et de l'adhérence du tracteur.

— **Le contrôle de position :**

Le principe de cet asservissement est de faire correspondre à chaque position de la manette une hauteur de l'outil. Il est ainsi très facile de rappeler un réglage déjà connu de cet outil. Plusieurs technologies sont utilisées pour réaliser ces dispositifs : **commande mécanique, hydraulique ou électronique**.

- **Contrôle de position à commande mécanique (fig. 239) :**

Dans l'exemple de la figure 239, si l'on actionne la manette de contrôle de position, la biellette intermédiaire AC pivote autour du point B maintenu fixe par les bras de relevage. Cette biellette AC repousse donc le distributeur en fonction « Montée du vérin » ; ce qui entraîne la montée du relevage. Durant cette montée, la manette est tenue fixe

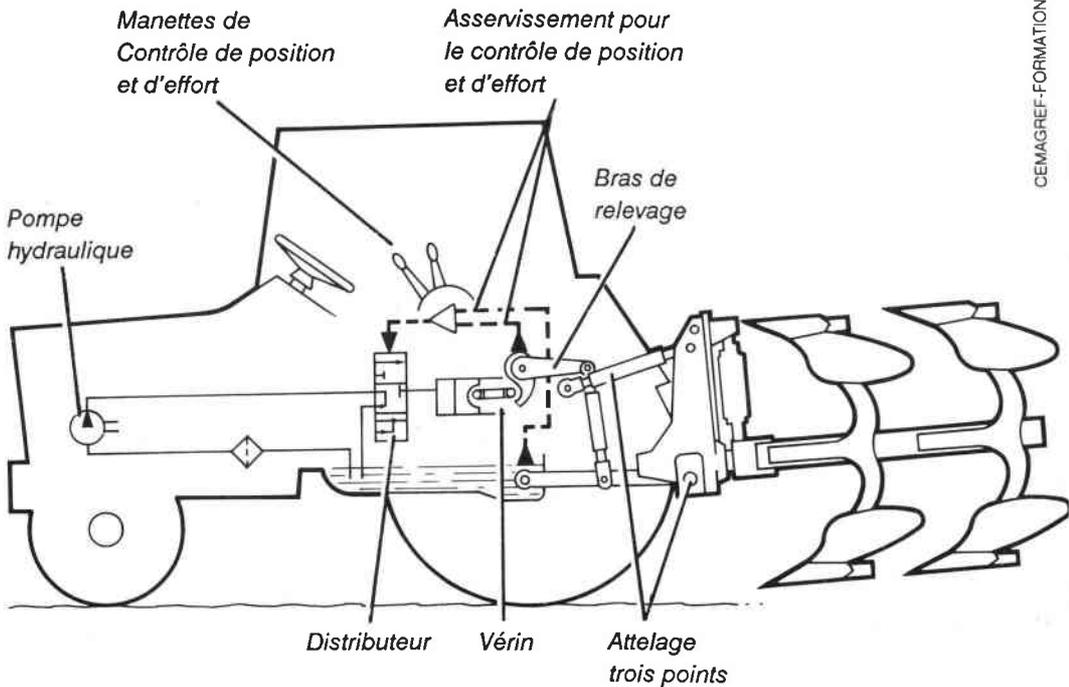


Fig. 238 — Principe d'un relevage hydraulique.

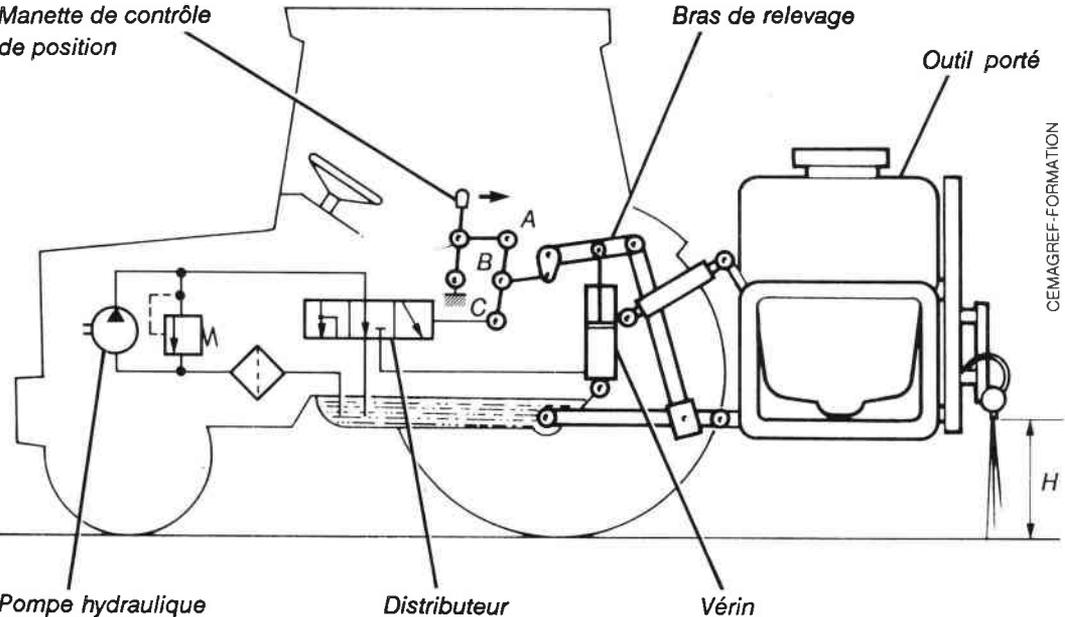


Fig. 239 – Principe de contrôle de position à asservissement mécanique.

par l'action d'un frein. La biellette AC pivote maintenant autour de A, ce qui entraîne le retour du distributeur au neutre quand la position affichée de l'outil est atteinte. A chaque position de la manette va donc correspondre une hauteur H de l'outil.

- Contrôle de position à commande hydraulique (fig. 240) :

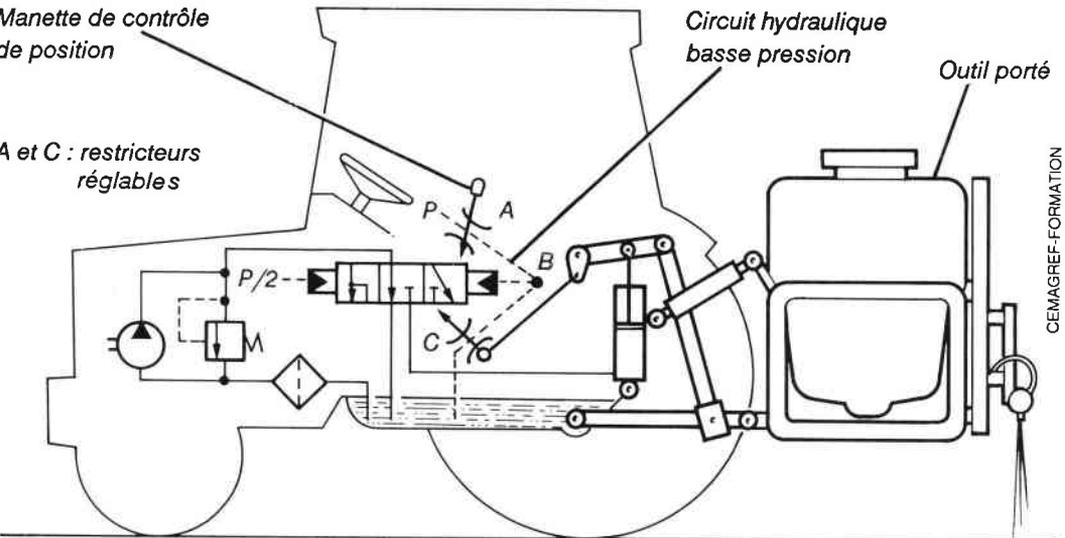


Fig. 240 – Principe du contrôle de position à asservissement hydraulique.

Il utilise un circuit hydraulique de **pilotage** à basse pression P. Un **diviseur de pression** permet d'obtenir une pression de pilotage  $P/2$  d'un côté du distributeur. L'autre côté est piloté par une pression contrôlée par les deux **restricteurs A et C**, actionnés l'un par la manette de contrôle l'autre par les bras de relevage. Le déplacement de la manette fait varier la pression en B, ce qui provoque le pilotage du distributeur et la mise en action du relevage. Le relevage commande alors le restricteur C, ce qui va rétablir l'égalité des pressions de pilotage du distributeur. Ainsi le distributeur se place au neutre lorsque la hauteur de l'outil correspond à la position de la manette.

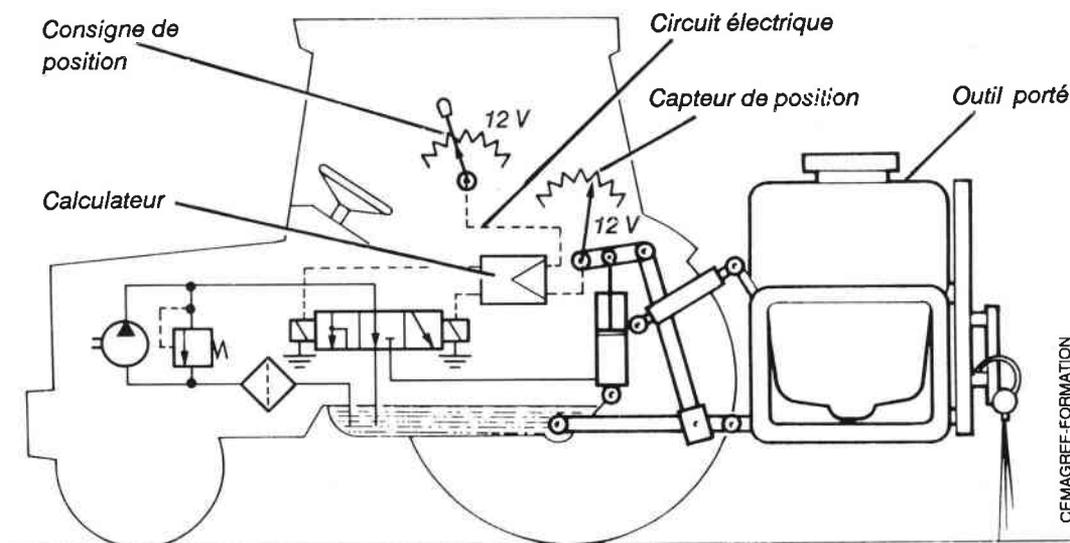


Fig. 241 — Principe du contrôle de position à asservissement électronique.

- Contrôle de position à commande électronique (fig. 241) :

Ce système compare les informations de tension définies par un **potentiomètre de consigne**, réglé par le conducteur, et un **capteur de position** (se reporter au chapitre : les équipements électroniques embarqués). Si l'on actionne le potentiomètre de consigne, un **calculateur** détecte une différence entre les valeurs de consigne et de position. Il établit alors l'alimentation de l'un des deux **solénoïdes de commande du distributeur** (fig. 241). Le relevage se met en action, ainsi que le capteur de position (fig. 242), jusqu'à l'obtention d'une nouvelle égalité des valeurs de consigne et de position, entraînant la remise au neutre du distributeur. Le contrôle de position agit selon une logique représentée à la figure 243.

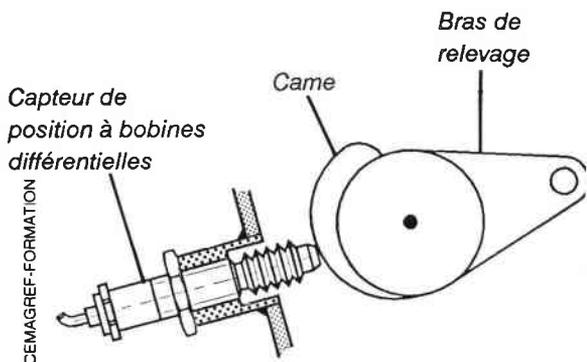


Fig. 242 — Capteur pour le contrôle de position d'un relevage hydraulique.

Il existe deux familles de calculateurs qui font appel à deux technologies différentes : l'**électronique analogique** et l'**électronique numérique**.

En **électronique analogique**, on utilise le montage appelé **comparateur** (fig. 244). Il est obtenu à partir d'un **circuit amplificateur opérationnel**. Celui-ci reçoit deux tensions d'entrée dont il amplifie la différence. La particularité du montage comparateur réside dans le fait que le circuit amplificateur est employé en **saturation**, c'est-à-dire que l'amplification n'est plus du tout proportionnelle. Dès qu'il existe une faible différence entre les deux valeurs des tensions d'entrée, la sortie prend la valeur de la tension d'alimentation affectée du signe plus ou moins suivant le signe de la différence d'entrée. Cette tension de sortie activera un **transistor**

**NPN** si elle est positive, elle activera un **transistor PNP** si elle est négative. Dans le cas du relevage électronique, les entrées du comparateur sont reliées au potentiomètre de consigne et au capteur de position ; les transistors NPN et PNP sont reliés aux solénoïdes de commande du distributeur.

En **électronique numérique**, on utilise un **microprocesseur** capable d'effectuer des **opérations logiques et arithmétiques** dans l'ordre fixé par un **programme**. Il faut donc transformer les valeurs de tension de consigne et de position en nombres, ce qui est réalisé par un **convertisseur analogique-numérique**. Le microprocesseur calcule la différence entre ces deux nombres et suivant le résultat commande la montée, la descente ou le maintien au neutre du relevage.

### — Le contrôle d'effort :

Cet asservissement (fig. 245) permet de maintenir un effort de traction constant. Il est surtout utilisé au labour. Lorsque la charrue rencontre une résistance plus forte

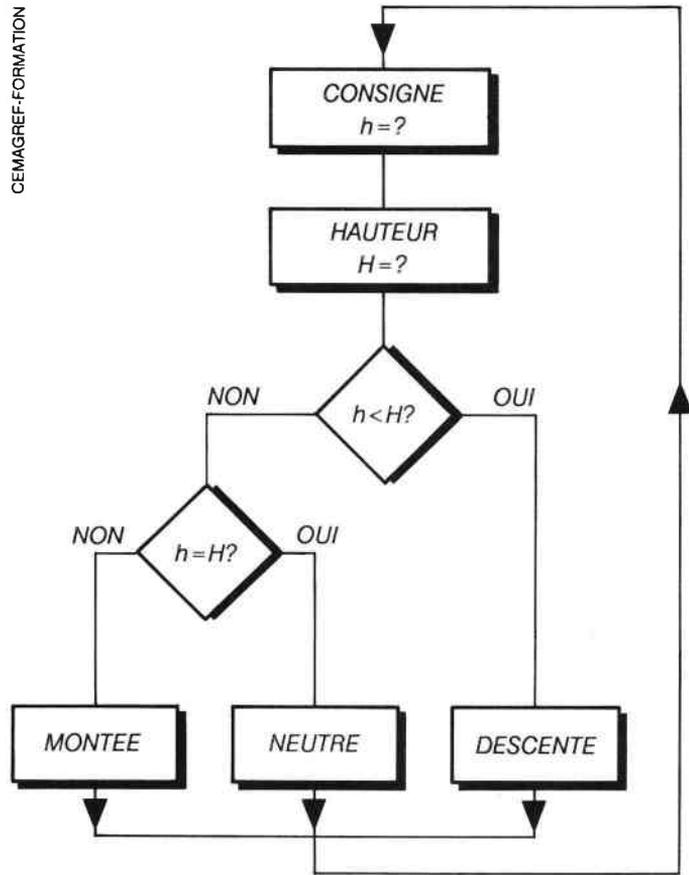


Fig. 243 — Organigramme du contrôle de position.

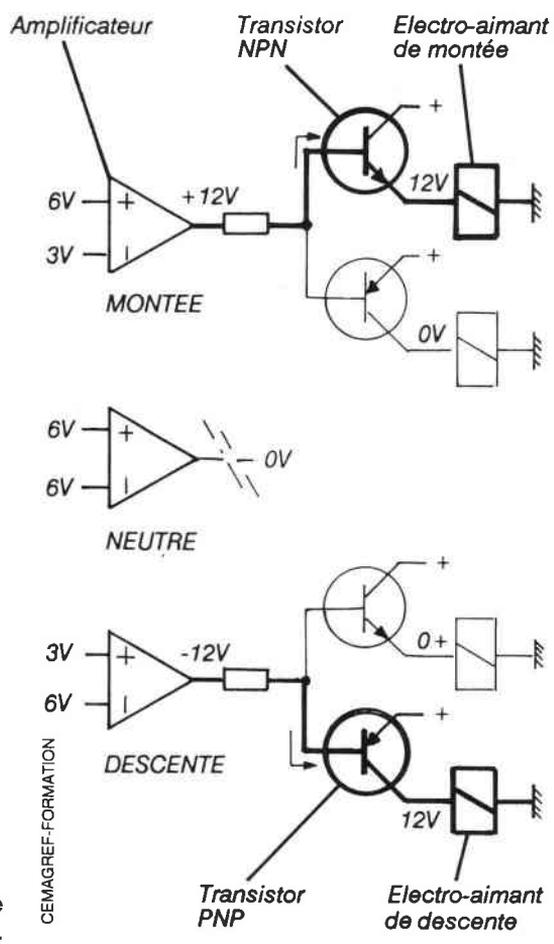


Fig. 244 — Principe d'un circuit comparateur.

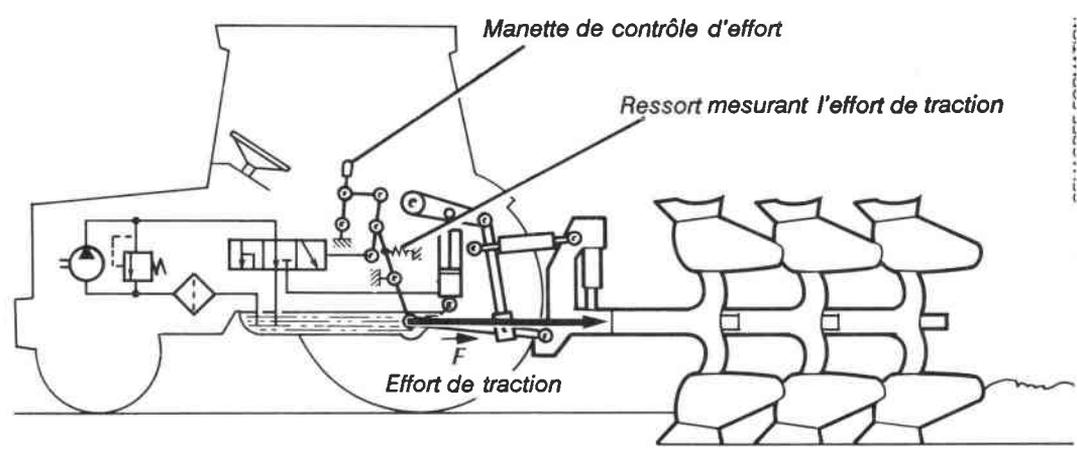


Fig. 245 — Principe du contrôle d'effort mécanique.

du sol par suite d'une variation de sol ou d'une inégalité de terrain, le tracteur pourrait patiner exagérément, détériorant ainsi la structure du sol, ou pourrait s'enliser. Pour éviter cela, le contrôle d'effort va remonter légèrement la charrue provoquant ainsi une diminution de l'effort de traction. Le tracteur bénéficie en outre d'un plus grand report de charge sur les roues arrière, puisqu'à ce moment il porte tout le poids de la charrue et de la terre soulevée. Nous savons aussi qu'un transfert de charge de l'outil sur les roues arrière s'accompagne automatiquement d'un transfert de l'avant du tracteur vers l'arrière.

Le tracteur travaille donc dans de meilleures conditions, avec, cependant, une irrégularité de profondeur dans les terrains de structure hétérogène.

Dans le cas d'une courte variation de l'effort résistant, le contrôle peut se limiter à une augmentation de pression dans le circuit hydraulique : on obtient ainsi le bénéfice d'un report de charge sans variation de la profondeur de travail.

La réalisation de ce système peut se faire également dans les trois technologies utilisées pour le contrôle de position : mécanique, hydraulique et électronique.

#### - Le contrôle d'effort mécanique (fig. 245) :

Si la charrue rencontre une zone résistante, le ressort qui mesure l'effort de traction se tend ce qui amène le distributeur en fonction « montée ». Lorsque la charrue se lève, l'effort de traction diminue, donc le ressort se détend et le distributeur retourne au neutre.

On peut régler la sensibilité du contrôle d'effort. Par exemple pour un effort recherché de 20 kN, il est actif entre 19 et 21 kN pour un réglage sensible, et entre 17 et 23 kN pour un réglage moins sensible. Pour un réglage trop sensible, le relevage sera souvent sollicité ; il sera donc fréquemment en descente, cas très défavorable en ce qui concerne le report de charge.

Plusieurs types de mesure de l'effort sont employés. Le plus souvent une barre de torsion ou une barre de flexion est sollicitée par les bras inférieurs. Pour les charrues courtes et légères, l'effort peut être mesuré d'une façon indirecte au niveau du troisième point d'attelage. En effet, dans ce cas la barre supérieure est d'autant plus comprimée que l'effort de traction est plus grand. Cela n'est plus vrai pour des charrues plus importantes

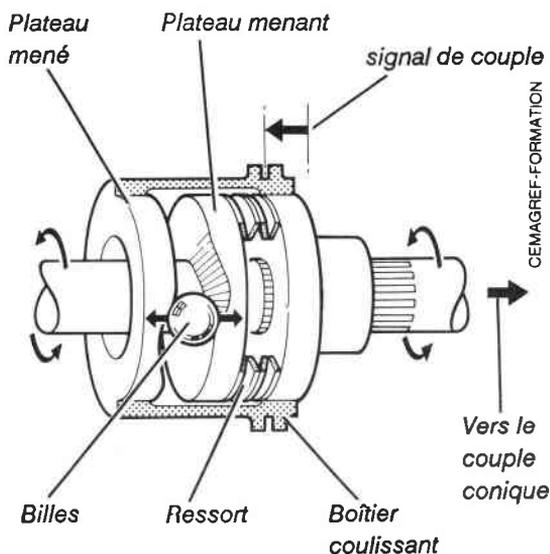
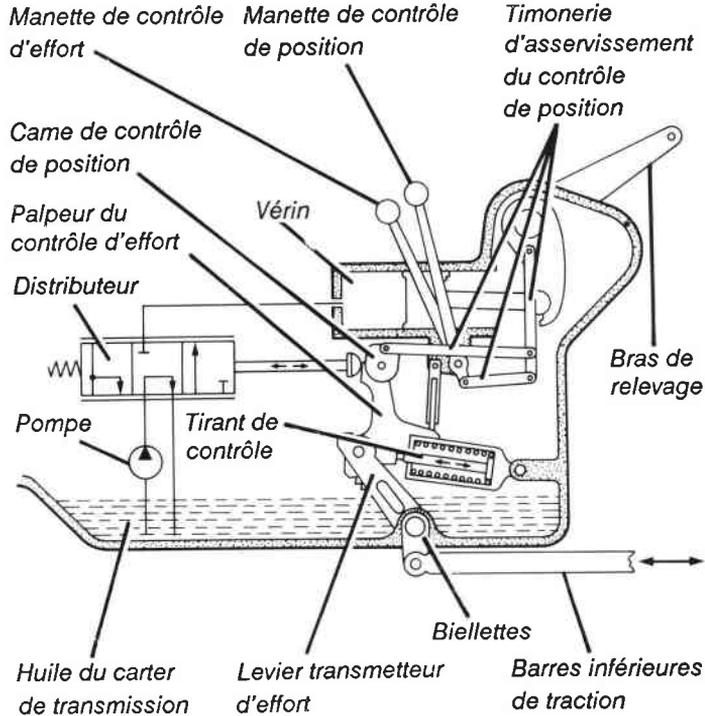


Fig. 246 — Principe de la mesure du couple pour la commande du contrôle d'effort (Ford, Load-Monitor).

où cette barre est alors éti-  
rée. Il existe également un  
système de contrôle d'effort  
qui réagit aux variations de  
couple dans la transmission (fig. 246).

Parmi les différents dispo-  
sitifs mécaniques existants,  
la figure 247 représente le  
système « **Tracto-Control** »  
des tracteurs Renault : lors-  
qu'au travail, l'effort de  
traction devient supérieur au  
tarage du ressort de contr-  
ôle, celui-ci, en se compr-  
imant, permet un pivotement  
des biellettes et du levier  
transmetteur d'effort. Ce  
pivotement conduit alors le  
levier palpeur à repousser le  
tirant du distributeur de  
manière à ce que celui-ci  
détermine une augmentation  
de pression dans le vérin qui  
va jusqu'à provoquer une  
montée partielle des bras de  
relevage.



CEMAGREF-FORMATION

Fig. 247 — Relevage hydraulique à contrôle de position et d'effort.

Lorsqu'au contraire, l'effort de traction diminue, c'est le ressort qui rappelle les leviers en sens inverse, ce qui permet au distributeur de provoquer la descente des bras de relevage. Selon la nature du travail effectué et le poids de l'outil attelé au tracteur, l'effort de travail est réglé par la manette de contrôle d'effort. En effet, plus cette manette écarte le levier palpeur du distributeur, plus l'effort doit être grand afin de comprimer davantage le ressort de contrôle et vice versa.

#### - Le contrôle d'effort électronique :

Comme pour le contrôle de position électronique décrit précédemment, les relevages à commandes électroniques disposent de capteurs qui mesurent les variations d'effort de traction (fig. 248) et les transmettent à une unité de calcul qui commande le distributeur hydraulique selon une logique représentée par la figure 249. La transmission des signaux s'effectue, selon les cas, en **mode analogique** ou en **mode numérique**. Tout d'abord les capteurs utilisés mesuraient la déformation d'un ressort ; actuellement des capteurs spécifiques ont été développés : **capteurs à effet magnéto-élastique**, **capteurs à jauges de contraintes...** (se reporter au chapitre : les équipements électroniques embarqués)

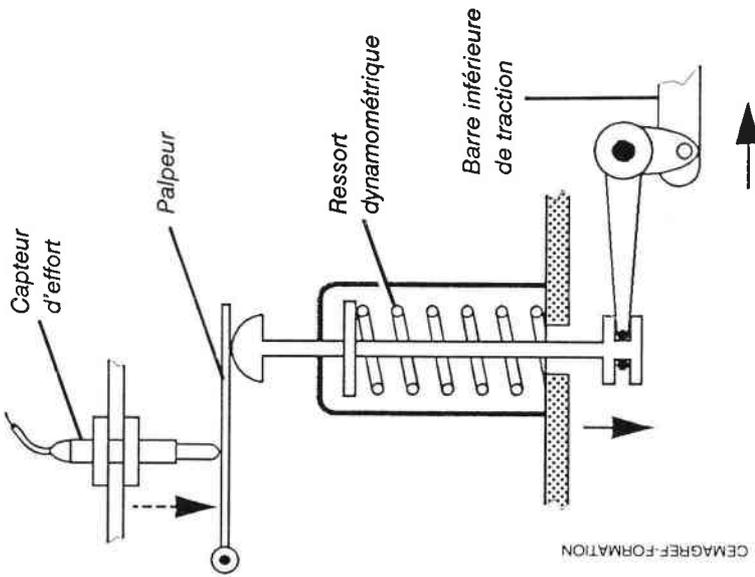


Fig. 248 — Capteur pour le contrôle d'effort (avec ressort dynamométrique) d'un relevage hydraulique.

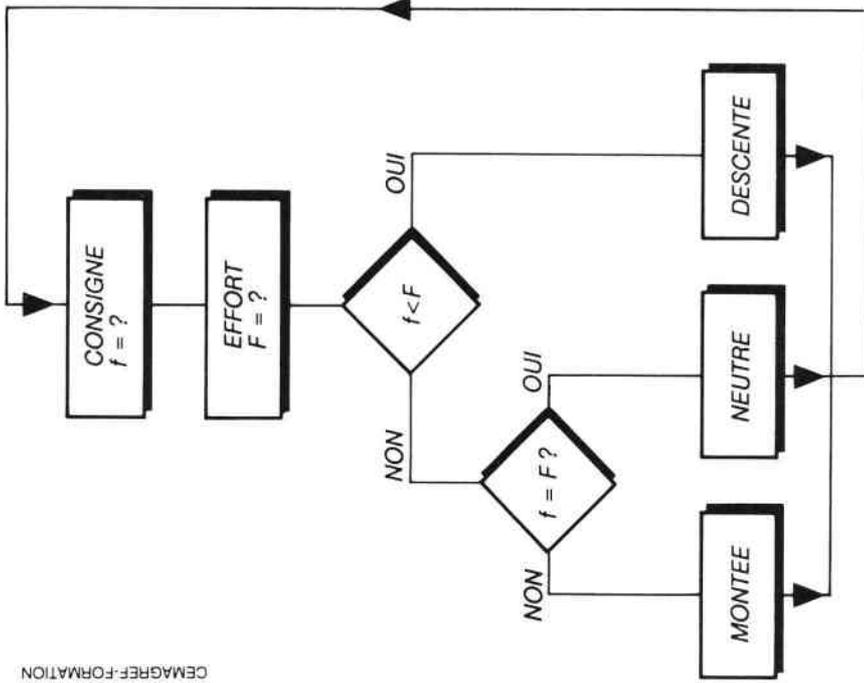


Fig. 249 — Organigramme du contrôle d'effort.

CEMAGREF-FORMATION

CEMAGREF-FORMATION

## — Les autres fonctions des relevages :

### - La position flottante :

Cette fonction permet au relevage de n'exercer aucun contrôle sur l'outil. Le vérin peut **monter et descendre librement**. L'outil peut ainsi reposer sur ses propres roues et suivre les irrégularités du terrain (semoir, houes et herses animées par exemple). Si une commande spéciale n'est pas prévue, on obtient la position flottante en réglant le contrôle de position à la hauteur la plus basse qui peut être atteinte.

### - Le contrôle mixte :

Le contrôle de position est combiné au contrôle d'effort, ce qui permet de **limiter les trop fortes variations de profondeur**, notamment en descente. On sait en effet qu'un labour trop profond est inutile et même néfaste du point de vue agronomique.

### - Le contrôle de patinage (fig. 250) :

Le contrôle de patinage est une particularité des relevages à commande électronique. **Un radar mesure la vitesse réelle d'avancement du tracteur**, (se reporter aussi au chapitre : les équipements électroniques embarqués). Cette vitesse est comparée

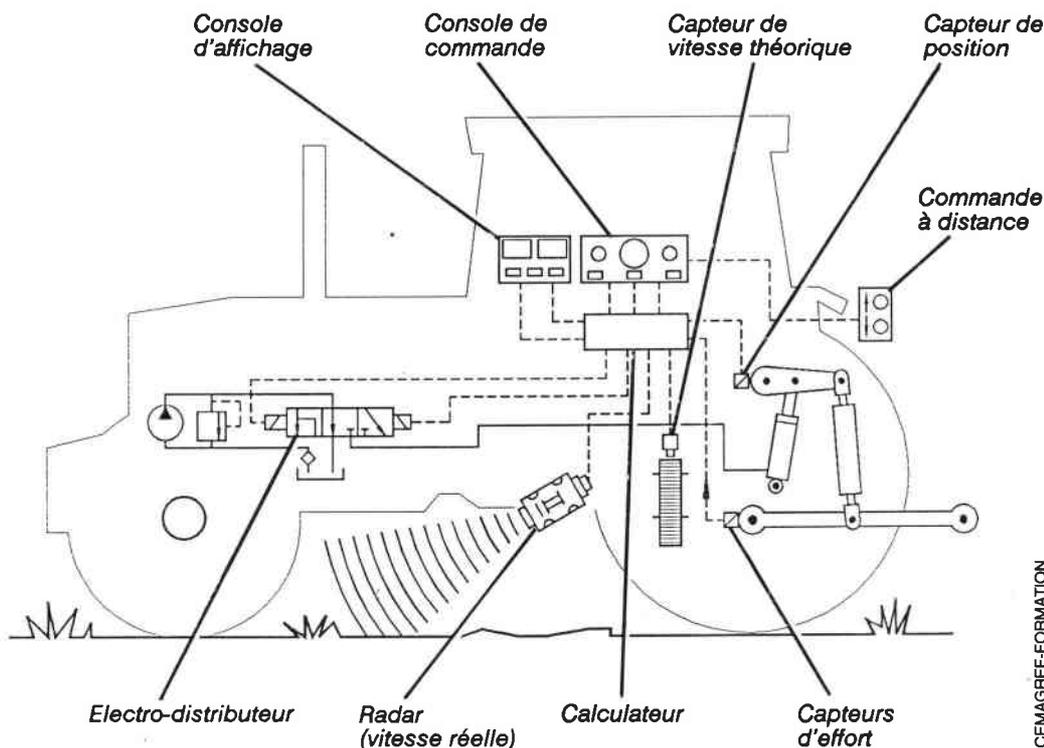


Fig. 250 — Principe d'un relevage à commande électronique et contrôle de patinage.

à la vitesse tangentielle des roues connue grâce au compteur de vitesse d'avancement du tableau de bord. Lorsque la différence est trop grande, le glissement des roues motrices est considéré comme trop élevé et le **calculateur**, préalablement programmé, commande une réduction de la profondeur de travail de l'outil jusqu'à ce que le glissement redevienne raisonnable. Cela permet un **contrôle direct de la bonne utilisation du tracteur en traction**.

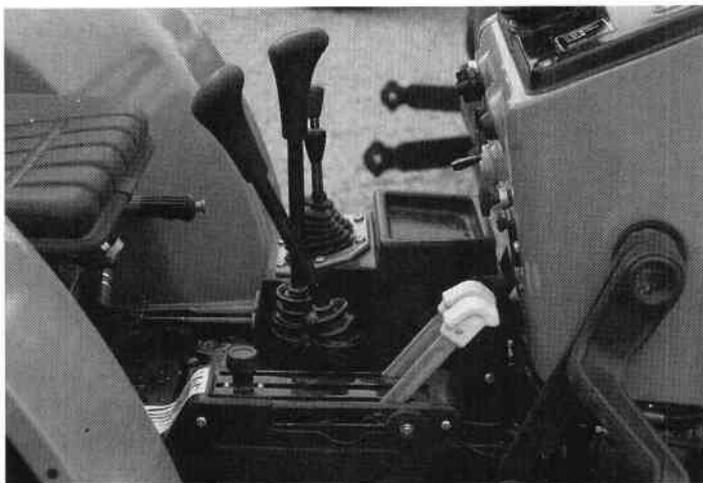


Fig. 251 — Relevage à commande mécanique (Photo Fiatagri).

— **Le réglage de la vitesse de descente des bras en fonction du poids de l'outil** : ce réglage est obtenu par une manette qui actionne un robinet d'étranglement placé sur la conduite de retour du vérin ;

— Le réglage de la rapidité de réponse qui permet de contrôler la rapidité de réaction de l'outil au travail, en particulier par le contrôle d'effort.

#### - La compensation d'oscillations :

C'est une commande qui permet sur certains relevages électroniques d'amortir les vibrations et les secousses transmises au tracteur lors du transport d'outils portés. Le système enregistre chaque balancement du tracteur et le relevage compense immédiatement dans le sens inverse. On obtient ainsi une conduite plus sûre et plus confortable, notamment sur les chemins ruraux.

### • L'UTILISATION DES RELEVAGES ÉLECTRONIQUES :

L'utilisation d'un relevage à commande électronique est similaire à celle d'un relevage à commande mécanique. Les réalisations actuelles des relevages électroniques proposent les mêmes fonctions que les relevages mécaniques.

Là où existaient **deux leviers distincts** (fig. 251), le « contrôle de position » et le « contrôle d'effort », on trouve **deux potentiomètres distincts** : à chaque position du potentiomètre « position » correspond une hauteur de l'outil par rapport au tracteur ; à chaque position du potentiomètre « effort » correspond un effort sur les barres inférieures de l'attelage (fig. 252).

Là où existait un levier de sélection « Effort-Position » et un levier d'affichage de la valeur sélectionnée, on retrouve l'équivalent sous forme de potentiomètres.

Avec les relevages à commande électronique, le **contrôle mixte** s'obtient par les positions intermédiaires du bouton de sélection. Les indications des capteurs d'effort et de position étant prises en compte électroniquement en relation avec le réglage choisi, comme cela se fait également en mécanique.

Le contrôle mixte définit une **« butée basse »** qui empêche l'outil de descendre trop profondément et de remonter des couches de terre non fertiles en zone meuble.

On trouve également :

- **« une butée haute »**, qui limite la course du relevage dans le cas d'outils encombrants ou entraînés par la prise de force,
- **un réglage de sensibilité du contrôle d'effort**,
- **un réglage de la vitesse de descente de l'outil**,
- **des commandes extérieures** (fig. 253).

Au niveau de la conduite, l'avantage apporté par la commande électronique, est le **commutateur rapide pour les manoeuvres en bout de champ**, qui comporte selon les cas une position neutre et une position flottante.

Les autres avantages sont la **précision**, la **fiabilité par absence d'usure**, le **confort** par une meilleure isolation des cabines. Il est en effet plus facile d'insonoriser le poste de conduite avec des liaisons électriques. Il devient possible de suspen-



Fig. 252 — Console d'un relevage à commandes électroniques (Photo Massey-Ferguson).

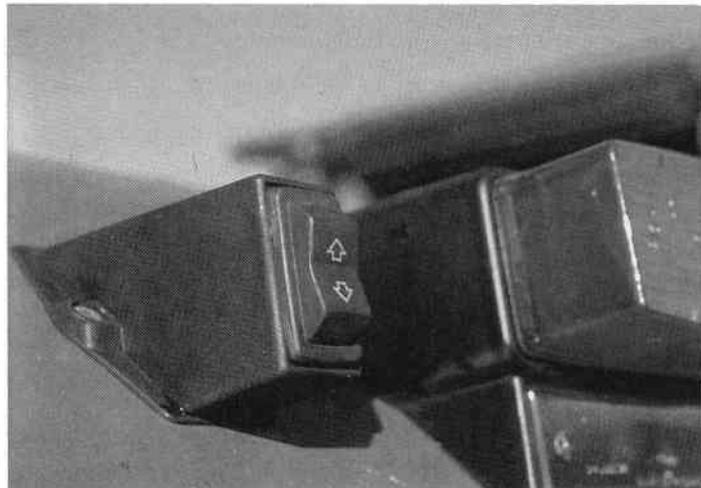


Fig. 253 — Commandes extérieures d'un relevage à commandes électroniques (Photo CEMAGREF-DICOVA).

dre la cabine, pour mieux isoler le conducteur des vibrations tout en lui permettant une relative immobilité par rapport aux commandes électroniques.

Par ailleurs, l'électronique présente l'intérêt de permettre la multiplication d'extensions telles que : **asservissement au patinage, amortissement en transport, contrôle de l'outil semi-porté, etc.**

Il convient cependant de noter que la plupart des réalisations actuelles comportent, en matière de sécurité du travail, **un risque qui n'existait pas avec les systèmes mécaniques**, en particulier au niveau des commandes placées à l'extérieur du tracteur.

Ce risque est lié au fait que les commandes extérieures du relevage (contacts poussoirs), ne sont pas toujours prioritaires. Cette non priorité signifie qu'un opérateur situé au sol ne peut s'opposer à une commande contradictoire du conducteur, et ne dispose pas des réglages affichés à la console intérieure : butée haute par exemple.

Ces risques, étudiés en 1990 par la Mutualité Sociale Agricole, démontrent que **les commandes externes doivent être prioritaires sur celles du poste de conduite.**

• **LES LIAISONS HYDRAULIQUES TRACTEUR-OUTIL :**

Les machines peuvent recevoir du tracteur l'énergie hydraulique servant à alimenter des moteurs et des vérins hydrauliques, (se reporter aussi au chapitre : les caractéristiques et les performances des tracteurs, l'essai de puissance hydraulique). Les flexibles venant de la machine sont branchés sur des raccords rapides soit du type à visser, soit du type à pousser-tirer (fig. 254). Dans

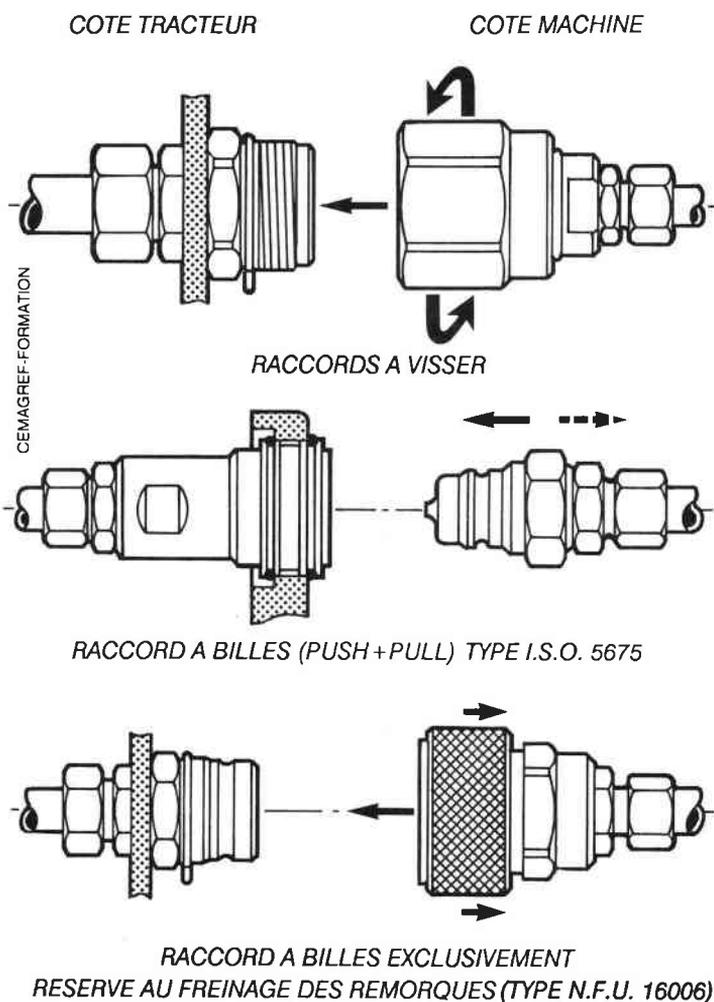


Fig. 254 – Principaux raccords hydrauliques rapides.

*Distributeur convertible simple/double effet*

*Distributeur double effet*

*Distributeur double effet à positions indexées et déverrouillage hydraulique*

*Distributeur double effet et position flottante*

*Limiteur de pression (180 bar)*

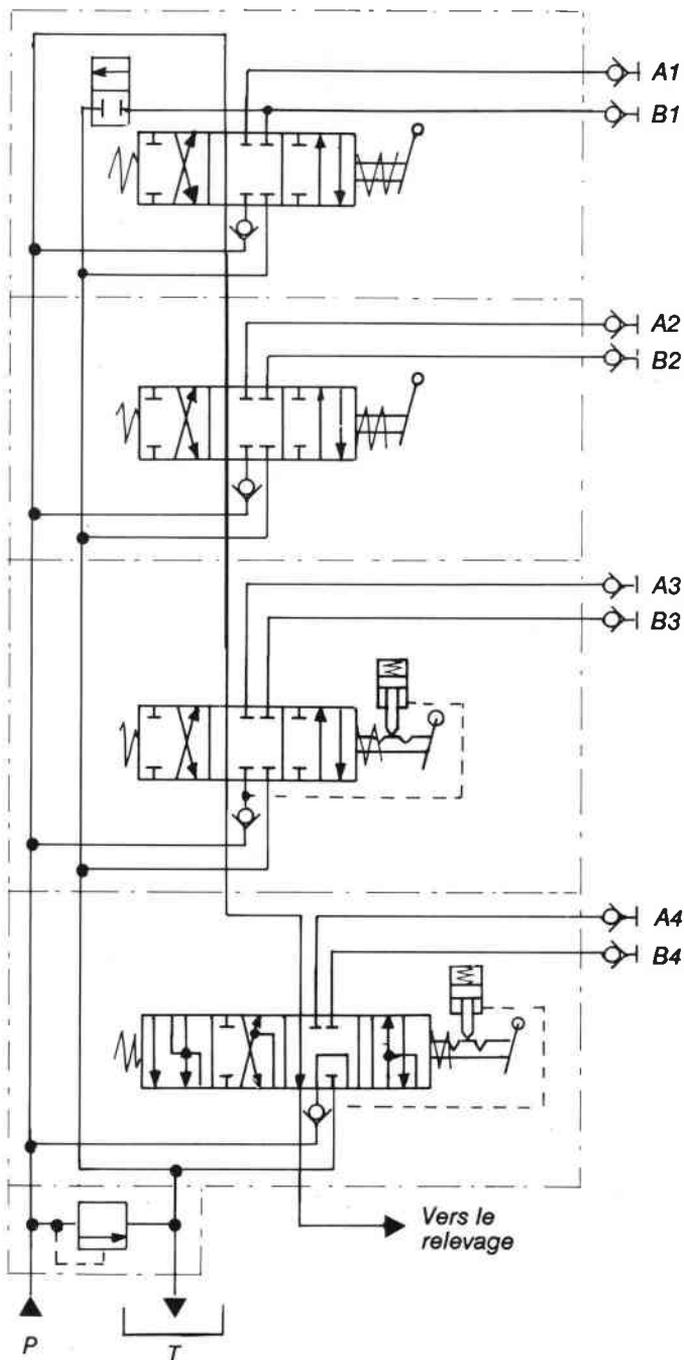


Fig. 255 — Ensemble de quatre distributeurs pour circuits extérieurs (montage en parallèle).

les deux cas il faut faire chuter la pression du circuit avant de procéder au raccordement. Les prises sont reliées à des distributeurs auxiliaires (fig. 255) de type simple ou double effet. Les prises double effet peuvent fonctionner en simple effet, mais il est conseillé, pour les systèmes à centre ouvert, de relier la prise non utilisée au réservoir d'huile. Des distributeurs commutables en simple ou en double effet sont souvent utilisés, (fig. 215 au chapitre 6).

Afin d'adapter le débit de la pompe hydraulique du tracteur aux besoins de l'outil attelé, les distributeurs peuvent être associés à un régulateur de débit intégré (fig. 256) ou séparé.

Si la machine attelée au tracteur possède ses propres distributeurs, il convient d'harmoniser les systèmes de distribution. Si la distribution du tracteur est à centre fermé, les distributeurs de la machine doivent être également à centre fermé ; de même, si la distribution du tracteur est à centre ouvert, les distributeurs de la machine doivent être à centre ouvert, (se reporter aussi au chapitre : les transmissions hydrauliques).

Pour le bon fonctionnement des machines attelées, il convient d'observer les règles suivantes :

- pour les machines possédant des moteurs hydrauliques, il est souvent nécessaire de raccorder le retour de la machine directement au réservoir d'huile du tracteur afin d'éviter des surpressions inutiles.

- repérer les différentes conduites reliant la machine au tracteur afin d'éviter toute inversion susceptible de provoquer un accident ou une détérioration des organes de la machine.

- avant d'accoupler les prises au tracteur, veiller à ce qu'elles soient propre et vérifier l'état des flexibles.

- sur les machines possédant leurs propres distributeurs, pour obtenir l'arrêt, ramener d'abord les distributeurs de la machine au repos avant la remise au neutre du distributeur placé sur le tracteur.

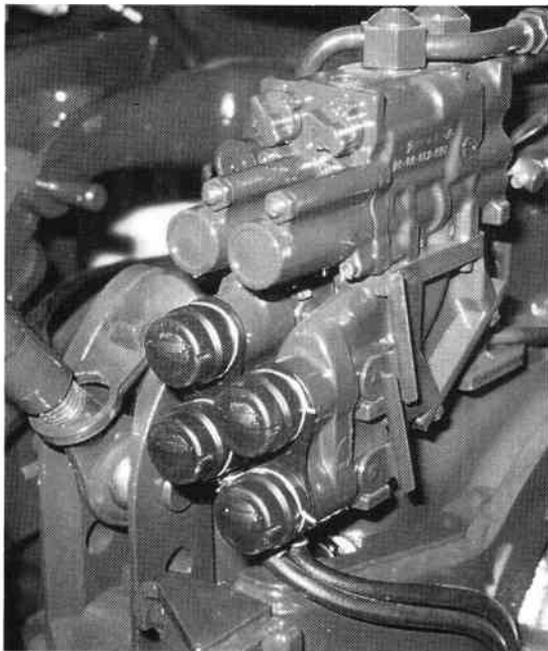


Fig. 256 — Distributeur auxiliaire avec régulateur de débit intégré  
(Photo CEMAGREF-DICOVA).

— au travail ne pas faire tourner le moteur du tracteur à un régime élevé si le fonctionnement de la machine ne le nécessite pas.

Certaines machines attelées nécessitent une puissance hydraulique supérieure à celle disponibles aux prises extérieures du tracteur. Dans ce cas, les constructeurs ont réalisé une **installation hydraulique indépendante** dont la pompe est entraînée par la prise de force du tracteur. C'est le cas par exemple pour des débroussailluses, tailleuses arracheuses, etc.

### — Le freinage des remorques :

Le Code de la Route impose aux remorques dont le PTAC est supérieur à 6 tonnes, outre le frein de parc, une installation de **freinage assisté** au moyen d'un système **hydraulique** qui **puisse toujours être actionné de façon modérable depuis le poste de conduite** du tracteur et qui puisse, en outre bloquer les roues de la remorque en cas de **rupture d'attelage** (se reporter au chapitre : la direction et le freinage, le freinage des remorques). Les liaisons entre le tracteur et la remorque s'effectuent grâce à un raccord hydraulique normalisé et un câble agissant en cas de rupture d'attelage. Le circuit hydraulique du tracteur comprend un **distributeur-régulateur de pression** parfois appelé « **valve de freinage de remorque** ». Ce distributeur-régulateur de pression est conçu de manière à prélever l'énergie de freinage **en priorité** sur les autres circuits, à établir une pression de freinage progressive et proportionnelle aux sollicitations du conducteur et à **limiter cette pression à 150 bars**. Selon les cas, la valve de freinage est à commande manuelle ou couplée aux freins du tracteur, (se reporter aussi au chapitre : la direction et le freinage, le freinage des remorques).

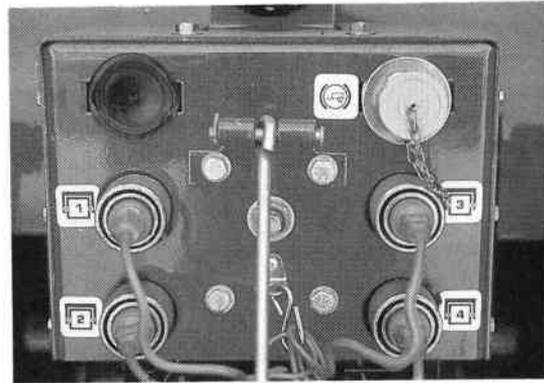


Fig. 257 — Vue des raccords hydrauliques pour le freinage des remorques et les circuits extérieurs (Photo CEMAGREF-DICOVA).

Les dimensions et la disposition particulières du raccord (partie mâle côté tracteur) ont été adoptées pour éviter toute erreur (fig. 257).

### • LES PRISES DE FORCE :

La prise de force ou prise de puissance permet l'entraînement d'outils en rotation. La fonction primaire du tracteur est de fournir un effort de traction, mais on constate des pertes de puissance plus élevées dans la transmission de la puissance de traction que dans la transmission de la puissance à la prise de force. Parallèlement des outils animés par la prise de force se sont développés car ils se révèlent très efficaces : houes rotatives, herses animées, pulvérisateurs pneumatiques... De ce fait la transmission de la puis

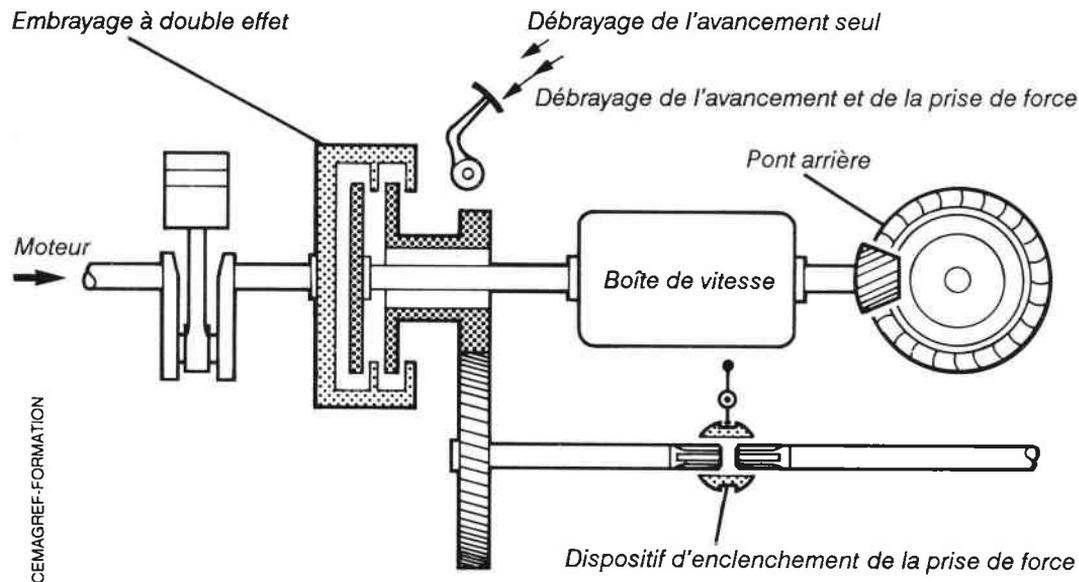


Fig. 258 — Chaîne cinématique d'une prise de force à commande semi-indépendante.

sance par la prise de force est devenue d'une importance comparable à la transmission de puissance par traction. Le nom de « tracteur » reste cependant utilisé dans tous les cas.

Il est intéressant de pouvoir utiliser la prise de force de façon indépendante du reste de la transmission. Le degré d'autonomie dépend du mode d'entraînement.

#### — La prise de force semi-indépendante (fig. 258) :

Équipant surtout des tracteurs anciens, elle est commandée par un **embrayage double effet**. En appuyant à mi-course sur la pédale d'embrayage, on débraye l'avancement du tracteur ; à pleine course, on débraye en plus la prise de force. **Il n'est donc pas possible de débrayer la prise de force sans immobiliser le tracteur.**

Un levier actionnant un crabot permet l'engagement et le désengagement de la prise de force.

#### — La prise de force indépendante :

La prise de force indépendante peut-être commandée soit par un **double embrayage** (fig. 259) associé à celui de l'avancement, soit par un **embrayage séparé** (fig. 260) à **commande hydraulique** (prise de force totalement indépendante).

Dans le premier cas, l'embrayage comprend deux mécanismes et deux disques à commande séparée. Le mécanisme pour l'avancement est commandé par la pédale tandis que celui de la prise de force est actionné par un levier manuel verrouillable en position débrayée. **Il est toutefois conseillé de ne laisser le levier en position débrayée que**

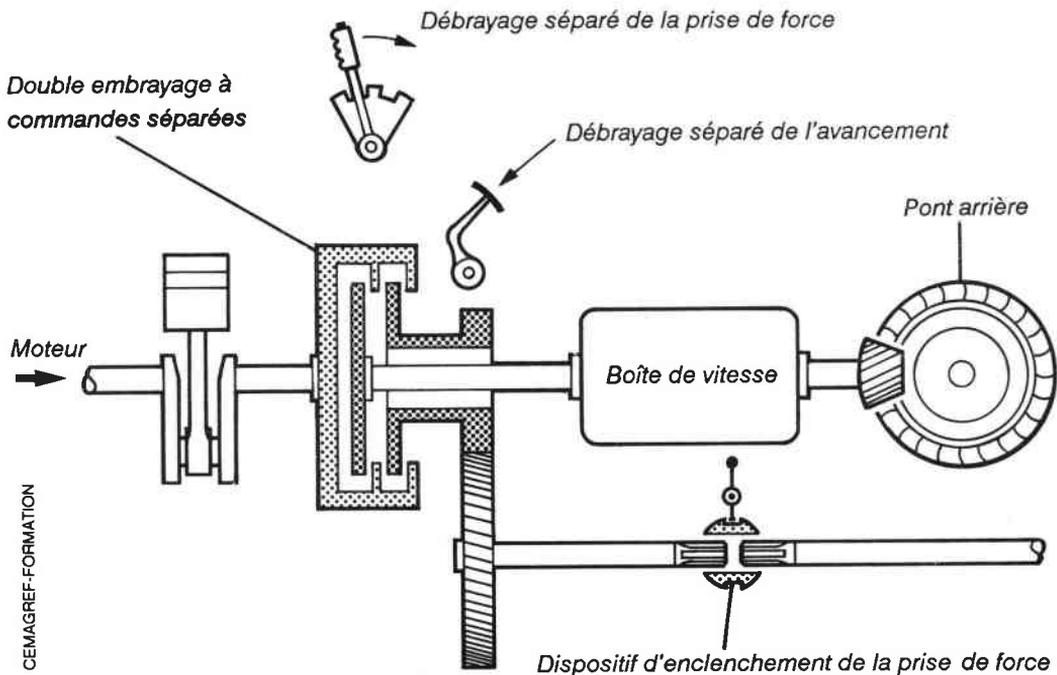


Fig. 259 — Chaîne cinématique d'une prise de force à commande indépendante.

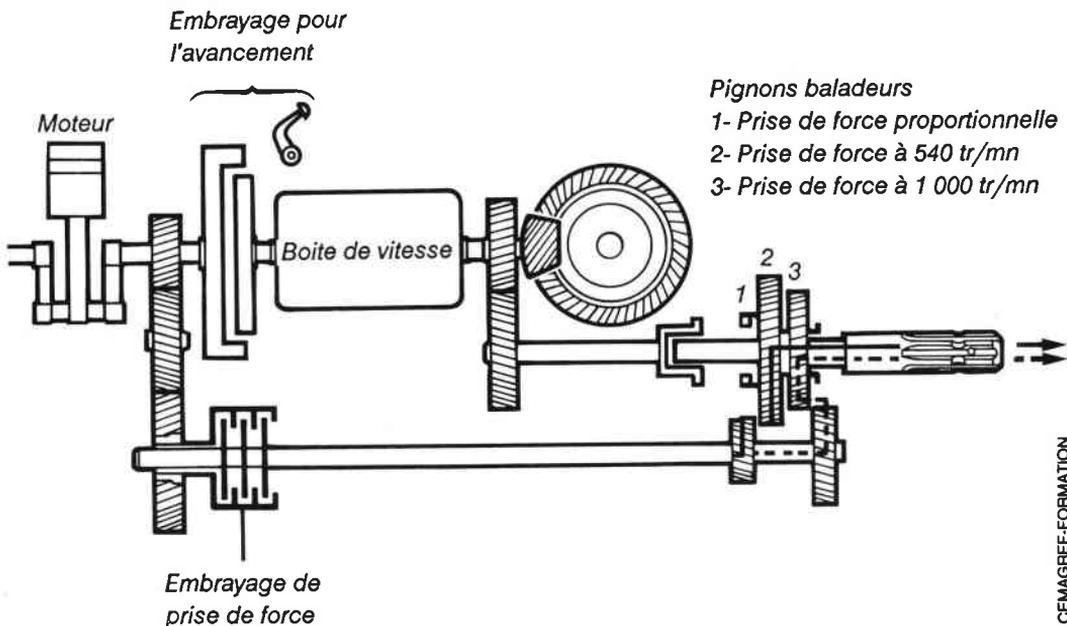


Fig. 260 — Chaîne cinématique d'une prise de force totalement indépendante.

durant de courtes périodes afin de ne pas fatiguer la butée et les ressorts d'embrayage. Comme pour la prise de force semi-indépendante, une commande permet l'engagement et le désengagement de la prise de force.

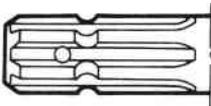
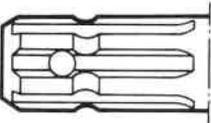
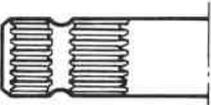
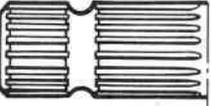
La prise de force totalement indépendante (fig. 260) est commandée par un embrayage multidisque à commande hydraulique, elle est de plus en plus utilisée notamment pour son autonomie et sa commande assistée à levier unique. Pour la sécurité, l'embrayage est associé à un frein qui immobilise la prise de force au repos.

— La prise de force proportionnelle à l'avancement (fig. 260) est reliée à la sortie de boîte de vitesses. Elle est donc débrayée avec l'avancement. On peut l'utiliser par exemple pour des remorques à essieu moteur. Elle a aussi la particularité de pouvoir tourner en rotation inversée, dans le cas d'une marche arrière, ce qui peut être utile pour des débouvrages.

— La taille, le sens et la vitesse de rotation des embouts de prises de force (fig. 261) :

Les prises de force arrière tournent dans le sens des aiguilles d'une montre lorsque l'on regarde le tracteur de l'arrière.

La vitesse de rotation normalisée a d'abord été de 540 tr/mn. Pour les machines nécessitant une puissance supérieure à 48 kW, un second régime normalisé à

Types	Caractéristiques
 <p>Type 1</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Diamètre 35 mm</li> <li>. 6 cannelures</li> <li>. Puissance &lt; à 48 kW</li> </ul>
 <p>ASAE 1"3/4 (Non normalisée)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Diamètre 45 mm</li> <li>. 6 cannelures</li> <li>. Puissance: 48 à 100 kW</li> </ul>
 <p>Type 2</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Diamètre 35 mm</li> <li>. 21 cannelures</li> <li>. Puissance: 48 à 92 kW</li> </ul>
 <p>Type 3</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Diamètre 45 mm</li> <li>. 20 cannelures</li> <li>. Puissance: 92 à 185 kW</li> </ul>

CEMAGREF-FORMATION

Fig. 261 — Les différentes prises de force.

1 000 tr/mn, permet de limiter les contraintes dans les arbres de transmission (fig. 263).

Afin d'accroître la polyvalence des tracteurs et de réduire les consommations de carburants lors des travaux légers, les prises de force à 540 tr/mn peuvent comporter deux rapports de transmission. Le premier permet une utilisation normale au régime normalisé de la prise de force, à un régime moteur proche du régime nominal ; le second, appelé « rapport économique », permet l'animation d'outils au régime normalisé de 540 tr/mn à un régime moteur plus faible (1 500 à 1 700 tr/mn environ). Cela permet, lorsqu'une faible puissance est nécessaire, de ne pas travailler au régime maximum et de limiter la consommation et le bruit du moteur.

Les dimensions, la position et le régime de l'embout cannelé de l'arbre de prise de force, sont définis en fonction de la puissance du tracteur par les normes internationales ISO (fig. 261).

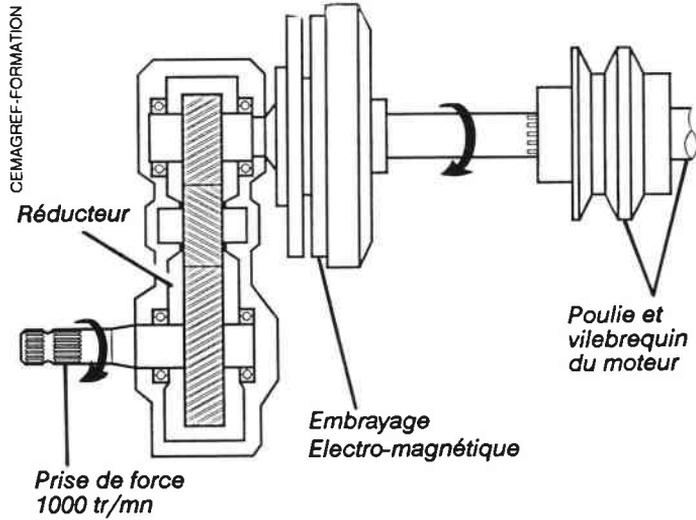


Fig. 262 — Prise de force avant.

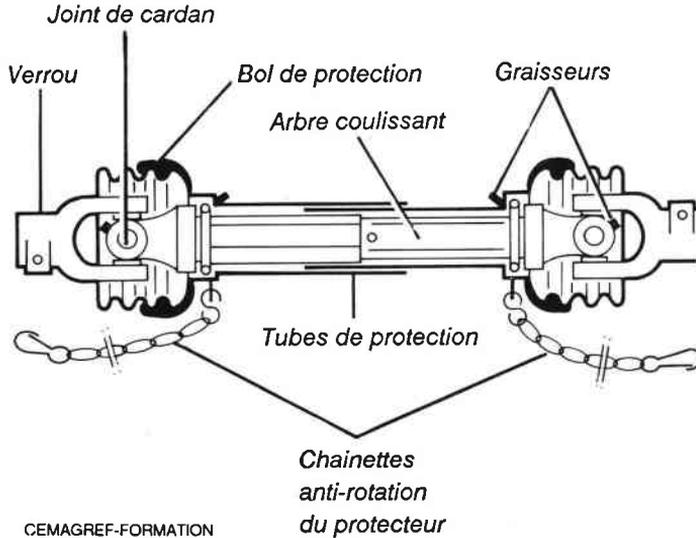


Fig. 263 — Arbre à cardans avec son protecteur.

— La prise de force avant (fig. 262) :

La prise de force avant ou prise de force frontale est généralement animée par le vilebrequin du moteur. Sa transmission comprend :

- un embrayage à commande électro-magnétique ou hydraulique,
- un boîtier de réduction permettant à l'embout de tourner au régime de 1 000 tr/mn, dans le sens des aiguilles d'une montre lorsqu'il est vu depuis l'avant du tracteur.

La prise de force avant doit être du type 2 à 21 cannelures (fig. 261).

— **L'arbre de transmission à cardans** (fig. 263) :

Entre la machine et le tracteur, la transmission est assurée par un arbre articulé et coulissant comportant à chaque extrémité des **joint de cardan** qui permettent de transmettre la puissance nécessaire entre deux arbres pouvant être désaxés.

Cette transmission, appelée aussi « **transmission primaire** », comprend l'**arbre de transmission et son protecteur homologué**. Le protecteur est constitué d'une **enveloppe de protection fixe**, équipée aux extrémités de **cônes ou de bols de protection** (fig. 263). Réalisé le plus souvent en matière plastique, ce dispositif protège les travailleurs contre les dangers d'enroulement. Sa présence est obligatoire et ses caractéristiques sont vérifiées par des tests d'homologation réglementaires.

Chaque joint de cardan est composé de **deux mâchoires** reliées par un **croisillon**. Ce joint peut transmettre un mouvement avec un décalage angulaire des axes des mâchoires, mais il introduit **des irrégularités dans la vitesse de rotation** de la mâchoire menée. Durant un tour la vitesse de sortie sera par deux fois accélérée puis ralentie par rapport à la vitesse d'entrée. Pour annuler cette irrégularité qui provoquerait des cognements et une destruction des mécanismes entraînés, on utilise ces joints par paire de façon à compenser les défauts d'irrégularité. Pour obtenir une égalité permanente des deux vitesses d'entrée et de sortie (**transmission homocinétique**), il faut respecter deux conditions (fig. 264) :

— les deux joints doivent être orientés (fig. 264)

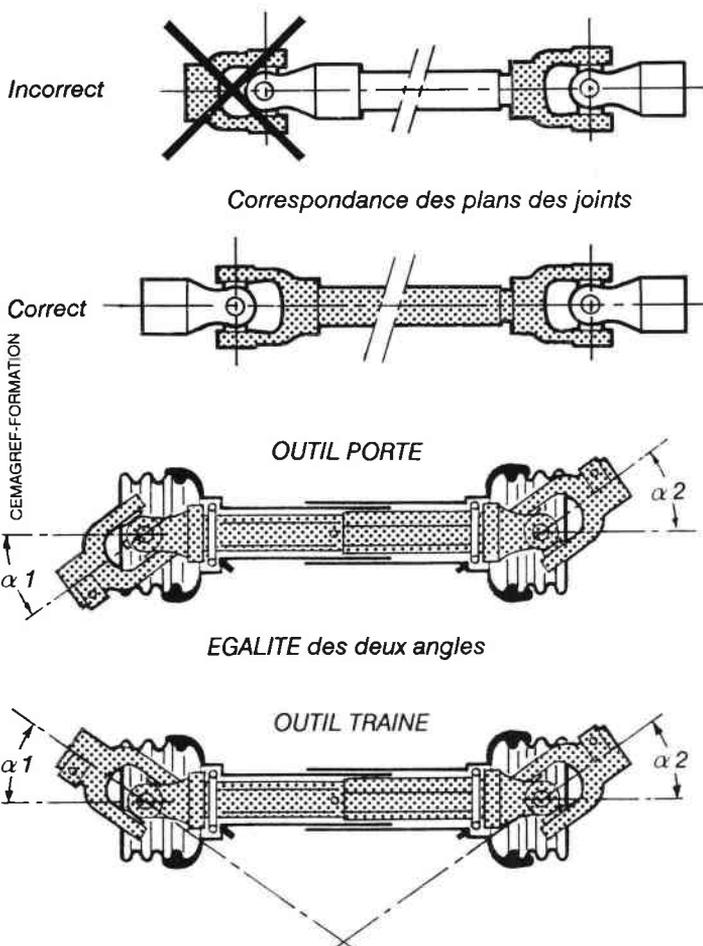
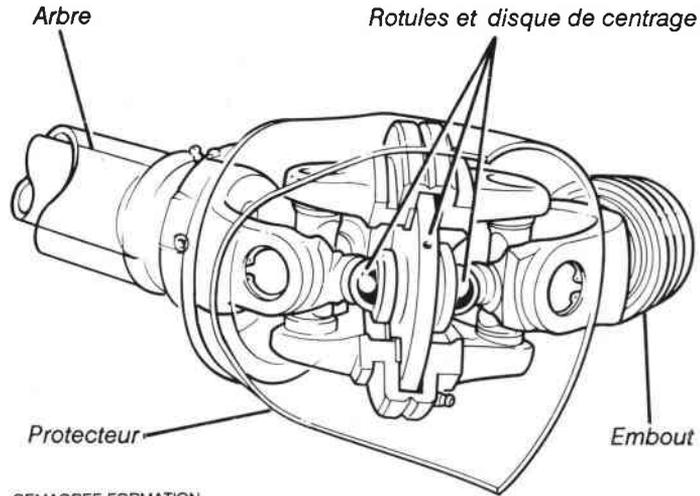


Fig. 264 — Conditions de régularité d'une transmission à joints de cardan.

dans l'espace de la même manière (correspondance des plans des mâchoires).

— les angles respectifs des deux joints en position de travail doivent être de valeur égale (fig. 264).

La première condition est respectée au montage de la transmission. La deuxième dépend de l'attelage. **Pour les outils traînés en particulier, le point d'attelage doit être situé au milieu de la transmission.** Si cette condition n'est pas réalisable, il est alors préférable d'utiliser des **joints doubles homocinétiques** (fig. 265) appelés aussi **joints grand angle** ou de débrayer la prise de force dans les virages.



CEMAGREF-FORMATION

Fig. 265 — Double point de cardan ou joint « grand angle ».

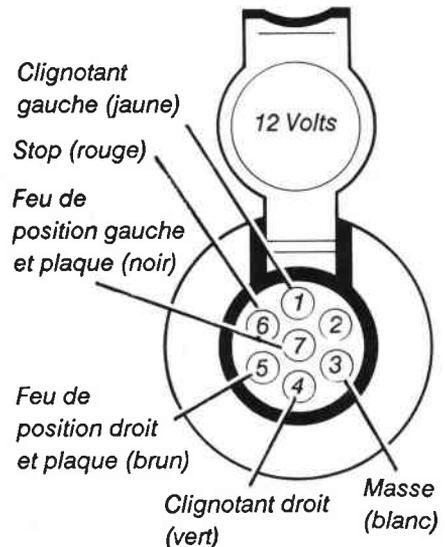
Pour chaque machine attelée, la longueur de l'arbre de transmission doit être adaptée de manière à permettre les débattements angulaires de l'attelage, dans les plans verticaux et horizontaux. Si l'arbre est trop court, il y a danger de déboîtement ; s'il est trop long, il y a risque de mise en butée et de dégâts mécaniques.

Les arbres à cardan sont à l'origine de graves accidents corporels, il est donc impératif d'entretenir leur protection homologuée obligatoire, et de la remplacer rapidement en cas de détérioration.

### • LES LIAISONS ÉLECTRIQUES ET ÉLECTRONIQUES :

La principale utilisation de l'électricité sur les machines concerne l'éclairage et la signalisation. Les normes appliquées aux véhicules routiers sont reprises pour les engins agricoles, en particulier au niveau de la prise électrique à sept contacts (fig. 266).

Le courant électrique est également utilisé pour le fonctionnement de vérins électriques, électrovannes, embrayages... Les sections des



CEMAGREF-FORMATION

Fig. 266 — Socle de prise électrique à sept contacts.

conducteurs doivent correspondre alors à l'intensité à transmettre qui peut être importante dans certains cas.

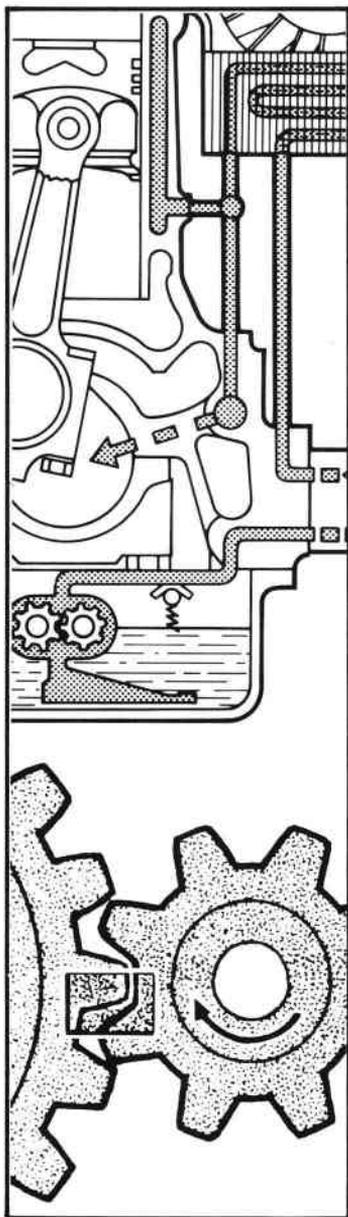
Pour les dispositifs électroniques, des précautions particulières doivent être prises. Pour l'alimentation, il peut être nécessaire de prévoir une sauvegarde des mémoires. Dans ce cas il faut une liaison supplémentaire avec la batterie ne passant pas par le contact tracteur. La tension d'alimentation doit être correctement régulée et sans parasites. La circulation de courants très faibles impose **une très bonne qualité des contacts au niveau des connecteurs et des prises pour une transmission fiable des signaux.**

Le manque actuel d'harmonisation limite les possibilités de polyvalence des capteurs et la standardisation des informations fournies. Des travaux de normalisation sont en cours et des recherches sont conduites sur la voie du **multiplexage** afin de simplifier et de fiabiliser les liaisons qui transmettent ces informations.

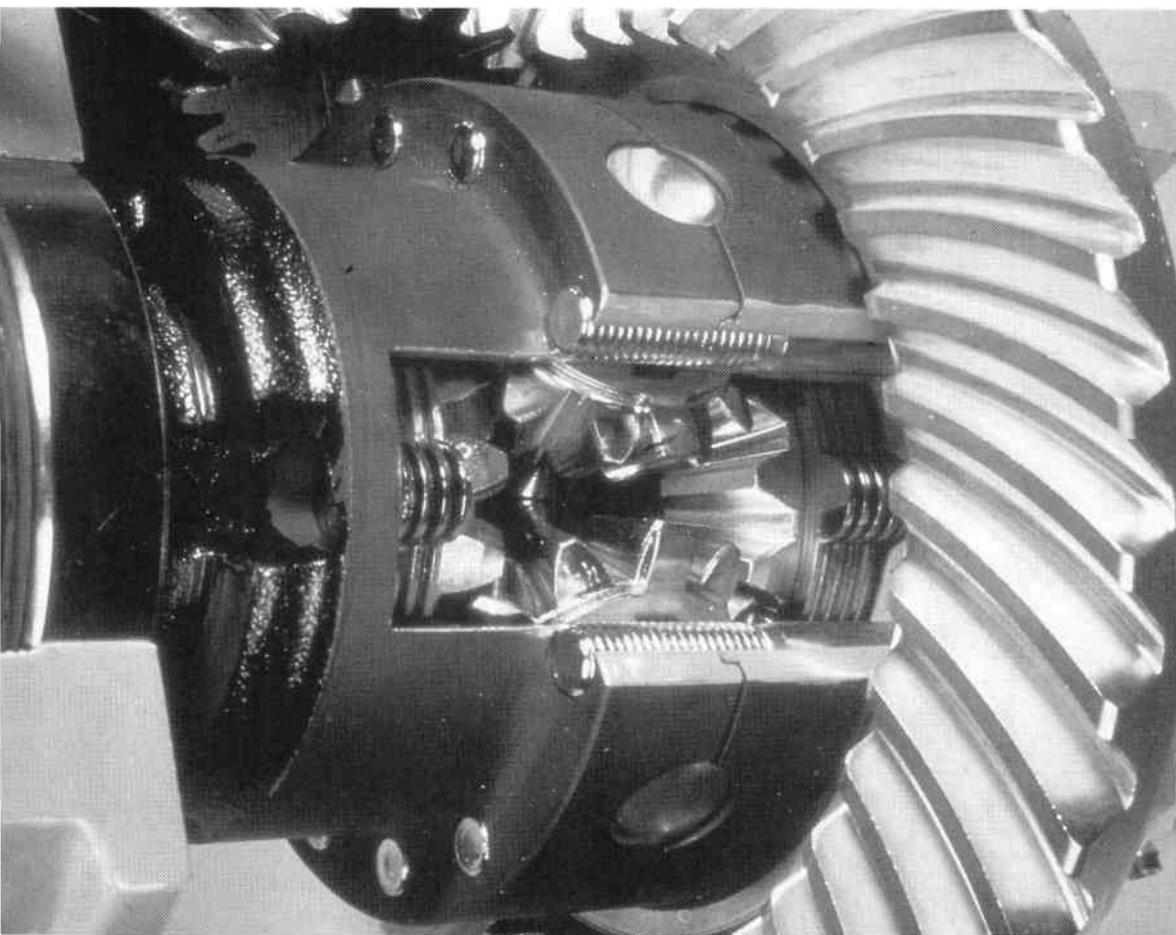
Le multiplexage représentant une solution à long terme, les groupes de normalisation (se reporter aussi au chapitre : la normalisation) préparent une solution à court terme sous la forme d'un connecteur multipoint (7 ou 15 points), qui permettra la connection de certains signaux (radars, position bras de relevage,...).

On voit apparaître également depuis peu, des connections qui relient le système électronique du tracteur avec l'ordinateur de gestion de l'exploitation, comme par exemple le « Mémotronic » de Massey-Ferguson et qui permettent le transfert sous forme de fichiers des données recueillies automatiquement en cours de travail (surfaces travaillées, temps des travaux, quantités appliquées ou consommées,...).





- La lubrification des moteurs diesel ..... 273
- La classification SAE pour la viscosité des huiles moteurs ..... 274
- Les classifications de service pour les huiles moteurs diesel ..... 276
- La lubrification des transmissions ..... 278
- La classification SAE pour la viscosité des huiles pour les transmissions mécaniques .. 280
- Les classifications de service des huiles pour les transmissions mécaniques ..... 281
- Les huiles pour transmissions automatiques et power-shift ..... 281
- Les huiles hydrauliques ..... 283
- Les huiles multifonctionnelles ..... 283
- Les huiles usées et l'environnement 284



**Vue partielle en coupe d'un différentiel auto-bloquant (Photo JOHN DEERE).**

## • LA LUBRIFICATION DES MOTEURS DIESEL :

La lubrification ou graissage consiste à établir un **film lubrifiant** entre les pièces en mouvement, afin d'éviter leur grippage et de réduire les frottements. La réduction des frottements permet de réduire les pertes de puissance et l'usure, (se reporter aussi au chapitre : les moteurs, le circuit de lubrification, ainsi qu'à l'annexe documentaire).

En plus de la fonction essentielle de lubrifier, l'huile contribue :

- à l'**évacuation de la chaleur**,
- au **maintien de l'étanchéité** par la réduction des fuites,
- à la **protection contre la corrosion**,
- à l'**évacuation des particules** dues à l'usure et des résidus de combustion.

Les lubrifiants sont devenus des produits très élaborés étudiés pour satisfaire à toutes les exigences de fonctionnement. L'affectation d'une huile pour lubrifier tel ou tel moteur, dépend toujours de deux grands critères : la **viscosité et les conditions de service**.

### — La viscosité :

La viscosité est la caractéristique fondamentale d'un lubrifiant moteur, elle doit être suffisante pour que le film lubrifiant interposé entre les surfaces en contact ne soit ni écrasé par les fortes pressions, ni rompu par les grandes vitesses. Il faut donc que l'huile reste suffisamment visqueuse même aux hautes températures atteintes en cours de fonctionnement, et qu'elle reste suffisamment fluide à froid pour permettre le démarrage du moteur à basse température.

La viscosité caractérise la plus ou moins grande lenteur que met un liquide à couler naturellement : on dit qu'un liquide est **visqueux** quand il coule lentement et difficilement ; dans le cas contraire, on dit qu'il est **fluide**.

La viscosité est définie par deux grandeurs physiques : la **viscosité cinématique** et la **viscosité dynamique**.

- La **viscosité dynamique** est mesurée avec un viscosimètre rotatif, en relevant le couple résistant créé par l'huile introduite entre un stator et un rotor animé d'une vitesse de rotation constante (par exemple CCS, norme ASTM D 2602). L'unité est le millipascal-seconde (mPa.s).

- La **viscosité cinématique** est mesurée à partir du temps d'écoulement d'un certain volume d'huile, maintenu à une température déterminée, au travers d'un orifice de dia-

mètre convenu (Norme AFNOR T 60-100). L'unité est le millimètre-carré par seconde ( $\text{mm}^2/\text{s}$ ).

#### — Les conditions de service :

Elles sont définies en fonction des performances des moteurs, de leur technologie et de leurs conditions d'utilisation. Pour satisfaire à ces conditions, les lubrifiants, doivent posséder de nombreuses propriétés dont les principales sont : **anti-usure, extrême pression, détergence, dispersivité, anti-acide, anti-corrosion...**

Pour les moteurs diesel particulièrement, **la détergence et la dispersivité** sont deux propriétés qui permettent aux lubrifiants de capter les résidus de combustion et de les maintenir en suspension, afin de les conduire vers le filtre à huile, pour éviter leur dépôt à l'intérieur des moteurs. De même la fonction **anti-acide** permet aux huiles de neutraliser l'action corrosive des dérivés d'acide sulfurique due à la présence de soufre dans les carburants diesel.

Les conditions de services sont appréciées par des tests de qualification définis par des normes ou des spécifications : CCMC, A.P.I, Mil-L, constructeurs,...

#### • LA CLASSIFICATION S.A.E, POUR LA VISCOSITÉ DES HUILES MOTEURS :

La « Society of Automotive Engineers » (SAE) établit une classification des huiles-moteurs en fonction de leur viscosité. Cette classification comprend un certain nombre de **grades**, définis par des **fourchettes de viscosité** à une température donnée. Ces grades se répartissent en deux séries :

- l'une pour les huiles dites d'**hiver**, dont les viscosités dynamiques sont définies à des températures de **- 5 à - 30° C**. Les numéros de grade de ces huiles sont suivis de la lettre W (comme Winter = hiver) ;
- l'autre pour les huiles dites d'**été**, dont les viscosités cinématiques sont définies à **100° C**.

A une température donnée, la viscosité d'une huile est d'autant plus élevée que le nombre qui la définit est grand ; ainsi, une huile SAE 30 est plus visqueuse qu'une huile SAE 20 et, de même, une huile SAE 20 W est plus visqueuse qu'une huile SAE 10 W.

#### — Les huiles « hiver » :

Dans sa dernière version datant de 1987, la classification SAE J-300 prévoit six grades de viscosité pour les huiles « hiver ». Chacun de ces grades est caractérisé par une **viscosité maximale à basse température**, une **température limite de pompabilité** et une **viscosité minimale à 100° C**. La viscosité maximale à basse température et

la température limite de pompabilité permettent d'évaluer l'aptitude d'une huile à permettre le démarrage et la lubrification des moteurs à basse température. L'utilisation à basse température d'une huile d'un grade trop élevé peut entraîner des difficultés de démarrage (couple du démarreur insuffisant pour vaincre les frottements plus élevés), et des risques de grippage si la pompe de lubrification ne peut aspirer l'huile trop visqueuse.

Grade SAE	Viscosité dynamique maximale		Température limite de pompabilité ° C	Viscosité minimale à 100° C mm <sup>2</sup> /s
	mPa.s	à ° C		
0 W	3 250	- 30	- 35	3,8
5 W	3 500	- 25	- 30	3,8
10 W	3 500	- 20	- 25	4,1
15 W	3 500	- 15	- 20	5,6
20 W	4 500	- 10	- 15	5,6
25 W	6 000	- 5	- 10	9,3

#### — Les huiles « été » :

Les huiles d'été sont définies par une fourchette de viscosité à 100° C.

Grade SAE	Viscosité cinématique à 100° C mm <sup>2</sup> /s
20	5,6 - 9,3
30	9,3 - 12,5
40	12,5 - 16,3
50	16,3 - 21,9
60	21,9 - 26,1

Le grade SAE de l'huile à utiliser sur un moteur donné est spécifié par le constructeur, en fonction des caractéristiques propres à ce moteur (débit de la pompe et débit de fuites en régime) et des températures ambiantes.

**Les huiles dites « multigrades »**, permettent de répondre aux exigences des deux classes. Par exemple, une huile SAE 10 W 40 est une huile qui reste assez fluide à - 20° C et pas trop fluide à 100° C ; cette huile répond simultanément aux exigences d'utilisation à de basses et à de hautes températures sur le plan de la viscosité : elle permet à la fois le démarrage à basse température, et un fonctionnement sûr lorsque le moteur est très chaud. En conditions climatiques tempérées, les huiles multigrades peuvent être utilisées toute l'année.

Exemples d'huiles « multigrades » :

10	W	30
10	W	40
15	W	30
15	W	40
20	W	40

Le but recherché par les pétroliers est de parvenir à une viscosité qui ne varie, avec la température, que dans les limites les plus étroites possibles. Cette variation est caractérisée par un nombre appelé **indice de viscosité** (en anglais V.I : Viscosity Index ) : plus celui-ci est élevé, moins la viscosité varie avec la température. Selon les produits, l'index de viscosité varie de 90 à 180.

## • LES CLASSIFICATIONS DE SERVICE POUR LES HUILES MOTEURS DIESEL :

### — La classification C.C.M.C :

La classification C.C.M.C (Comité des Constructeurs du Marché Commun), prévoyait quatre services : D1, D2, D3 et PD1. Depuis Avril 1989, la nouvelle classification CCMC FL/30/89 définit deux niveaux d'huile D4 et D5 pour les moteurs diesel utilitaires et PD2 pour les véhicules de tourisme. D4 et D5 remplacent respectivement D2 et D3, qui disparaissent en même temps que D1, et PD1 est remplacée par la classe d'huile PD2 pour véhicules de tourisme. L'ordre de sévérité étant d'autant plus grand que le chiffres est plus élevé.

Cette nouvelle classification se distingue de l'A.P.I par des exigences de laboratoire particulières (teneur en cendres sulfatées par exemple) et la quasi totalité des moteurs d'essais est spécifiquement européenne :

— D4 et D5 : essai Mercedes OM 616 avec des limites réduites d'usure de cames et de cylindres, essai de polissage des cylindres sur moteur Mercedes OM 364A. Les niveaux D4 et D5 se distinguent essentiellement par une sévérité accrue pour l'essai de polissage de cylindres.

— PD2 : essai sur moteur OM 616, avec des limites d'usure de cames trois fois plus faibles et des limites d'usure de cylindres deux fois plus faibles que dans PD1. Il doit satisfaire également à l'essai de gommage et de dépôts de pistons sur moteur VW 1431, sévéré par l'utilisation d'un gas-oil soufré à 0.5 %, et à un essai d'épaississement d'huile en cours de développement sur moteur OM 602A.

Les séquences d'essai décrites pour les classifications C.C.M.C. sont les minimums à atteindre. Certains constructeurs peuvent exiger des essais supplémentaires.

## — La classification A.P.I pour les moteurs diesel :

La classification A.P.I (Américan Pétroleum Institute) distingue les moteurs à essence, identifiés par la lettre « **S** », et les moteurs diesel, identifiés par la lettre « **C** ». Le tableau ci-après résume les classes et les conditions de services définies par l'A.P.I pour les moteurs diesel :

Désignation	Service et qualités requises pour l'huile
CC	Service moyen (diesels non suralimentés à faiblement suralimentés). Protection accrue contre les dépôts à hautes et basses températures, la corrosion et la rouille.
CD	Service sévère (diesels suralimentés). Protection très efficace contre l'usure et les dépôts à hautes températures des moteurs à grande vitesse et forte puissance.
CD II	Service sévère (diesels deux temps). Protection très efficace contre l'usure et les dépôts à hautes températures des moteurs diesel deux temps. Les huiles de cette catégorie réclament les mêmes exigences que la catégorie CD.
CE	Service encore plus sévère (diesels fortement suralimentés). Réduction de la consommation d'huile et des dépôts sur le piston, meilleure protection contre l'oxydation.
CF.4	Remplace la catégorie CE depuis 1991.

Notons qu'une huile qui répond à un certain degré de sévérité couvre automatiquement les degrés de sévérité inférieurs. Par ailleurs, la même huile peut éventuellement répondre à un certain degré de service dans la classification S (moteur à essence) et également à un degré de la classification C (moteur diesel).

## — La classification MIL.L :

Au cours de la seconde guerre mondiale, il est apparu nécessaire de compléter la classification SAE par des indications relatives aux performances des lubrifiants ou aux services demandés aux moteurs.

Les premières classifications de ce type furent établies par l'armée américaine en 1941. Elles ont donné lieu à la série **des normes MIL.L** (Military Lubricant) qui sont restées longtemps les spécifications de références les plus utilisées pour les moteurs diesel. Enfin, l'American Pétroleum Institute (A.P.I.) s'est chargé, de son côté, de définir des références destinées aux besoins civils.

L'US ARMY a édité plusieurs spécifications qu'elle met à jour régulièrement, dont certaines figurent sur la totalité ou presque des emballages des produits distribués en France. Parmi ces spécifications, citons : la MIL-L-2104, dont la version actuelle est

E, et la MIL-L-46152 E. Chaque nouvelle édition annule en effet la précédente : l'ancienne MIL-L-2104 D est donc obsolète.

MIL-L-2104 définit une huile pour les véhicules opérationnels. Elle est mixte et multifonctionnelle ; elle n'accepte que certains grade de viscosité. Sur le plan moteur, elle comporte les mêmes essais que les séquences API CDII et SG, avec des exigences moins sévères pour cette dernière. Elle comporte, de plus, les essais d'embrayage Allison C3 et Caterpillar TO2.

MIL-L-46152 définit une huile pour usage routier classique. Elle comporte les essais de la séquence API SG, avec sensiblement les mêmes exigences de performance. Elle n'accepte que certains grades de viscosité.

Le développement récent des classifications CCMC devrait permettre peu à peu de se dégager des classifications américaines qui répondent aux besoins des constructeurs américains (API), et à ceux de l'armée américaine (MIL-L-...). Les moteurs européens étant de conception différente, surtout en diesel.

#### — **Les exigences des constructeurs :**

Plusieurs constructeurs, et non des moindres, ont des exigences particulières, parfois aussi lourdes que les classifications précédentes. Il n'est pas possible d'en dresser une liste complète, nous citerons seulement Mercedes-Benz, qui homologue les produits répondant à ses cahiers des charges et publie régulièrement leur liste dans un document connu sous le nom de « Blue Book ».

### • **LA LUBRIFICATION DES TRANSMISSIONS :**

#### — **Le principe de la lubrification des transmissions :**

Les organes des transmissions sont soumis à des sollicitations variées et souvent très importantes. Il importe donc d'assurer, à leur niveau, une lubrification efficace. Les huiles utilisées font l'objet d'une classification précise, d'après leurs applications.

Sur la plupart des tracteurs agricoles, les huiles sont utilisées simultanément, à partir d'un même carter, pour la lubrification des organes suivants :

— **transmissions mécaniques** : boîtes de vitesses, ponts arrière, **embrayages** et **freins à disques immergés**, réducteurs finals,...

— **transmissions hydrauliques** : coupleurs, circuits de commande et d'assistance, relevages, circuits extérieurs,...

La plupart des organes de transmissions comportent des trains de pignons sous carter. Le fonctionnement de ces trains d'engrenages met en jeu **un mouvement combiné de glissement et de pression** des dents en prise. Les pressions résultantes entre les

deux dents d'un engrenage sont très élevées, avec des frottements pouvant entraîner un échauffement considérable. Il convient donc de lubrifier convenablement ces organes de manière à réduire les frottements et l'usure, (se reporter aussi au chapitre : les transmissions mécaniques).

Le graissage général des organes de transmissions (pignons, roulements, paliers,...) est réalisé par **barbotage et projections** : le carter contient de l'huile en quantité suffisante pour que l'un au moins des pignons de chacun des trains d'engrenage entraîne le lubrifiant vers les points de contact des dentures.

De plus en plus, on utilise le **graissage sous pression** pour les organes les plus sollicités : boîte de vitesses, couple conique... Dans ce cas, le graissage est généralement assuré par le débit de retour du circuit hydraulique.

### — L'importance de la viscosité :

Les qualités fondamentales des huiles pour transmissions sont de posséder une viscosité convenable et des propriétés spéciales capables de retarder l'usure des engrenages, des paliers, des roulements, des chaînes, des composants hydrauliques,...

La viscosité doit être suffisante pour :

— **assurer l'adhérence de l'huile sur le métal** surtout aux grandes vitesses de rotation et fortes pressions, tout en conservant une onctuosité suffisante ;

— **favoriser l'étanchéité** des dispositifs hydrauliques (distributeurs, clapets, soupapes, etc.).

En revanche elle ne doit pas être excessive afin de permettre la **rapidité de contact de l'huile** avec les différents organes (barbotage), et de **limiter les pertes de puissance** dues à l'énergie absorbée par les frottements ou par le brassage de l'huile. Rappelons également qu'une viscosité trop élevée (notamment à froid), crée des **difficultés d'aspiration des pompes hydrauliques** et des risques de **cavitation**.

En résumé, comme pour les huiles-moteurs, la variation de viscosité doit être limitée de façon que l'huile reste suffisamment fluide à froid pour recouvrir, dès les premiers tours, toutes les surfaces en frottement, mais qu'elle reste aussi suffisamment visqueuse aux températures de fonctionnement pour adhérer convenablement au métal.

### — Les conditions de service :

Dans les transmissions, l'huile est soumise à des **contraintes physiques** (pression, frottement, cisaillement...), à **une pollution** par accumulation d'impuretés (particules ambiantes, limailles d'usure) et à une **altération chimique** et thermique due à l'oxydation par l'oxygène de l'air : en effet, l'air dilaté s'échappe du carter lorsqu'il est chaud mais, à l'arrêt, au cours du refroidissement du carter, des entrées d'air extérieur et des **condensations** se produisent sur les parois internes.

En outre, les huiles pour transmissions doivent posséder des **propriétés anti-mousse** afin d'éviter les débordements et les pertes d'huile, très dommageables pour la tenue des pignons, ainsi que la cavitation dans les pompes hydrauliques (huiles pour transmissions et relevages).

Les **efforts considérables subis par certains engrenages** se traduisent par des pressions élevées et des effets de cisaillement qui tendent à écraser le film d'huile. Si ce film se rompt, les frottements métal sur métal provoquent un dégagement de chaleur tel que des particules de métal sont arrachées par rupture ; des **microsoudures** se forment et les dentures des pignons se détériorent.

Afin de prévenir ces détériorations, les huiles contiennent des additifs spéciaux « **extrême-pression** » (ou « E.P. »). Ces additifs sont des mélanges de composés organiques qui, sous l'effet de la chaleur dégagée par suite de la forte pression entre les dents, se combinent au métal pour former un film protecteur. Ce film empêche les microsoudures et les arrachements.

L'huile joue aussi le rôle d' **intermédiaire de friction** dans le fonctionnement des freins et des embrayages à disques immergés. Pour un fonctionnement de ces organes sans saccades et sans « **broutage** », l'huile doit présenter des qualités d'**onctuosité** qui permettent d'obtenir une régularité de la variation du frottement entre les surfaces.

L'onctuosité de l'huile dépend de son pouvoir d'adhérence en film très mince sur une surface rugueuse ; elle est obtenue par l'incorporation d'**additifs modificateurs de frottement et anti-broutage**. Ces derniers sont des composés organiques qui améliorent la tension superficielle de l'huile, indépendamment de la température, et permettent généralement d'augmenter d'autant plus le frottement entre les surfaces métalliques que leur vitesse de glissement diminue.

• **LA CLASSIFICATION SAE POUR LA VISCOSITÉ DES HUILES POUR LES TRANSMISSIONS MÉCANIQUES :**

Grade SAE	Température maximale (° C) pour une viscosité dynamique 150 000 mPa.s	Viscosité à 100° C (mm <sup>2</sup> /s)	
		minimale	maximale
70 W	- 55	4,1	—
75 W	- 40	4,1	—
80 W	- 26	7,0	—
85 W	- 12	11,0	—
90	—	13,5	24
140	—	24,0	41
250	—	41,0	—

Comme pour les huiles moteurs, il existe des huiles **multigrades** pour les transmissions mécaniques : **80 W 90** par exemple.

## • LES CLASSIFICATIONS DE SERVICE DES HUILES POUR LES TRANSMISSIONS MÉCANIQUES :

— La classification A.P.I pour les transmissions :

Type	Type de service	Domaine d'utilisation et caractéristiques
GL 4	Conditions de service sévères (vitesse élevée et couple faible, ou inversement)	Ce groupe comporte des huiles propres à lubrifier tous les engrenages, plus particulièrement hypoïdes. Ces lubrifiants, nettement « extrême-pression », doivent satisfaire aux tests mécaniques à vitesse élevée et couple faible, ou à ceux à vitesse faible et couple élevé.
GL 5	Conditions de service très sévères (vitesse élevée et faible couple ou inversement) avec chocs	Comme les précédentes, ces huiles doivent lubrifier tous les engrenages, plus particulièrement hypoïdes, mais travaillant dans des conditions très sévères. Elles doivent satisfaire à des tests mécaniques tels que : vitesse élevée avec charges brutales et répétées, vitesse élevée et couple faible, vitesse faible et couple élevé.

— Les spécifications MIL.L pour les transmissions :

- **MIL.L. 2105 C**, définie en avril 1975, concerne les huiles multigrades et aux grades SAE 75 W, 80 W 90 et 85 W 140. Elle comporte des tests physico-chimiques et des tests mécaniques de l'A.P.I GL5

- **MIL.L.2105 D**, définie en 1987, cette nouvelle norme présente des différences sur le plan de la toxicité et sur l'environnement par rapport à la norme MIL.L.2105 C (possibilité d'utiliser des huiles régénérées).

## • LES HUILES POUR TRANSMISSIONS AUTOMATIQUES ET POWER-SHIFT :

De nombreux constructeurs d'automobiles et de transmissions automatiques ont défini leurs propres spécifications en ce qui concerne le choix d'une huile de transmission automatique ou ATF (Automatic Transmission Fluid).

Cependant, les spécifications mises au point par GENERAL MOTORS et FORD constituent une référence utilisée par tous. Ces spécifications définissent les caractéristiques physico-chimique du fluide et les niveaux des performances exigés.

Ces spécifications ont évolué avec le temps, dans le sens d'une amélioration des qualités des huiles en ce qui concerne principalement :

- la viscosité à froid,
- la résistance à l'oxydation,
- le pouvoir anti-corrosion.

#### — **Les spécifications GENERAL MOTORS :**

##### - **Les spécifications anciennes :**

- ATF type A suffix A
- DEXRON I
- ALLISON C3

##### - **Les spécifications actuelles :**

- DEXRON II D (GM 6137 M)
- ALLISON C4

#### — **Les spécifications FORD :**

##### - **Les spécifications anciennes :**

- M2C 33 F utilisée aux U. S. A
- M2C 33 G utilisée en Europe. Concerne les boîtes de vitesses automatiques des véhicules sortis avant octobre 1981.
- M2C 138 CJ pour les véhicules sortis après octobre 1981.
- M2C 166 H pour les transmissions automatiques C-5. Ces spécifications comportent des essais d'usure et de friction.

##### - **Les spécifications actuelles :**

- M2C 185 A (FORD MERCON) pour les véhicules sortis après 1988.

En dehors des spécifications FORD et GENERAL MOTORS, nous pouvons citer CATERPILLAR TO-4 et TO-2, MERCEDES 235 et 236 et ZF TE-ML

## • LES HUILES HYDRAULIQUES :

Compte tenu de la **précision** de construction des dispositifs hydrauliques, les huiles hydrauliques doivent être exemptes :

- de particules métalliques provenant de l'oxydation et de l'usure ;
- de bulles d'air qui rendraient le liquide moins incompressible ;
- de toute émulsion avec l'eau qui serait nuisible à la conservation des surfaces actives des valves et des clapets.

L'huile utilisée doit être de faible viscosité et d'indice de viscosité élevé, contenant, en plus, de nombreux additifs (antioxydants, antirouille, antimousse, antiémulsion, etc.), et montrant une neutralité totale vis-à-vis d'organes en élastomères ou en matériaux synthétiques divers (joints, conduites flexibles...).

Les huiles hydrauliques sont classées selon deux critères, la **classification de viscosité** et la **classification de performance** :

### — La classification de viscosité :

Elle est définie par la norme ISO 3448 qui prévoit **huit grades de viscosité** (ISO Viscosity Grade) exprimés en mm<sup>2</sup>/s (avec une fourchette de plus ou moins 10 %), à la température de 40° C : **10, 15, 22, 32, 46, 68, 100 et 150**.

### — La classification de performance :

Elle est indiquée par la norme française NFE 48-603 qui comprend 5 catégories : **HH, HL, HR, HM et HV**.

- **catégorie HH** : huiles minérales non inhibées ;
- **catégorie HL** : huiles minérales possédant des propriétés antioxydantes et anticorrosion particulières ;
- **catégorie HR** : huile de type HL ayant un fort index de viscosité.
- **catégorie HM** : identique à la catégorie HR, avec des propriétés anti-usure ;
- **catégorie HV** : identique à la catégorie HM, avec des propriétés de viscosité améliorées.

## • LES HUILES MULTIFONCTIONNELLES

Afin de réduire le nombre de qualités d'huile nécessaires à la lubrification des matériels agricoles, d'une part, et de permettre la lubrification de plusieurs organes dépendant d'un même carter, d'autre part, les laboratoires de recherches sur les lubrifiants ont mis au point des huiles dites « **multifonctionnelles** ».

L'intérêt de ces huiles est de **simplifier les approvisionnements, d'éviter les stockages multiples** de petites quantités entraînant des dépenses plus grandes, sans compter les risques d'erreur au moment des opérations de vidange et les risques d'altération dus au stockage prolongé de l'huile dans des récipients entamés.

Les huiles transmission en agriculture sont des huiles multi-fonctionnelles. En effet, du fait de la diversité des mécanismes rencontrés sur les machines agricoles et, en particulier les tracteurs, l'huile doit pouvoir satisfaire aux exigences de fonctionnement d'une transmission mécanique (boîtes, pont,...), d'un amplificateur de traction, de freins immergés et de commandes hydrauliques, etc. Ce type d'huile est parfois appelée **huiles THF** (Transmission/Hydraulique/Freins).

Dans le but d'obtenir une standardisation de la lubrification des mécanismes agricoles, les firmes pétrolières proposent des huiles qui satisfont à la fois aux exigences des huiles moteurs et à celles des huiles THF (parfois appelées « STOU » : Super Tractor Oil Universal).

**La détermination des caractéristiques des huiles multifonctionnelles (grade de viscosité et niveau de performance) fait appel aux mêmes classifications que les huiles spécifiques.** Comme il n'existe pas de norme ou de classification internationale pour ces huiles, les spécifications de certains constructeurs font référence. Ces spécifications définissent les caractéristiques physico-chimiques du fluides et les niveaux de performances :

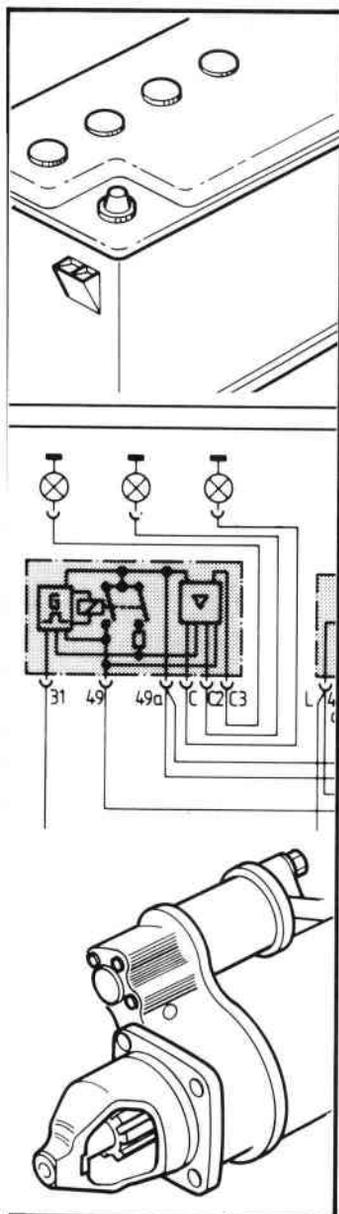
- **Huiles THF** : Case IH MS 1207, John Deere J 20 A, Massey-Ferguson M 1141 et 1135, Ford M2C86-C, Ford M2C134-Dn, Ford M2C86-B,...
- **Huiles moteurs + THF** : Ford M2C-159B, Massey-Ferguson M 1139,...

## • LES HUILES USÉES ET L'ENVIRONNEMENT :

Les huiles de vidange sont nuisibles à l'environnement. Répandues dans la nature ou déversées à l'égout même en faible quantité, **elles polluent** très fortement **les eaux souterraines** et forment à la surface des eaux un mince film qui empêche l'oxygénation et **inhibe la vie aquatique** ; d'autre part lorsqu'elles sont brûlées sans précaution, elles génèrent des rejets polluant l'atmosphère, notamment des oxydes métalliques et des particules imbrûlées en quantité importante.

**Préservez la nature et votre environnement en récupérant les huiles usagées** dans des emballages fiables. Pour chaque département, les préfetures établissent la liste des professionnels habilités à collecter et à traiter les huiles usagées. Selon les cas, des containers spéciaux peuvent-être mis à disposition.

Dans un proche avenir, le marché pourrait voir apparaître des huiles moteurs ou des huiles multifonctionnelles dites « **biodégradables** ». **Dans tous les cas, il est important de préciser que ce caractère « biodégradable » a pour but de limiter les nuisances en cas de fuites accidentelles, et ne saurait en aucun cas justifier des vidanges dans la nature.**

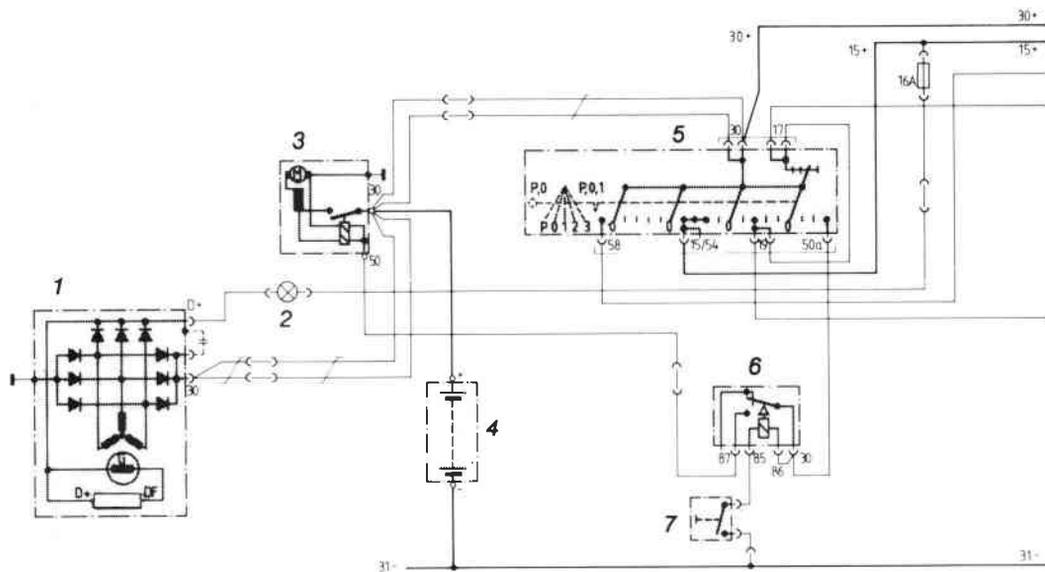


- Comment s'organisent les circuits électriques ? ..... 288
- La batterie d'accumulateurs ..... 288
- Les démarreurs ..... 292
- Le générateur et le circuit de charge ..... 295
- Les indicateurs du tableau de bord ..... 300
- Les principaux repères utilisés pour l'identification des connexions électriques ..... 302

CHARGE

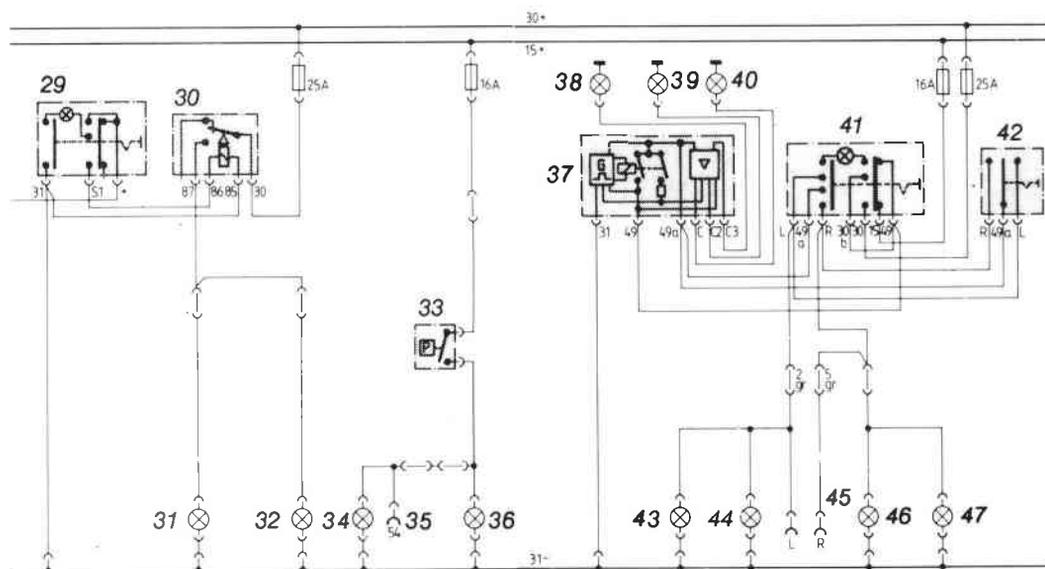
DEMARRAGE

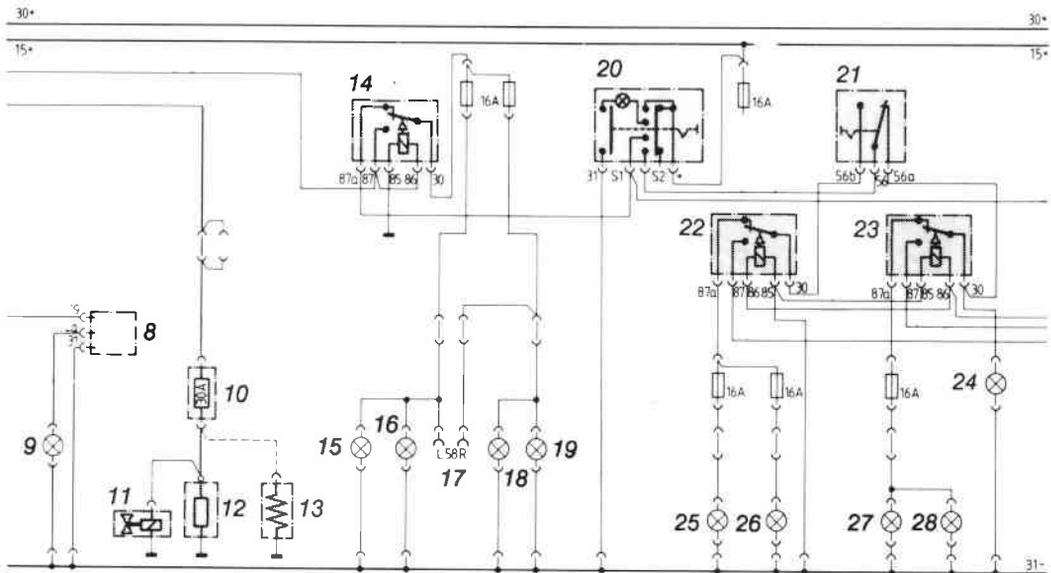
CONSETEMENT DE DEMARRAGE



ECLAIRAGE

SIGNALISATION





- |    |                                       |    |                                  |
|----|---------------------------------------|----|----------------------------------|
| 1  | Alternateur/régulateur                | 25 | Phare gauche                     |
| 2  | Témoin de charge                      | 26 | Phare droit                      |
| 3  | Démarreur                             | 27 | Feu de code gauche               |
| 4  | Batterie                              | 28 | Feu de code droit                |
| 5  | Commutateur de préchauffage/démarrage | 29 | Commutateur de phares de travail |
| 6  | Relais de blocage                     | 30 | Relais de phares, de travail     |
| 7  | Commutateur de blocage                | 31 | Phare de travail gauche          |
| 8  | Relais temporisé                      | 32 | Phare de travail droit           |
| 9  | Préchauffage/démarrage                | 33 | Commutateur feux Stop            |
| 10 | Fusible                               | 34 | Feu Stop gauche                  |
| 11 | Soupape magnétique                    | 35 | Prise de courant remorque        |
| 12 | Bougie-allumeur                       | 36 | Feu Stop droit                   |
| 13 | Tube chauffant                        | 37 | Signal de détresse               |
| 14 | Relais feux de position               | 38 | Témoin clignotant                |
| 15 | Feu de position AV gauche             | 39 | Témoin clignotant                |
| 16 | Feu de position AR gauche             | 40 | Témoin clignotant                |
| 17 | Prise de courant remorque             | 41 | Commutateur signal de détresse   |
| 18 | Feu de position AV droit              | 42 | Commutateur clignotant           |
| 19 | Feu de position AR droit              | 43 | Clignotant gauche                |
| 20 | Commutateur feux code/route           | 44 | Feu de position gauche           |
| 21 | Commutateur de feux de code           | 45 | Prise de courant remorque        |
| 22 | Relais feux de code                   | 46 | Feu de position droit            |
| 23 | Relais feux de route                  | 47 | Clignotant droit                 |
| 24 | Témoin de feux de route               |    |                                  |

Fig. 267 — Schémas électriques d'un tracteur  
(les circuits du tableau de bord et de la cabine ne sont pas représentés).

## • COMMENT S'ORGANISENT LES CIRCUITS ÉLECTRIQUES ?

C'est la batterie qui constitue l'élément essentiel, car c'est elle qui accumule l'énergie électrique nécessaire à l'alimentation du démarreur.

Afin de faciliter la réalisation et la lecture des schémas électriques, on utilise des symboles graphiques. La figure 268 représente une sélection des symboles électriques graphiques utilisés dans cette brochure.

La figure 269 représente schématiquement les différents circuits raccordés à la batterie : **le circuit de démarrage, le circuit de charge et les circuits des autres consommateurs.**

Nous remarquons que la borne positive de la batterie est connectée à l'alimentation de chacun des organes, tandis que la borne négative est reliée à **la masse**, sur laquelle se referment les circuits de tous les organes électriques. La masse est donc un conducteur actif constitué par l'ensemble des masses métalliques : châssis, moteur, générateur, démarreur...

Au moment du démarrage, la batterie fournit le courant nécessaire à l'alimentation du démarreur. Lorsque le moteur fonctionne, il entraîne le générateur dont le courant va recharger la batterie et alimenter les autres récepteurs, (se reporter aussi à l'annexe documentaire).

La figure 267 (page précédente) représente le schéma de l'ensemble des circuits électriques d'un tracteur, à l'exception des circuits du tableau de bord.

## • LA BATTERIE D'ACCUMULATEURS :

La batterie d'accumulateurs (fig.270) est un organe dans lequel le passage d'un courant électrique provoque une réaction chimique. Cette réaction chimique est réversible ; en s'inversant, elle restitue l'énergie électrique qui avait été nécessaire à sa formation. La batterie stocke donc de l'énergie électrique sous forme chimique. Les batteries utilisées sur les véhicules, sont des batteries au plomb. Une batterie se présente sous la forme d'une cuve compartimentée en matière moulée inattaquable à l'acide sulfurique. Chaque compartiment (ou élément) comporte un certain nombre de paires de plaques, ou « grilles » (fig. 271) : l'une des plaques de chaque paire, positive, est percée d'alvéoles remplies de bioxyde de plomb ( $PbO_2$ ) ; l'autre plaque, négative est recouverte de plomb poreux. L'ensemble baigne dans un mélange d'acide sulfurique et d'eau constituant **l'électrolyte**.

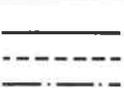
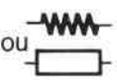
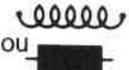
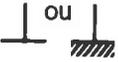
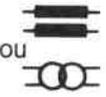
	<p>Conducteur électrique  Conducteur annexe  Ligne de séparation des organes</p>		Résistance
	Croisement de conducteurs sans connection électrique		Bobinage
	Croisement de conducteurs avec connection électrique		Batterie d'accumulateurs
	Fiche mâle et prise femelle		Contact à impulsion 1) ouvert au repos 2) fermé au repos
	Fusible		Electro-aimant
	Condensateur		Relais
	Mise à la masse		Lampe
	Mise à la terre		Avertisseur sonore
	Courant continu		<u>G</u> : Génératrice de courant continu <u>G</u> : Génératrice de courant alternatif
	Courant alternatif		<u>M</u> : Moteur à courant continu <u>M</u> : Moteur à courant alternatif
	Branchement triphasé en triangle		Transformateur
	Branchement triphasé en étoile		V : voltmètre A : ampèremètre Ω : ohmmètre

Fig. 268 – Principaux symboles utilisés pour l'exécution des schémas électriques.

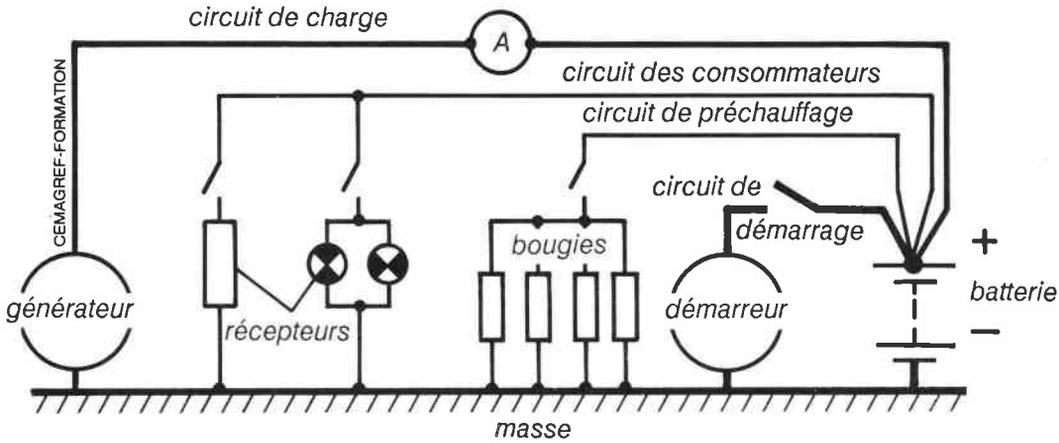


Fig. 269 — Schéma d'organisation des circuits électriques.

### — Fonctionnement :

Pendant la décharge (fig. 270), le bioxyde de plomb et le plomb se combinent à l'acide sulfurique pour former du sulfate de plomb et de l'eau avec libération d'énergie électrique continue. Au cours de la charge (fig. 270), c'est la réaction inverse qui se produit.

Si le courant de charge continu est trop intense, il provoque une électrolyse avec dégagement d'un mélange explosif d'oxygène et d'hydrogène. Il en résulte une perte d'eau, ce qui explique la nécessité de vérifier de temps à autre le niveau de l'électrolyte, car les plaques ne doivent cesser d'être recouvertes. Il convient enfin de noter qu'au cours de la décharge, il y a formation d'eau et disparition progressive d'acide sulfurique dans l'électrolyte ; la concentration en acide sulfurique dans l'électrolyte est donc d'autant plus faible que la batterie est moins chargée, de sorte qu'en hiver, un risque de gel peut apparaître pour des batteries déchargées.

### — Caractéristiques :

- **La tension** : exprimée en volts, elle dépend du nombre d'éléments constituant la batterie. Chaque élément de batterie fournit une différence de potentiel de 2 volts. Soit, par exemple, 6 volts pour une batterie à 3 éléments et 12 volts pour une batterie à 6 éléments. Ces valeurs sont des tensions nominales qui sont en fait sensiblement modifiées selon que la batterie est en situation de charge ou de décharge.

- **La capacité** : exprimée en ampères heure (Ah), elle définit le courant électrique (Ampères) que la batterie est capable de fournir pendant un temps déterminé, jusqu'à ce que sa tension de décharge atteigne un certain seuil. Les valeurs généralement utilisées pour définir la capacité d'une batterie sont : température ambiante 20° C, décharge en 20 h pour un seuil de tension de décharge de : 10,5 volts pour une batterie de 12 V et 5,25 volts pour 6 volts.

Par exemple une batterie de 12 volts, 100 Ah peut donc en principe débiter un courant de 5 Ampères pendant 20 heures, sans que sa tension ne chute en dessous du seuil de 10,5 volts.

Notons que la capacité d'une batterie peut varier sensiblement selon son état interne, la rapidité de sa décharge et la température ambiante. Plus le courant de décharge est intense et plus la température ambiante est faible, plus la capacité de la batterie diminue.

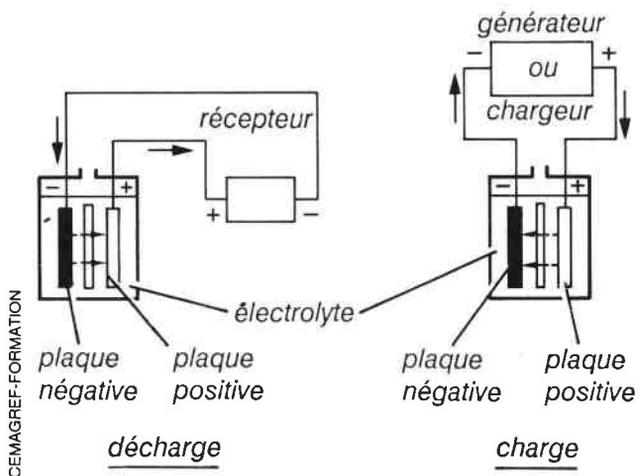


Fig. 270 – Principe de la batterie d'accumulateurs.

Lorsque la température est de  $- 20^{\circ} C$ , la capacité peut diminuer de 50 %.

- **L'aptitude au démarrage à froid** : cette caractéristique définit le comportement de la batterie en situation de démarrage par basse température. Ainsi, une batterie portant les caractéristiques suivantes : 12 V, 100 Ah, 360 A, a subi des tests normalisés pendant lesquels la batterie a pu fournir un courant de 360 ampères par  $- 18^{\circ} C$ , sans que sa tension ne baisse au dessous de 8,4 volts après 60 secondes et de 6 volts après 180 secondes (selon la norme NF R 13503).

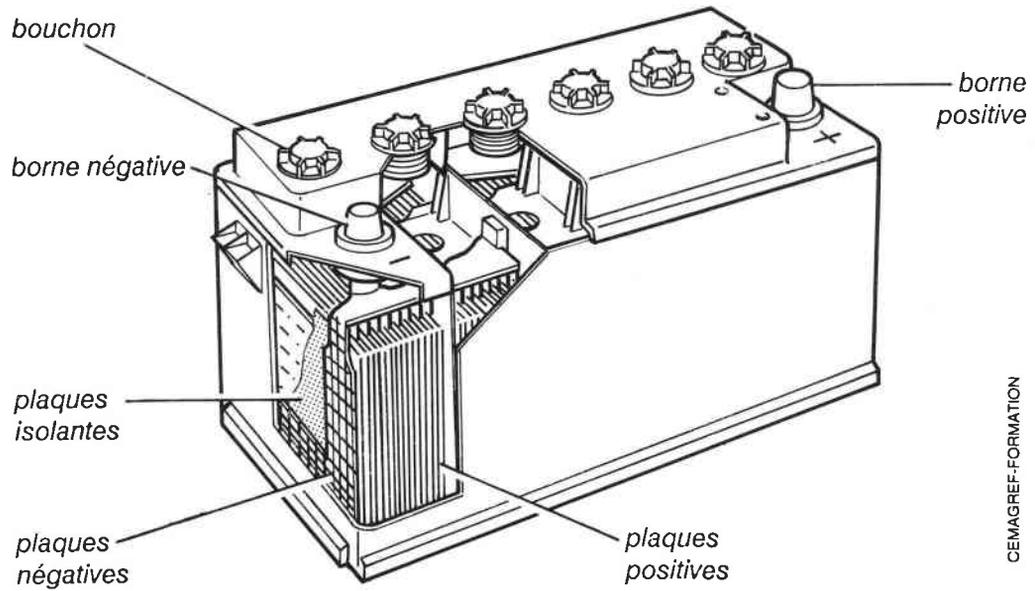


Fig. 271 – Coupe d'une batterie.

- **La réserve de capacité** : cette indication, utilisée aux Etats-Unis, détermine en minutes le temps pendant lequel une batterie est capable de fournir un courant de 25 ampères.

### — L'entretien :

La durée de vie d'une batterie est étroitement liée à un entretien correct (niveau d'électrolyte, charge, propreté), ainsi qu'à son rythme d'utilisation (fréquence des démarrages, périodes d'inactivité, etc.). Pour l'utilisateur, les contraintes d'entretien consistent essentiellement à maintenir le niveau correct de l'électrolyte en ajoutant de l'eau distillée et dans le cas de matériel saisonnier, à entretenir la charge de la batterie pendant plusieurs mois. Les batteries récentes « dites sans entretien » ont été conçues de manière à supprimer ou du moins à alléger les contraintes d'entretien. Les modifications les plus marquantes apportées à ces batteries sont la présence de nouveaux alliages dans la conception des grilles, un isolement presque complet de l'électrolyte avec l'atmosphère ambiante, une plus grande réserve d'électrolyte.

**Le bon fonctionnement des systèmes électroniques dépend de la qualité des connexions (chute de tension, micro-coupures,...). Il convient donc de les maintenir en parfait état et de les protéger des chocs, des intempéries et des agressions chimiques. Dans certains cas, le débranchement de la batterie peut causer l'effacement des mémoires de certains équipements.**

### • LES DÉMARREURS :

Les démarreurs sont des moteurs « série » (fig. 272), c'est-à-dire que leurs bobinages **inducteurs** sont connectés en série avec les bobinages de l'**induit** par l'intermédiaire de **balais**. La propriété essentielle des moteurs « série » est de pouvoir dévelop-

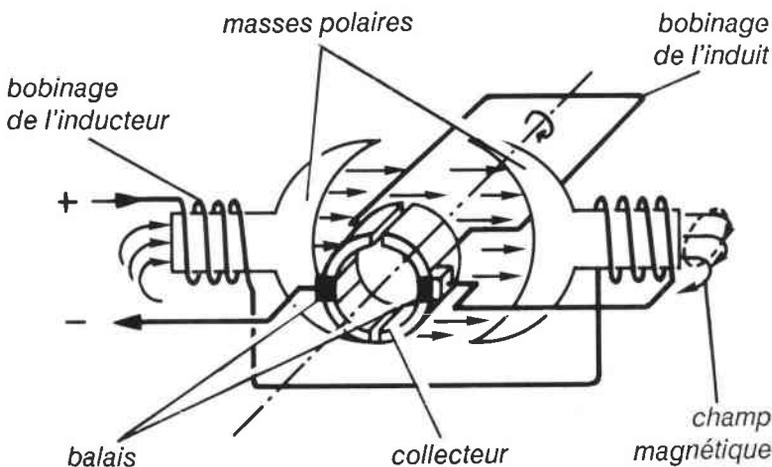


Fig. 272 — Principe d'un démarreur électrique.

per un couple très important, dès la mise sous tension, ce qui implique toutefois une intensité d'alimentation élevée.

D'une façon générale, les démarreurs comportent quatre masses polaires et quatre balais.

Il existe deux types principaux de démarreurs : **les démarreurs commandés par solénoïde** et **les démarreurs à induit coulissant** qui sont réservés aux moteurs diesel de grande cylindrée.

— **Les démarreurs commandés par solénoïde** sont constitués (fig. 273) :

- D'une carcasse, le stator, à l'intérieur duquel sont fixées des masses polaires entourées d'un bobinage inducteur en fil de grosse section.

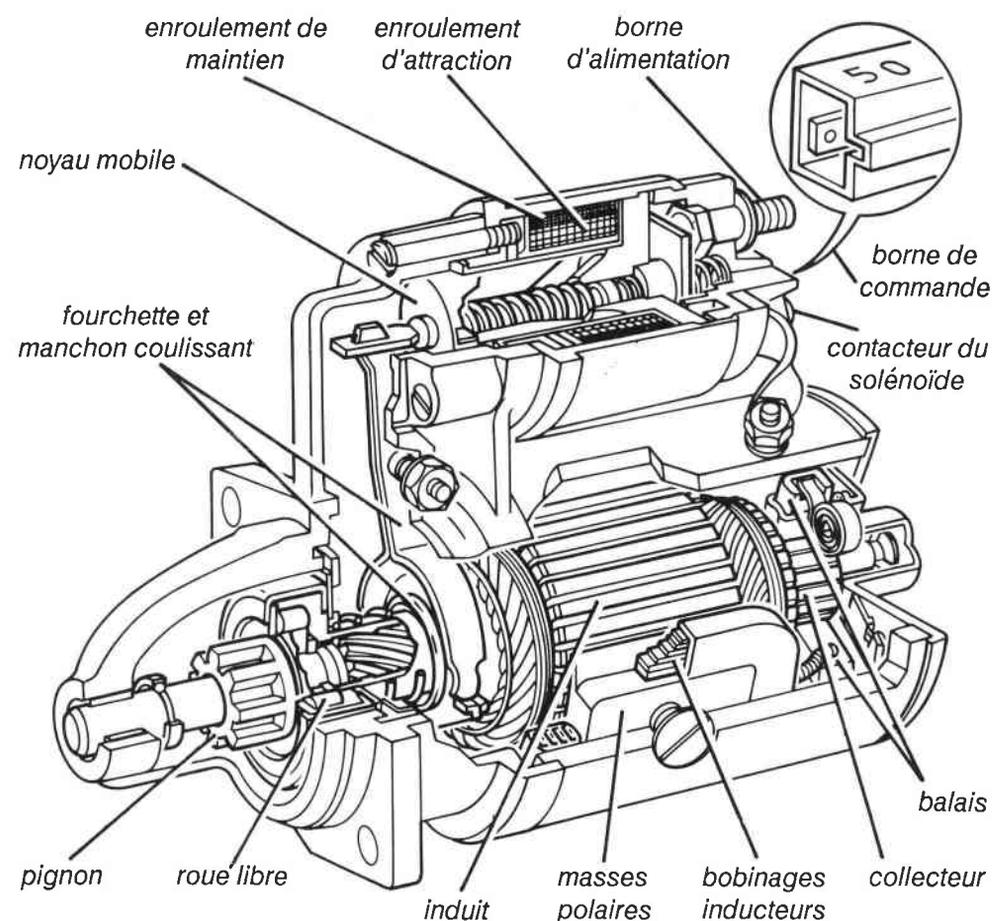


Fig. 273 — Démarreur à solénoïde.

- **D'un rotor ou induit**, dont les spires sont également réalisées en fil de grosse section et qui porte un collecteur à lames. Au démarrage, c'est un pignon entraîné par l'induit du démarreur qui vient s'engrener avec une couronne dentée solidaire du volant moteur.

- **D'un électro-aimant ou solénoïde** qui assure la commande mécanique et électrique du démarreur. Le solénoïde, commandé depuis le tableau de bord, présente un noyau mobile qui, dans un premier temps, commande l'engagement du pignon de lancement avec le volant et, dans un second temps, établit le contact au niveau du moteur du démarreur. Le champ magnétique agissant sur le noyau est fourni par deux enroulements ; le premier, appelé « enroulement d'attraction », n'intervient que pendant la phase d'engagement du pignon et le second, appelé « enroulement de maintien » intervient pendant les phases successives d'engagement du pignon et de démarrage.

- **D'un lanceur** formé d'un ensemble coulissant comprenant un manchon qui supporte une roue libre et un pignon de lancement : le manchon coulissant est solidaire en rotation de l'arbre de l'induit, mais des cannelures hélicoïdales lui permettent de se déplacer axialement ; la roue libre, placée entre le manchon et le pignon de lancement, permet de solidariser ces deux pièces au moment du démarrage puis de les désolidariser, dès que le démarrage est assuré ; l'engagement du lanceur est déterminé lui-même par une fourchette qui relie le manchon au noyau du solénoïde, son dégagement étant assuré par un ressort rappelant le noyau mobile de l'électro-aimant.

— **Les démarreurs à induit coulissant** sont utilisés pour le démarrage des gros moteurs diesel. Ils se différencient des démarreurs commandés par solénoïde par le

*enroulement de maintien*

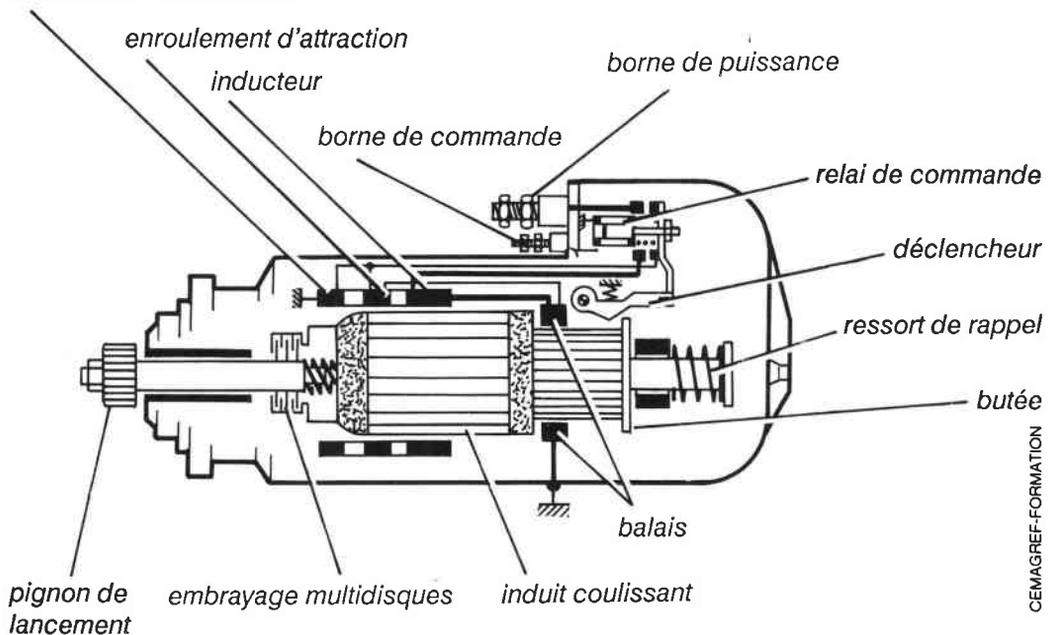


Fig. 274 – Principe d'un démarreur à induit coulissant.

fait que leur pignon de lancement s'engage dans la couronne dentée du volant moteur par coulissement de l'induit dont il est solidaire (fig. 274).

Au repos, l'induit est en position reculée par rapport aux masses polaires des inducteurs. Son coulissement est provoqué par l'attraction magnétique des inducteurs lorsqu'ils sont alimentés.

La mise en action du démarreur consiste à alimenter la borne de commande d'un relais électro-magnétique. Ce relais alimente tout d'abord un enroulement d'attraction et un enroulement de maintien qui sont bobinés avec les inducteurs. Ces bobinages de faible section fournissent un champ magnétique suffisant pour attirer l'induit et le faire tourner, afin qu'il conduise le pignon de lancement vers la couronne dentée du moteur. En fin de course, une butée placée près du collecteur, soulève un **déclencheur** qui permet alors au relais d'alimenter directement les inducteurs et d'accomplir le démarrage. Un embrayage multidisque protège le démarreur contre les surcharges.

## • LE GÉNÉRATEUR ET LE CIRCUIT DE CHARGE :

Le générateur le plus fréquemment utilisé est l'**alternateur**. Il a progressivement remplacé la dynamo depuis la fin des années soixante en raison des avantages suivants : meilleur rapport poids-puissance, débit important même à bas régime, fabrication moins onéreuse et entretien réduit.

### — Principe d'un alternateur :

Un électro-aimant rotatif, appelé **inducteur** ou **rotor** (fig. 275), crée des champs magnétiques tournants à l'intérieur d'un bobinage périphérique, induit, placé dans la partie fixe ou stator de l'alternateur.

Ainsi cet enroulement induit, soumis aux variations des champs magnétiques tournants, est le siège d'un courant induit, alternatif, qui, après « **redressement** », alimente l'équipement électrique du véhicule et recharge la batterie.

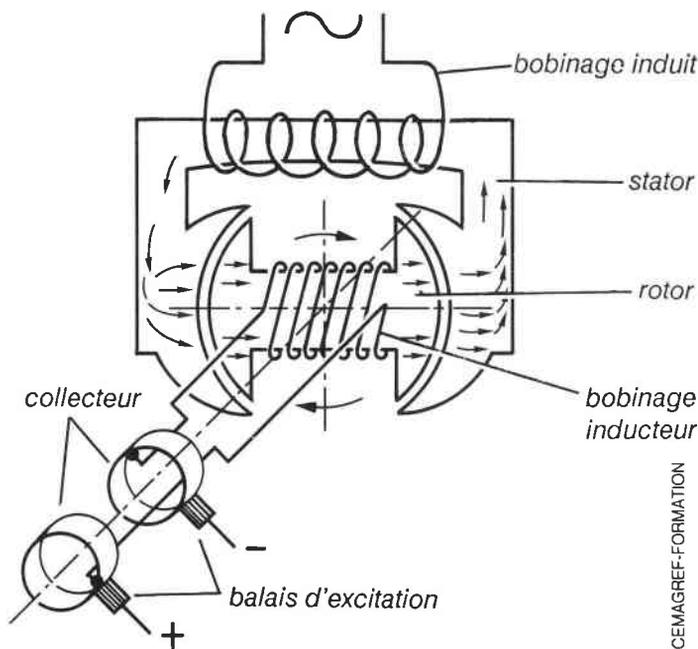
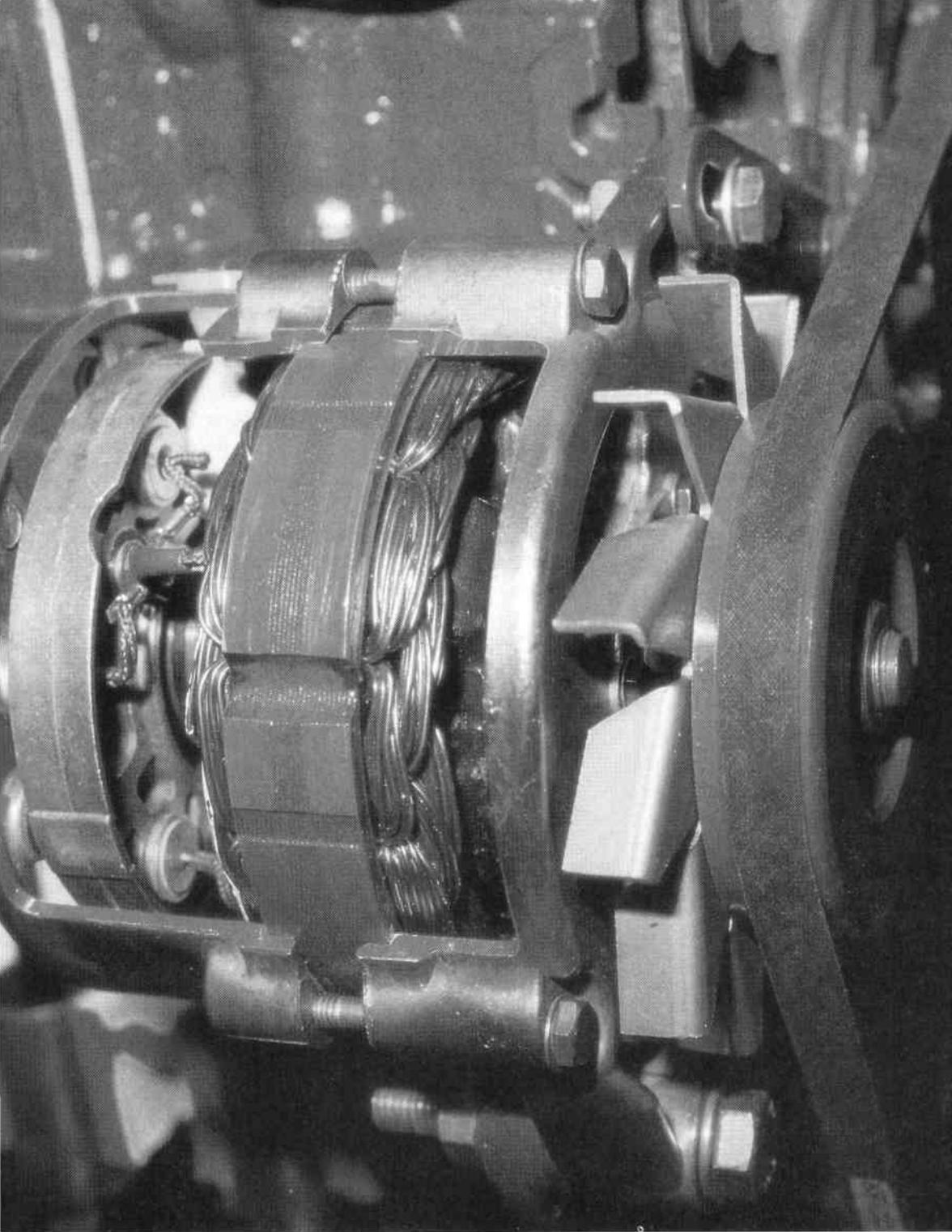


Fig. 275 — Principe d'un alternateur.



**Coupe d'un alternateur** (Photo CEMAGREF-DICOVA).

— Description d'un alternateur (fig. 277) :

- L'**inducteur** ou rotor (fig. 276) est le plus souvent constitué d'un bobinage axial prisonnier entre deux flasques à griffes qui constituent les masses polaires.

Les griffes d'une masse polaire viennent s'intercaler entre celles de la masse polaire opposée, de telle façon qu'au cours de la rotation puissent se produire les variations magnétiques indispensables à la création de courants induits dans les bobinages périphériques. Les deux extrémités de ce bobinage inducteur sont reliées aux bagues cylindriques isolées du collecteur.

Le courant d'**excitation** passe dans ces bagues par l'intermédiaire de deux petits balais, l'un positif et l'autre négatif.

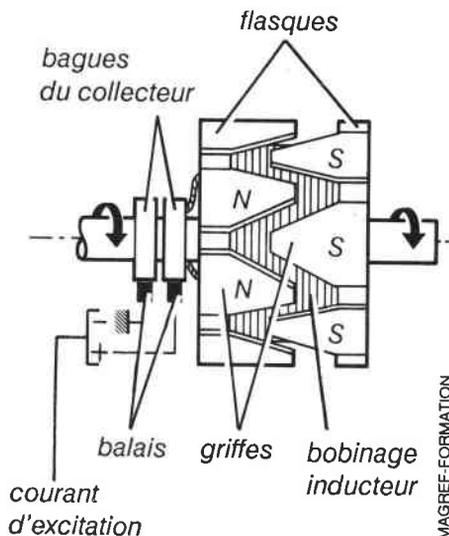


Fig. 276 — L'inducteur d'un alternateur.

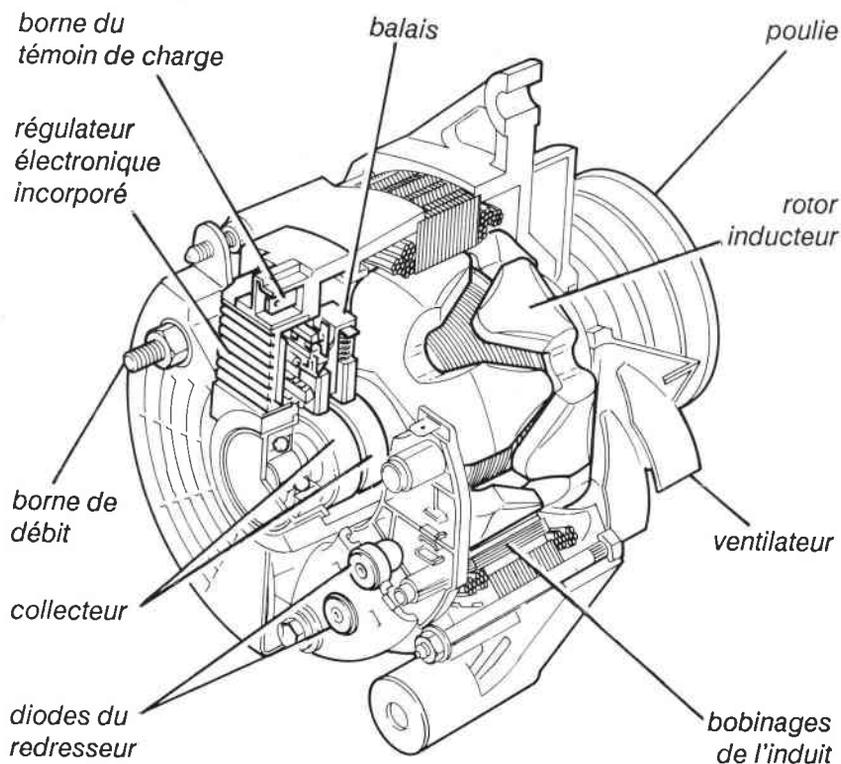


Fig. 277 — Vue éclatée d'un alternateur.

CEMAGREF-FORMATION

CEMAGREF-FORMATION

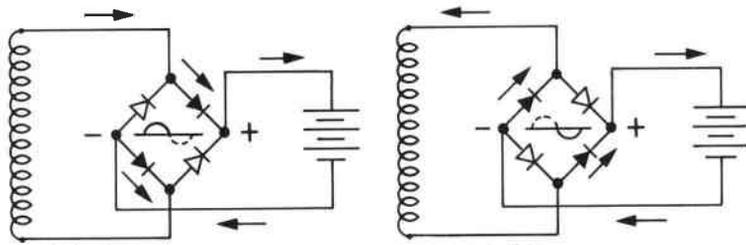


Fig. 278 — Principe du redresseur monophasé.

- **L'induit** (fig. 277) (ou stator) est constitué par une carcasse métallique portant une ou trois séries de bobinages.

Lorsqu'il n'en comporte qu'une série, il est dit du type **monophasé** ; avec trois séries de bobinages, il est dit du type **triphase**.

- **Le redresseur de courant** : les réactions électro-chimiques intervenant dans le fonctionnement d'une batterie d'accumulateurs, en particulier au moment de sa charge, réclament obligatoirement une alimentation en courant continu. Or, par son principe même, un alternateur produit du courant alternatif ; d'où la nécessité de placer sur le circuit **un redresseur de courant**.

Le dispositif redresseur de courant est, en général, intégré à l'alternateur. Il comporte plusieurs **diodes** connectées en « **pont redresseur** ». Les diodes sont des composants électroniques semi-conducteurs qui ont la propriété de ne laisser passer le courant que dans un seul sens. Placées de façon judicieuse, en « **pont** », les diodes permettent de « **redresser** » les courants alternatifs. Ainsi, la figure 278 indique schématiquement, pour chaque sens du courant dans un bobinage monophasé, le fonctionnement d'un pont-redresseur à quatre diodes. De même, la figure 279 représente un pont redresseur à six diodes utilisé dans le cas de bobinages triphasés.

Souvent un redresseur auxiliaire à 3 diodes (fig. 279 et 280) est placé en parallèle avec le redresseur principal, afin de disposer d'une alimentation indépendante pour commander le témoin de charge et l'excitation.

— **Le régulateur de tension** :

La tension délivrée par un alternateur est fonction de sa vitesse de rotation,

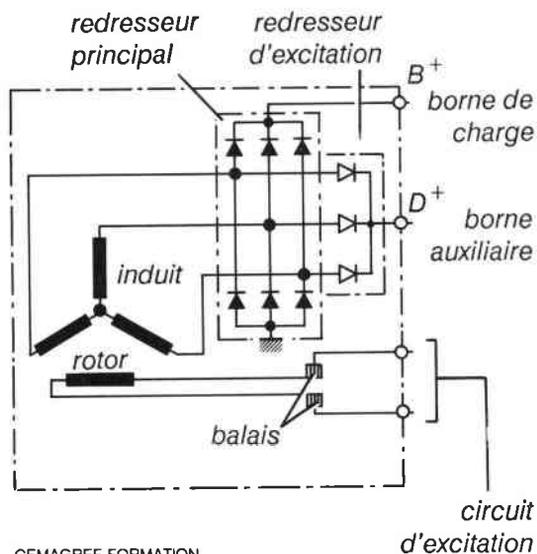


Fig. 279 — Principe d'un alternateur avec son redresseur triphasé.

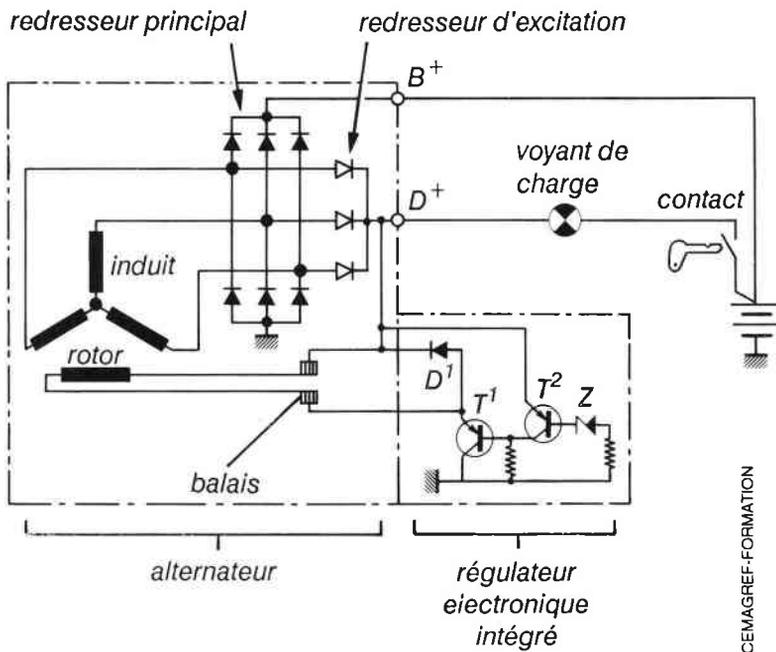


Fig. 280 — Principe d'un régulateur électronique de tension.

or, les équipements électriques et surtout la batterie devant fonctionner à une tension constante, il est indispensable d'associer un régulateur de tension à l'alternateur.

La régulation de la tension d'un alternateur s'effectue en contrôlant son courant d'excitation, c'est-à-dire le courant qui traverse les bobinages inducteurs.

Dans le passé, les régulateurs de tensions étaient électromagnétiques et séparés de l'alternateur.

Aujourd'hui les régulateurs sont électroniques et incorporés à l'alternateur.

Un régulateur électronique simplifié est représenté à la figure 280. Il comprend : un **transistor de puissance T1**, un **transistor de commande T2**, une **diode Zener Z** et une **diode de protection D1**. Lorsque l'alternateur fonctionne, un courant d'excitation, généré par l'alternateur lui-même est redressé par les diodes d'excitation. Si la tension de charge de l'alternateur est inférieure à 14,4 volts (cas d'un équipement en 12 volts), le courant d'excitation traverse l'enroulement inducteur, puis se referme à la masse par le transistor T1 qui est alors conducteur. Le transistor T2 et la diode Zener Z sont bloqués. Lorsque la tension de charge de l'alternateur atteint le seuil de 14,4 volts, la diode Zener se déclenche, le transistor T2 devient conducteur et oppose alors une contre-tension à la base du transistor T1 qui devient non conducteur. L'excitation cesse. Ainsi la régulation de tension est en fait une succession plus ou moins rapide d'ouvertures et de fermetures du circuit d'excitation, en fonction des nécessités.

Les composants électriques qui entrent dans la constitution de l'alternateur et du régulateur, n'acceptent ni surcharge, ni court-circuit. Il faut donc absolument éviter :

- de déconnecter l'alternateur ou la batterie quand le véhicule est en marche ;
- d'invertir les polarités de la batterie ;
- d'invertir les fils du régulateur ;
- de créer des courts-circuits avec les conducteurs de charge ou d'excitation ;
- de recharger la batterie sans l'avoir préalablement débranchée ;
- de souder à l'arc sur le véhicule sans au préalable avoir débranché la batterie et l'alternateur.

• **LES INDICATEURS DU TABLEAU DE BORD** (fig. 281) :

Ces indicateurs signalent au conducteur le bon ou le mauvais fonctionnement des fonctions essentielles du moteur. Par souci de clarté, nous avons retenu uniquement les indicateurs classiques de pression d'huile, de température de refroidissement et de charge de la batterie.

De plus en plus, les tableaux de bord comportent des indicateurs numériques à cristaux liquides ou à diodes électro-luminescentes (se reporter au chapitre : les équipements électroniques embarqués). Parmi les évolutions récentes,

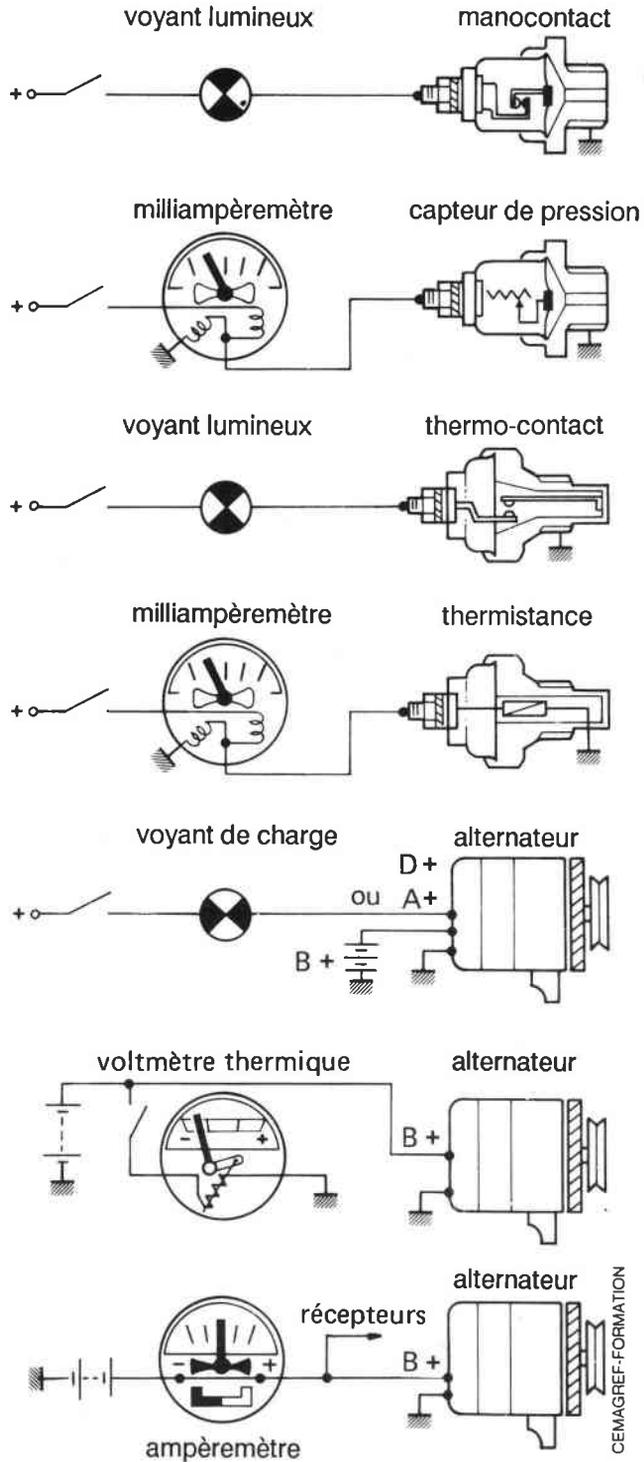


Fig. 281 – Principaux indicateurs de bord.

citons le tableau de bord des tracteurs SAME qui se présente sous la forme d'un écran permettant de visionner soit les indicateurs fonctionnels, soit l'image de travail de l'outil arrière (rétrovision par caméra).

— **La pression d'huile** est contrôlée par un voyant lumineux et parfois par un **indicateur à aiguille**. Le voyant lumineux (fig. 281) est en fait un témoin d'alerte qui s'allume lorsque la pression d'huile est trop faible. Ce voyant est branché en série avec un **mano-contact** situé sur le circuit de graissage du moteur. Le mano-contact, fermé au repos, assure la mise à la masse du voyant et donc son allumage. Lorsque la pression d'huile est suffisante, elle repousse la membrane qui ouvre le contact et provoque l'extinction du voyant.

- **L'indicateur de pression à aiguille** (fig. 281) est un milliampèremètre situé au tableau de bord et branché en série avec un capteur de pression à rhéostat. Lorsque la pression d'huile est nulle, la résistance du capteur est très élevée, le courant très faible et l'aiguille ne dévie pas. Lorsque la pression d'huile augmente, la membrane se déforme en agissant sur le rhéostat. La résistance du capteur diminue, le courant augmente et, l'aiguille dévie sur une échelle graduée ou sur des secteurs de couleur.

— **La température du moteur** est contrôlée par un **voyant d'alerte** de température et parfois par un **indicateur à aiguille**.

- **Le voyant d'alerte** (fig. 281) s'allume lorsque la température du moteur devient trop élevée. Ce voyant est branché en série avec un **thermo-contact** situé le plus souvent sur la culasse du moteur. Le thermo-contact, ouvert au repos, est constitué d'un contact actionné par un bilame. Lorsque la température est trop élevée, le bilame se déforme et ferme le contact afin de provoquer l'allumage du voyant par mise à la masse.

- **L'indicateur de température à aiguille** (fig. 281) est un milliampèremètre, semblable à celui décrit ci-dessus, et branché en série avec une thermistance.

Une thermistance est en fait une résistance sensible à la température. Lorsque la température est faible, la résistance électrique de la thermistance est élevée et le courant, alors faible, ne crée qu'une déviation partielle de l'aiguille. Lorsqu'au contraire la température augmente, la résistance électrique de la thermistance diminue et le courant augmente, ce qui provoque une déviation plus grande de l'aiguille sur une échelle graduée ou sur des secteurs de couleurs.

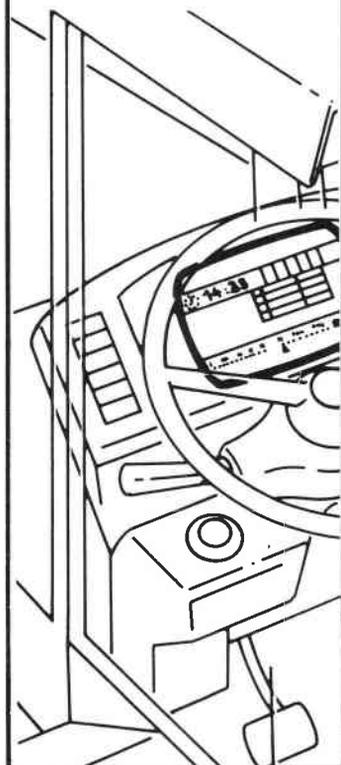
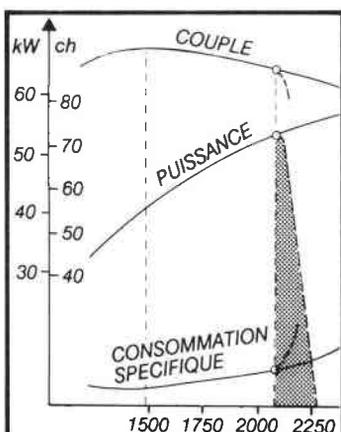
— **Le contrôle de la charge de la batterie** : peut être assuré par un voyant de charge, un voltmètre thermique ou plus rarement par un ampèremètre. Le voyant de charge (fig. 280 et 281) est branché entre l'alimentation du tableau de bord et la sortie du redresseur d'excitation de l'alternateur. Lorsque l'alternateur ne débite pas, le voyant est en série avec le circuit d'excitation, le régulateur et la masse, il s'allume. Lorsque l'alternateur débite, une tension apparaît à la borne de sortie du redresseur d'excitation, la différence de potentiel à la lampe devient nulle et elle s'éteint.

- **Le voltmètre thermique** (fig. 281) : est branché en dérivation après le contact du tableau de bord. Ce voltmètre est constitué d'une résistance enroulée autour d'un bilame qui se déforme, provoquant la déviation de l'aiguille sur un secteur gradué ou de couleur.

- **L'ampèremètre** (fig. 281) : est un ampèremètre à induction placé en série sur le circuit de charge de l'alternateur. Au repos l'aiguille est en position médiane. Si l'alternateur ne charge pas, le courant se dirige de la batterie vers les récepteurs en créant un champ magnétique qui entraîne l'aiguille vers la gauche dans le secteur décharge. Au contraire si l'alternateur charge la batterie, le courant et le champ magnétique s'inversent dans l'ampèremètre, ce qui entraîne l'aiguille dans le secteur charge.

**• LES PRINCIPAUX REPÈRES UTILISÉS  
POUR L'IDENTIFICATION DES CONNEXIONS ÉLECTRIQUES :**

Appareils	Repères	Affectation
Alternateur	B + ou 30	Borne débit de l'alternateur reliée à la batterie
	D + ou 61 ou L	Borne auxiliaire et de commande du témoin de charge
	DF ou 67 ou EXC	Borne d'excitation de l'alternateur
	D - ou M	Masse de l'alternateur
	W	Borne reliée au compte-tour
Commutateur (contact démarrage)	30	Borne reliée à la batterie
	15	Borne alimentant les récepteurs
	50	Borne reliée au solénoïde du démarreur
Démarreur	30	Borne de puissance du démarreur
	31	Masse du démarreur
	50	Borne du solénoïde du démarreur



- Le couple ..... 305
- La puissance ..... 308
- La réserve de couple ..... 309
- La plage d'utilisation ..... 309
- Les moteurs à plage de « puissance constante » ..... 310
- La consommation horaire ..... 310
- La consommation spécifique et le rendement ..... 310
- Les normes d'essais ..... 313
- Les codes de l'O.C.D.E. .... 314
- Les essais de puissance à la prise de force ..... 315
- Les essais de puissance hydraulique et d'effort de relevage ..... 318
- Les essais de puissance de traction à la barre ..... 319
- Les autres caractéristiques ..... 320



Vue au CEMAGREF de la salle de mesure et d'un banc pour l'essai de puissance à la prise de force d'un tracteur (Photo CEMAGREF).

• LE COUPLE :

Dans un moteur, la pression des gaz de combustion engendre sur chaque piston (fig. 282), une poussée qui est transmise à l'arbre vilebrequin par la bielle. La poussée du piston crée **une force (F)** et le vilebrequin constitue **un bras de levier (l)**. L'influence de cette force par rapport au bras de levier est définie par le produit  $F \times l$ , appelé **moment d'une force**, (se reporter aussi au chapitre : les transmissions mécaniques, rappels de physique et de mécanique).

Selon le principe fondamental de la mécanique : **action = réaction**, un moteur ne peut fournir un couple (action) que si on lui oppose un couple résistant (réaction). Aussi, le couple d'un moteur est lié au **couple résistant** qui est lui-même la conséquence de l'effort de travail demandé. Le couple maximal d'un moteur dépend de la cylindrée, du taux de remplissage des cylindres (épuration de distribution, suralimentations), de la qualité de la combustion et de la quantité de carburant injectée par la pompe d'injection.

Pour mesurer le couple d'un moteur, on utilise un banc d'essai appelé **frein dynamométrique** (fig. 283), dans lequel l'énergie du moteur à essayer est dissipée en chaleur par un système de freinage hydraulique ou électromagnétique. La figure 283 montre un frein électromagnétique très simplifié, dont le rotor est entraîné par le moteur. Le bâti du frein peut osciller indépendamment autour du même axe que le rotor. L'action de freinage consiste à alimenter les bobinages placés sur le bâti par un courant d'intensité variable. Le freinage électromagnétique qui en résulte tend à entraîner le bâti et à appuyer le bras sur une balance (ou un capteur de force). La force qui s'exerce sur la balance, combinée avec le bras de levier du frein conduit à la mesure d'un couple qui est affiché sur le cadran en Newton-mètre (N.m) et qui est égal au couple moteur.

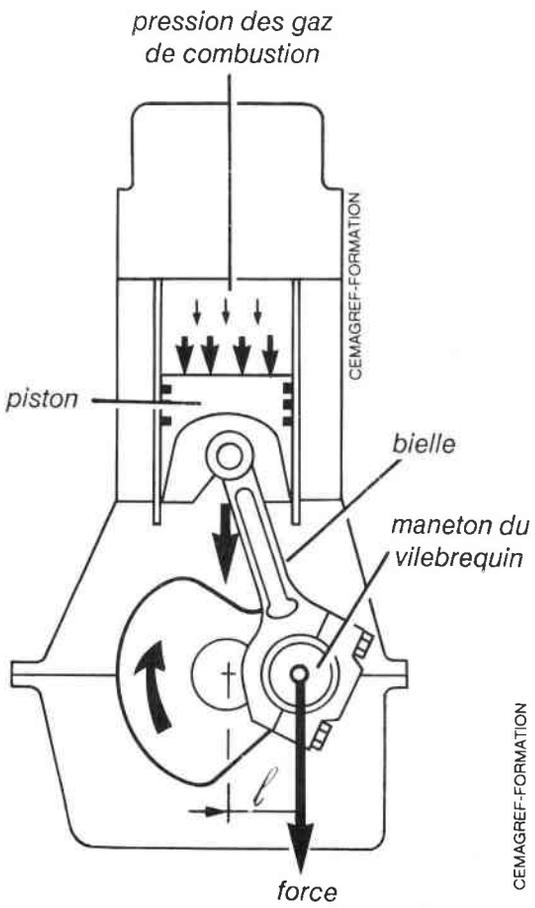


Fig. 282 — La poussée du piston crée une force qui s'applique sur le vilebrequin.

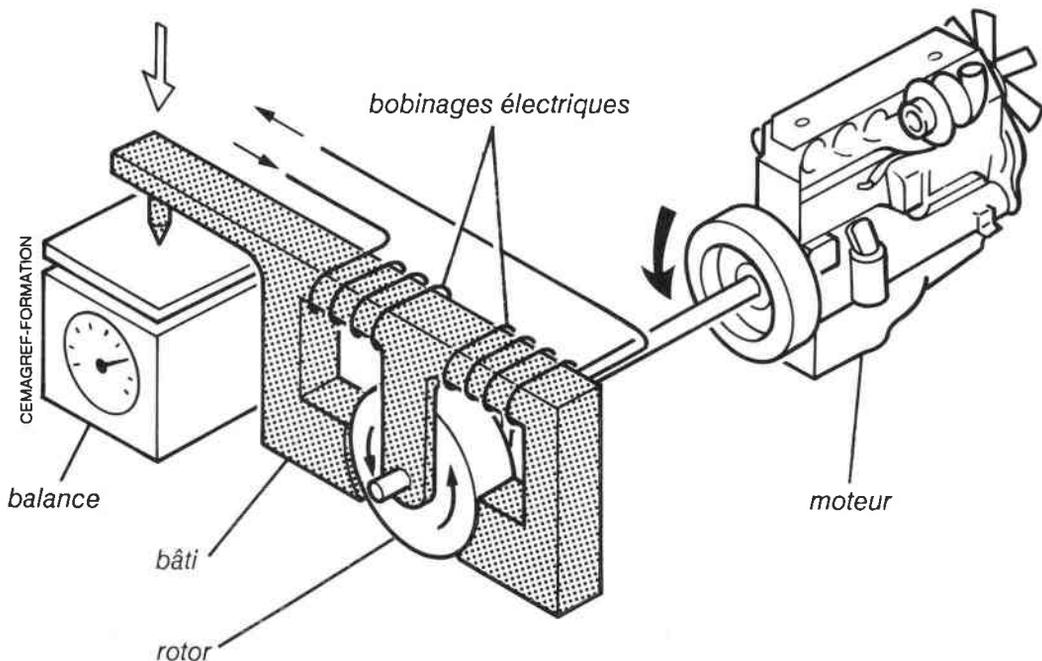


Fig. 283 — Principe d'un frein dynamométrique.

La figure 284 montre la **courbe du couple** d'un moteur diesel en fonction de sa vitesse de rotation. Cette courbe est réalisée à partir de plusieurs points mesurés avec un frein dynamométrique selon une procédure qui peut-être résumée de la manière suivante : la commande d'accélérateur du moteur ou plutôt la commande du régulateur de la pompe d'injection est préalablement placée en position maximale et à charge nulle, de manière à connaître la vitesse maximale autorisée par le régulateur. L'essai consiste à accroître progressivement le freinage du moteur et à noter les valeurs de couples mesurées et les vitesses de rotation correspondantes.

Aussi en observant la courbe de couple (fig. 284) de droite à gauche, on remarque une montée rapide qui correspond à la zone **d'action du régulateur**, puis une élévation plus lente jusqu'au couple maximal et enfin une retombée qui indique la surcharge du moteur et une perte de régime pouvant aller jusqu'au calage.

La zone d'action du régulateur indique la plage pendant laquelle le régulateur corrige automatiquement le débit de la pompe d'injection. Cette zone correspond au **degré d'irrégularité du régulateur**.

Le couple maximal et la vitesse correspondante sont des caractéristiques importantes qui figurent sur la plupart des fiches techniques.

Cette analyse ne prend en compte que la courbe de couple obtenue lorsque la commande du régulateur est placée en position maximale. Lors des essais des tracteurs agricoles, des mesures complémentaires sont effectuées « à **accélération partielle** ».

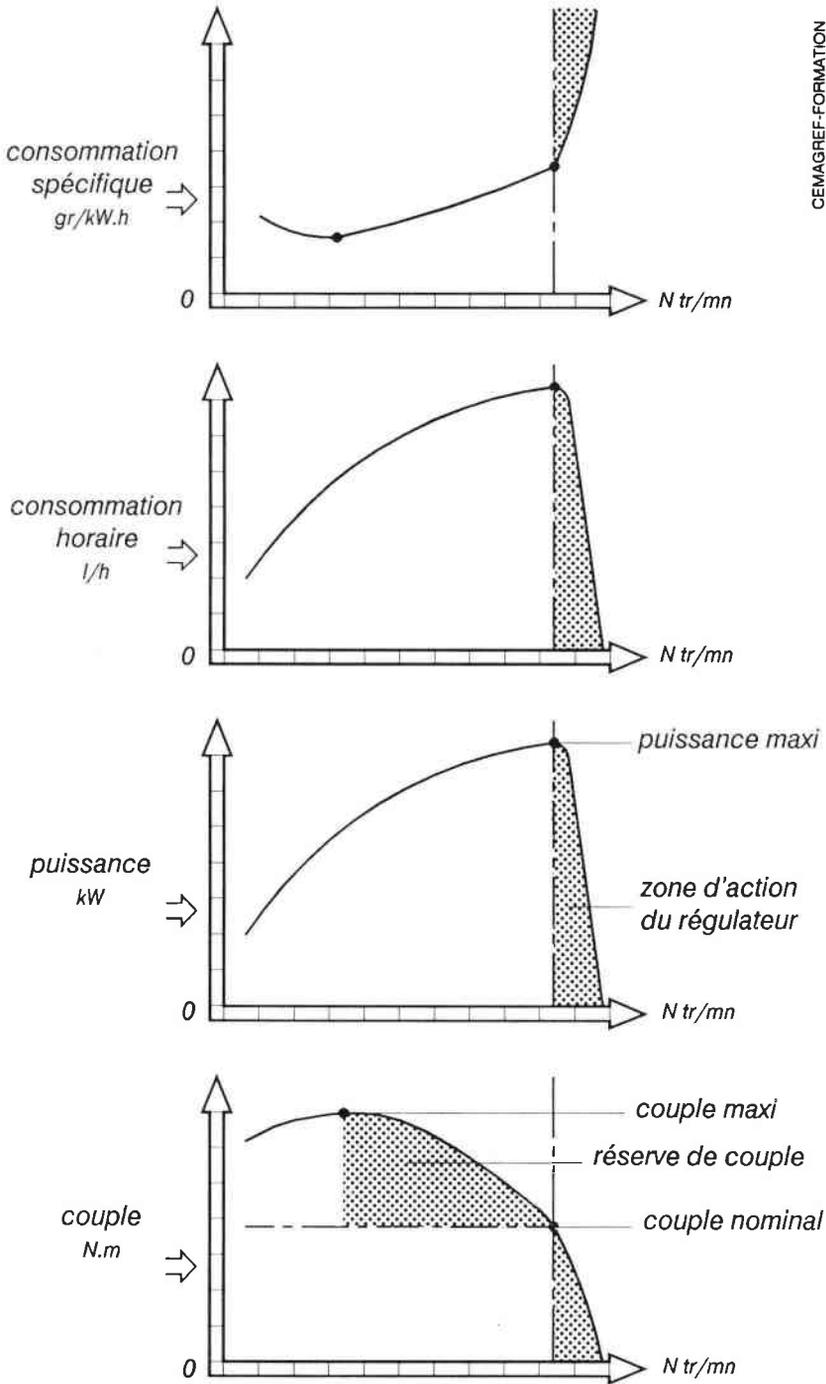


Fig. 284 – Courbes caractéristiques d'un moteur diesel.

Le **couple nominal** d'un moteur, est le couple qu'il fournit lorsqu'il fonctionne à sa puissance nominale.

## • LA PUISSANCE :

Le terme puissance, appliqué aux moteurs, recouvre deux données très différentes : **la puissance administrative et la puissance réelle** :

- **La puissance administrative** ou puissance fiscale, exprimée en chevaux fiscaux, est calculée par l'administration pour la classification des véhicules et la détermination des taxes.

- **La puissance réelle** est la puissance mécanique développée réellement par un moteur. Elle est exprimée en watts ou en kilowatts et elle est le produit arithmétique du couple par la vitesse angulaire ( $\omega$ ) correspondante :

$$\text{Puissance (kW)} = \frac{\text{Couple (N.m)} \times \omega}{1\,000}$$

La vitesse angulaire ou vitesse de rotation doit être distinguée de la vitesse lue sur les tachymètres (régime du moteur) qui s'exprime en tours par minute (tr/mn). La vitesse angulaire  $\omega$  (oméga) s'exprime en radians par seconde (rd/s).

Un tour ou  $360^\circ$  équivaut à  $2\pi$  radian, et un tour par minute à  $\frac{2\pi \text{ rd/s}}{60}$ .

La puissance peut aussi s'écrire :

$$P \text{ (watts)} = \text{Couple (N.m)} \times \frac{2\pi \text{ N}}{60} \text{ (tr/mn)}$$

La courbe de puissance représentée à la figure **284** montre, de droite à gauche, une montée très rapide vers le **point de puissance maximale** puis une retombée plus lente. Notons que ce point de puissance maximale correspond à la limite de la **zone d'action du régulateur** (en dehors de l'action éventuelle d'un **correcteur de débit**), à un régime nettement supérieur à celui du couple maximal.

La **zone d'action du régulateur**, indiquée en pointillés à la figure **284**, est la conséquence du **degré d'irrégularité du régulateur**, (se reporter aussi au chapitre : les moteurs, les pompes d'injection et les régulateurs).

- **La puissance nominale** est la valeur maximale de la puissance d'un moteur obtenue au **régime nominal**. Elle correspond aussi à la puissance indiquée par le constructeur, pour l'utilisation continue et normale du moteur. Un moteur donné peut équiper des matériels différents avec un réglage de puissance nominale différent.

Pour certains tracteurs, la puissance maximale peut-être obtenue à un régime inférieur à celui du régime de coupure (voir plus loin : les moteurs à plage de « puissance constante »).

- **Le régime nominal d'un moteur** est son régime de fonctionnement à la puissance nominale. Il correspond en général au régime de coupure du régulateur de la pompe d'injection.

#### • **LA RÉSERVE DE COUPLE** (fig. 284) :

Caractéristique souvent énoncée pour l'appréciation des performances des moteurs diesel industriels et de tracteurs agricoles, elle indique, en pourcentage, la réserve de couple qu'un moteur dispose lorsqu'il fonctionne à sa puissance nominale :

$$\% \text{ Réserve de couple} = \frac{\text{Couple maximal} - \text{Couple à la puissance nominale}}{\text{Couple à la puissance nominale}} \times 100$$

Exemple : un moteur ayant un couple de 300 Nm à la puissance nominale et un couple maximal de 390 Nm, dispose d'une réserve de couple de :

$$\frac{390 - 300}{300} \times 100 = 30 \%$$

La réserve de couple permet au moteur de supporter une augmentation ponctuelle de charge, sans que le conducteur soit obligé de changer de vitesse, en traction, ou de débrayer l'avancement lors de travaux à la prise de force. Une faible réserve de couple nécessite un nombre de rapports de vitesse plus élevé. Selon les cas, les moteurs de tracteurs peuvent présenter une réserve de couple qui peut varier d'un modèle à l'autre de 5 à 50 % ; les valeurs comprises entre 15 et 35 % sont considérées comme bonnes et au delà de 35 % comme très bonnes, mais peu fréquentes, (se reporter aussi au chapitre suivant : l'utilisation des tracteurs, performances et caractéristiques, critères de choix).

#### • **LA PLAGE D'UTILISATION :**

La plage d'utilisation d'un moteur correspond à la variation de régime qu'il subit lorsqu'il est amené à mettre en oeuvre toute sa réserve de couple, (se reporter aussi au chapitre suivant : l'utilisation des tracteurs, performances et caractéristiques, critères de choix).

Prenons l'exemple d'un moteur dont le régime nominal est de 2 300 tr/mn et dont le régime de couple maximal est de 1 600 tr/mn, sa plage d'utilisation est :

$$2\ 300 - 1\ 600 = 700 \text{ tr/mn}$$

- **LES MOTEURS A PLAGE DE « PUISSANCE CONSTANTE »** (fig. 285) :

Il s'agit de moteurs dont la courbe de puissance, au lieu de présenter un sommet pointu, est aplatie sur une plage pouvant dépasser 500 tr/mn. Cette caractéristique présente l'intérêt de **maintenir au travail un niveau élevé de puissance** malgré une variation sensible du régime de rotation du moteur. Elle est la conséquence **d'une gestion appropriée du débit de la pompe d'injection** (combinaison de l'action du régulateur et d'un correcteur de débit) et de l'adaptation judicieuse du turbocompresseur, de manière à maintenir un **produit arithmétique couple-vitesse** (c'est-à-dire une puissance) le plus élevé possible, pour une plage de vitesse donnée.

En réalité, dans cette plage, la courbe de puissance ne présente pas toujours une puissance rigoureusement constante, mais plutôt légèrement croissante ou décroissante, selon les moteurs.

La figure **285** montre les courbes de deux moteurs A et B, ayant chacun une puissance nominale comparable. La courbe de puissance du moteur A est classique, tandis que celle du moteur B présente une plage de puissance contrôlée avec une courbe de débit de la pompe d'injection nettement différente.

- **LA CONSOMMATION HORAIRE** (fig. 284) :

La consommation des moteurs diesel, exprimée en litres par heure (l/h), est mesurée pendant l'essai au frein **dynamométrique**.

La courbe représentée par la figure **284** montre que la consommation horaire est fonction de la puissance développée par le moteur.

- **LA CONSOMMATION SPÉCIFIQUE ET LE RENDEMENT :**

La consommation spécifique indique, pour chaque kW fourni par le moteur, la consommation de carburant en grammes par heure. La consommation spécifique a pour unité le g/kW.h et elle se calcule par la relation :

$$C_s = \frac{1\,000 \times V_h \times M_v}{P}$$

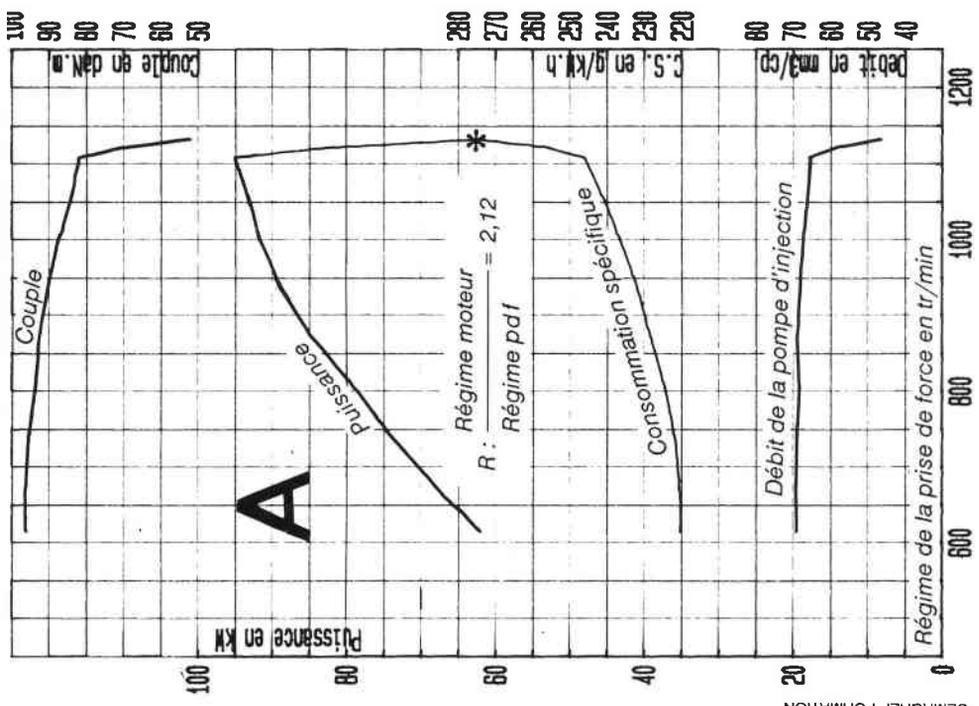
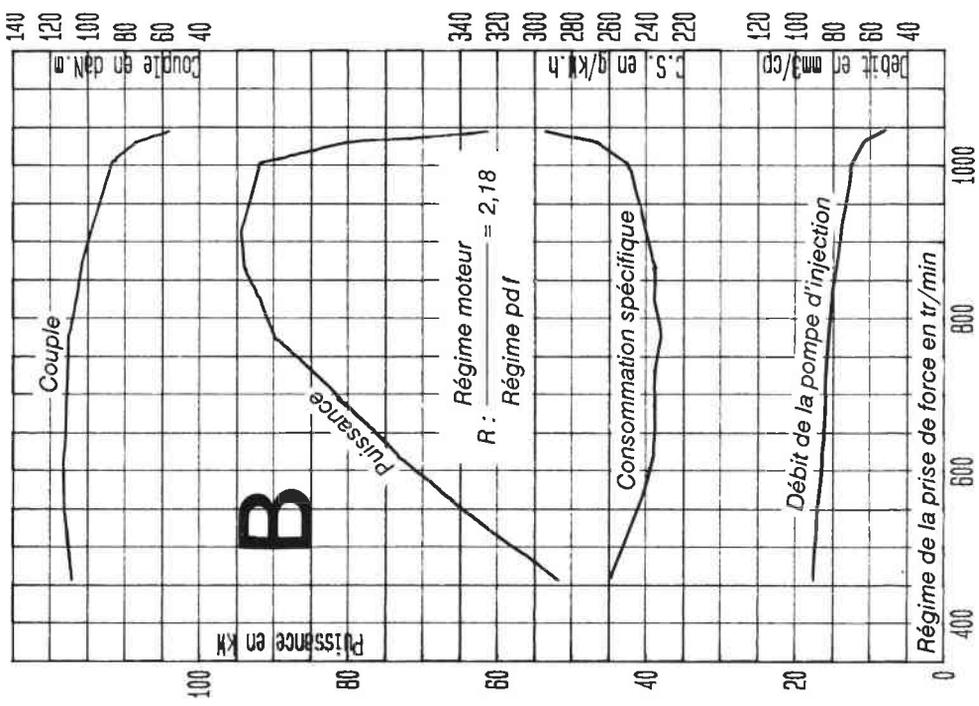
$C_s$  : consommation spécifique (g/kW.h).

$V_h$  : consommation horaire (l/h).

$M_v$  : masse volumique du carburant.

$p$  : puissance (kW).

La courbe représentée à la figure **284** montre que la consommation spécifique est la plus faible dans la zone du **couple** maximal.



CEMAGREF-FORMATION

Fig. 285 — Comparaison des courbes de deux moteurs à plages de puissance différentes.

La consommation spécifique est une expression du rendement du moteur, puisqu'elle permet de comparer l'énergie absorbée (grammes de carburant ayant un pouvoir calorifique connu) avec l'énergie mécanique restituée par le moteur (kW.h).

Précisons toutefois que le rendement est habituellement indiqué en valeur décimale ou en pourcentage. Pour les moteurs diesel, le rendement peut-être lié approximativement à la consommation spécifique, par la relation :

$$R \% = \frac{82}{C_s} \times 100$$

R % : Rendement.

Cs : Consommation spécifique g/kW.h.

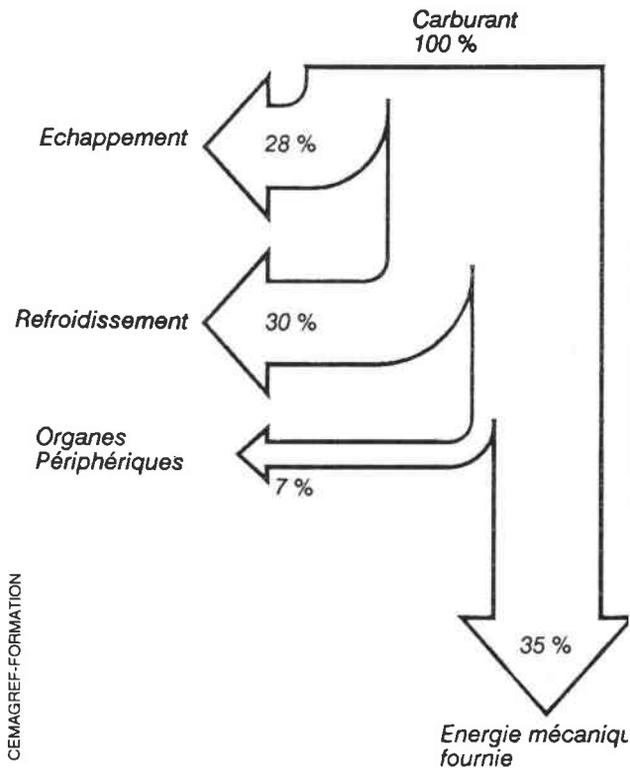
**Plus la consommation spécifique est faible et meilleur est le rendement.**

Le moteur parfait qui transformerait totalement l'énergie qu'il consomme et qui aurait donc un rendement de 100 %, n'existe pas. Le fonctionnement des moteurs thermiques se traduit inévitablement par **des pertes thermiques directes, des pertes thermiques indirectes et des pertes mécaniques** (fig. 286) :

– **Les pertes thermiques directes** sont celles qui résultent de la chaleur échangée dans les systèmes de refroidissement et à l'échappement.

– **Les pertes thermiques indirectes** sont essentiellement produites par les frottements internes du moteur qui se transforment aussi en chaleur dans l'huile et le circuit de refroidissement.

– **Les pertes mécaniques** sont celles qui découlent de l'entraînement des organes indispensables au fonctionnement du moteur : pompe à huile, distribution, pompe à eau, ventilateur, pompe d'injection.



CEMAGREF-FORMATION

Fig. 286 – Bilan énergétique d'un moteur diesel (conditions optimales d'utilisations).

35 %, ce qui signifie que ces moteurs ne transforment réellement que 35 % de l'énergie qu'ils consomment. **Cette valeur correspond à une utilisation optimale et elle peut être sensiblement plus faible si le moteur est mal utilisé, mal réglé ou mal entretenu,** (se reporter aussi au chapitre suivant : l'utilisation des tracteurs, performances et caractéristiques, critères de choix).

L'énergie perdue se répartit en moyenne de la manière suivante (fig. 286) : 30 % dans le refroidissement (eau ou air, rayonnement, huile), 28 % dans l'échappement, 7 % pour l'entraînement des organes.

Les laboratoires de recherche s'efforcent d'améliorer le rendement des moteurs thermiques, notamment par **l'optimisation de la combustion**. Ces recherches, bien qu'indispensables, sont très onéreuses et le pourcentage d'amélioration du rendement que l'on peut espérer dans un avenir proche est de l'ordre de 5 %.

Cela dit, **l'amélioration du rendement** des moteurs est synonyme **d'économies d'énergie** et dans ce domaine le rôle de l'utilisateur est prépondérant. En effet, à quoi cela servirait-il que les bureaux d'études intensifient leurs recherches, si les utilisateurs n'améliorent pas leur façon d'utiliser les moteurs ? (se reporter aussi au chapitre : l'analyse des coûts et l'utilisation des tracteurs).

## • LES NORMES D'ESSAIS :

L'essai des moteurs et la définition de leurs caractéristiques requièrent une instrumentation coûteuse et une procédure d'essai bien précise, afin que les mesures effectuées par les industriels et les laboratoires soit comparables entre-elles. Cette procédure est définie par des normes et des codes d'essais établis par les organismes nationaux et internationaux.

Les principales normes d'essais des moteurs sont :

– **les normes S.A.E** (Society of Automotive Engineers) élaborées par les U.S.A.

– **les normes D.I.N** (Deutsche Industrie Norm) définies par l'Allemagne.

– **les directives C.E.E** (Communauté Economique Européenne).

– **les normes ISO** (International Organization for Standardization) qui sont l'harmonisation de diverses normes nationales.

– **les codes de l'OCDE** (Organisation pour la Coopération et le Développement Économiques) qui définissent les conditions d'essais des tracteurs agricoles. Par souci de clarté nous ne retiendrons que les codes normalisés de l'O.C.D.E qui sont par ailleurs les codes de référence pour 25 pays. Depuis 1959, date de première rédaction des normes, plus de 1 500 tracteurs ont été essayés.

Les essais menés dans le cadre des codes de l'OCDE pour les essais des tracteurs reçoivent une approbation officielle à condition que le **Centre de Coordination** (confié en France au CEMAGREF) reconnaisse que l'essai a été mené conformément aux pro-

cédures spécifiées dans les codes. Cette garantie de l'application scrupuleuse des règles assure **la stricte comparabilité des résultats obtenus**.

## • LES CODES DE L'OCDE :

Actuellement, il existe sept codes d'essais de l'OCDE pour les tracteurs :

### - Code I :

Code normalisé de l'OCDE pour les essais officiels de performance des tracteurs agricoles. L'approbation au titre du Code I comprend, à titre obligatoire, les essais suivants : puissance à la prise de force principale, puissance hydraulique et force de relevage, puissance en traction à la barre (tracteur non alourdi et alourdi), aire de virage et rayon de braquage, position du centre de gravité, freinage, bruit émis dans l'environnement.

### - Code II :

Code normalisé restreint de l'OCDE pour les essais officiels de performance des tracteurs agricoles. L'approbation au titre du Code II comprend, à titre obligatoire, les essais suivants (fig. 288) : puissance à la prise de force principale, puissance hydraulique et force de relevage, puissance en traction à la barre et la consommation (tracteur non alourdi).

### - Code III :

Code normalisé de l'OCDE pour les essais officiels des structures de protection des tracteurs agricoles (méthode dynamique), (fig. 287).

### - Code IV :

Code normalisé de l'OCDE pour les essais officiels des structures de protection des tracteurs agricoles (méthode statique).

### - Code V :

Code normalisé de l'OCDE pour la mesure officielle du bruit dans les structures de protection des tracteurs agricoles.



Fig. 287 — Essai dynamique de résistance d'une cabine de sécurité au CEMAGREF (Photo CEMAGREF)

#### Code VI :

Code normalisé de l'OCDE pour les essais des structures de protection montées à l'avant des tracteurs agricoles et forestiers à roues, à voie étroite.

#### Code VII :

Code normalisé de l'OCDE pour les essais des structures de protection montées à l'arrière des tracteurs agricoles et forestiers à roues, à voie étroite.

**Exécutés obligatoirement sur des matériels strictement de série, réglés suivant les tolérances admises par le constructeur, les essais OCDE portent sur la détermination des caractéristiques de fonctionnement à la prise de force et à la barre du tracteur, avec et sans masse d'alourdissement dans le cas d'essais réalisés selon le Code I, et uniquement sans masse d'alourdissement selon le Code II. La force de relevage et la puissance hydraulique sont également déterminées.**

Pendant toute la durée des essais, le moteur entraîne tous ces accessoires courants : ventilateur ou turbine de refroidissement, génératrice électrique, pompe hydraulique, compresseur,...

Les résultats obtenus au cours des essais portent donc sur les puissances que le tracteur peut réellement fournir.

#### LES ESSAIS DE PUISSANCE A LA PRISE DE FORCE (fig. 288) :

Le principe consiste à actionner un frein dynamométrique avec la prise de force du tracteur. Au cours des essais, on procède aux mesures de vitesse, de couple, de consommation, température ambiante, pression atmosphérique et températures de fonctionnement du moteur : refroidissement, huile, carburant et air d'admission.

Les valeurs de couples mesurées à la prise de force sont traduites en **couple équivalent moteur**. Le couple équivalent moteur est égal au quotient du couple mesuré à la prise de force, par le rapport de la transmission moteur-prise de force.

Compte tenu des pertes de transmission, le couple équivalent moteur est inférieur au couple réel du moteur.

#### Les essais se déroulent en cinq phases (fig. 288) :

**Un essai de deux heures à la puissance maximale,**

**Un essai à la vitesse nominale du moteur**, réalisé avec la manette de commande du régulateur dans la position permettant d'obtenir la puissance maximale du moteur, à la vitesse nominale. Cet essai est conduit à charge croissante jusqu'à atteindre un régime inférieur d'au moins 15 % au régime du couple maximal,





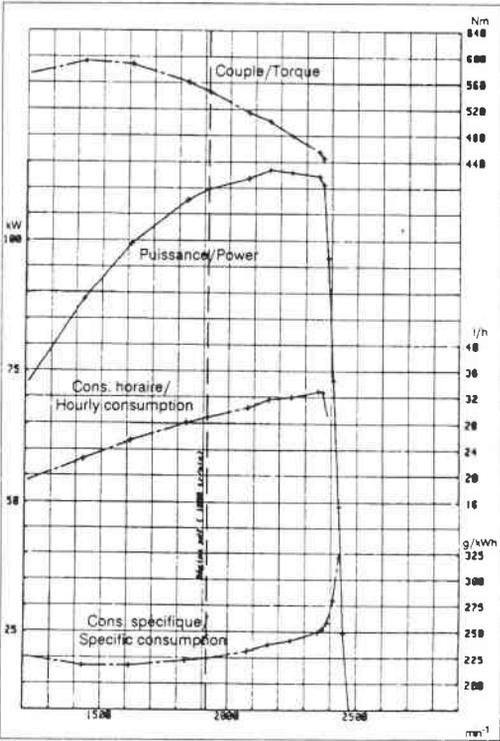
1 . 1289 - CODE RESTREINT/RESTRICTED CODE - 17/10/1990  
 2 . CEMAGREF - Antony - FRANCE

3	. 06/03/1990 - 21.0 °C - 102.6 kPa
4	. 113.5 kW - min <sup>-1</sup> - 1126 min <sup>-1</sup>
5	. 31.67 l/h - 238 g/kWh
6	. 113.5 kW - min <sup>-1</sup> - 1126 min <sup>-1</sup>
7	. 31.67 l/h - 238 g/kWh
8	. 96.7 kW - 2387 min <sup>-1</sup> - 1245 min <sup>-1</sup>
9	. 29.30 l/h - 258 g/kWh
10	. 49.2 kW - 2431 min <sup>-1</sup> - 1268 min <sup>-1</sup>
11	. 18.55 l/h - 322 g/kWh
12	. 2492 min <sup>-1</sup> - 1300 min <sup>-1</sup>
13	. 110.0 kW - 1919 min <sup>-1</sup> - 1001 min <sup>-1</sup>
14	. 29.00 l/h - 225 g/kWh
15	. 94.0 kW - 1937 min <sup>-1</sup> - 1937 min <sup>-1</sup>
16	. 25.30 l/h - 230 g/kWh
17	. 48.2 kW - 1984 min <sup>-1</sup> - 1035 min <sup>-1</sup>
18	. 15.33 l/h - 272 g/kWh
19	. 2056 min <sup>-1</sup> - 1073 min <sup>-1</sup>
20	. 455.7 Nm
21	. 593.1 Nm - 1430 min <sup>-1</sup>

22	. 16.9-28 - 20.8-38 - 2760 mm	
23	Non alourdi	Alourdi
24	6145 kg	
25	103.0 kW 30.6 kN 12.72 km/h   34.1 kN 57.6 kW 2.13 km/h	

26	. - 1 - Oui/Yes
27	. 47.8 kN - 43.7 kN
28	. 33.0 l/min - 16.4 MPa - 9.0 kW
29	. 46.7 l/min - 16.0 MPa - 11.7 kW

30	. RENAULT
31	. 175-74 TZ
32	. R 3852
33	. 4 RM/WD - Standard
34	RENAULT AGRICULTURE 7, rue Dewoitine - B.P. 92 F - 78141 VELIZY VILLACOUBLAY CEDEX
35	. M. W. M. - TD 226-B6
36	. Injection directe/Direct injection
37	. 6 - en ligne/in line - 6234 cm <sup>3</sup> - 105.0 x 120.0 mm
38	. Oui/Yes - 2350 min <sup>-1</sup>
39	. à eau/by water
40	. Monodisque à sec/Dry single plate
41	. Mécanique/Mechanical
42	. 4 rapports/gears
43	. Néant/None
44	. 4 gammes/ranges - Néant/None 24 vitesses avant/forwards gears - 8 arrière/reverse 2.38 à/to 31.21 km/h
45	. Indépendante/Independent
46	. Multidisque humide/Wet multi-plate
47	.   1000 min <sup>-1</sup>
48	.   1226 min <sup>-1</sup> - 1.9170
49	.   35 mm - 21



- **Un essai de puissance maximale au régime normalisé de la prise de force,**

- **Deux essais à des charges partielles ;** le premier est réalisé avec la manette de commande du régulateur dans la position permettant d'obtenir la puissance maximale du moteur, à la vitesse nominale. Cinq charges partielles sont définies à partir du couple de référence (I), qui correspond à la puissance maximale relevée à la vitesse nominale. Les couples représentatifs de ces charges partielles sont :

- un couple (II) correspondant à 85 % du couple de référence (I), décrit ci-dessus,
- un couple (III) correspondant à 75 % du couple (II),
- un couple (IV) correspondant à 50 % du couple (II),
- un couple (VI) correspondant à 25 % du couple (II),
- sans charge.

Le second essai à charges partielles est réalisé avec la manette de commande du régulateur dans la position permettant d'obtenir la **puissance maximale au régime normalisé de la prise de force**. Les mesures sont alors réalisées pour les six valeurs précitées ci-dessus, mais en prenant comme référence le **couple correspondant à la puissance maximale au régime normalisé de la prise de force**.

- **LES ESSAIS DE PUISSANCE HYDRAULIQUE ET D'EFFORT DE RELEVAGE** (fig. 288 et 289) :

Les essais hydrauliques sont réalisés à une température d'huile de 65° C (+ ou - 5° C), avec une position de la manette du régulateur permettant d'obtenir la puissance maximale, au régime nominal du moteur.

- **L'essai de puissance hydraulique :**

Il consiste à déterminer la puissance hydraulique disponible aux prises auxiliaires du tracteur, par des mesures de pression et de débit. Les valeurs indiquées sont :

- la pression entretenue avec le limiteur de pression ouvert,

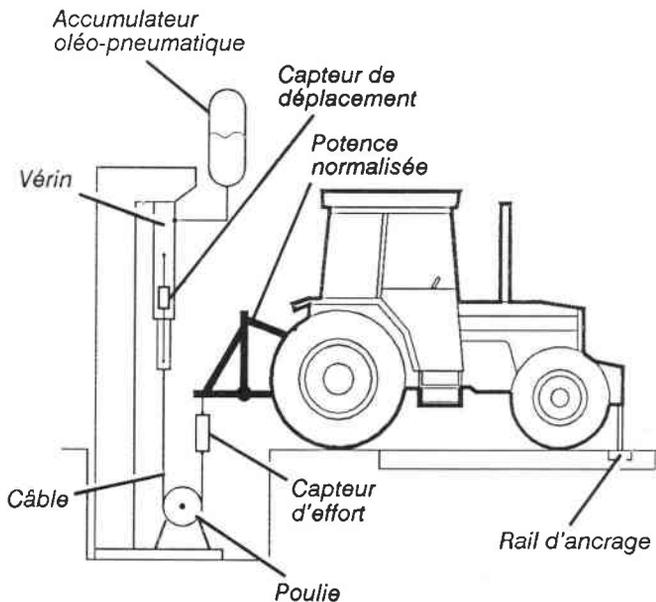


Fig. 289 – Principe d'un banc d'essai pour le relevage hydraulique.

- le débit et la puissance hydraulique correspondant à une pression équivalente à 90 % de la pression de pleine ouverture du limiteur de pression,
  - le débit et la pression hydraulique correspondant à la puissance hydraulique maximale.
- **L'essai de la force du relevage** (fig. 288 et 289) :

Il est réalisé d'une part au niveau des bras inférieurs du relevage, et d'autre part au niveau d'une potence normalisée simulant l'attelage trois points d'un outil (fig. 289). Les valeurs enregistrées pendant l'essai sont les efforts maximaux que peut exercer le relevage dans toutes les positions d'une course complète.

La valeur maximale d'effort retenue est la valeur la plus faible enregistrée sur toute la course, pondérée par la plus faible des deux valeurs de pression relevées à la puissance hydraulique maximale ou à 90 % de la pression de pleine ouverture du limiteur de pression.

Cette valeur permet de connaître le poids de l'outil le plus lourd susceptible d'être soulevé par le tracteur.

#### LES ESSAIS DE PUISSANCE DE TRACTION A LA BARRE (fig. 288 et 290) :

La puissance à la barre est le produit de la composante horizontale de l'effort de traction à la barre par la vitesse d'avancement. Notons qu'une puissance élevée ne correspond pas forcément à un grand effort de traction. Par exemple, on peut obtenir une puissance de 30 kW pour un effort de traction à la barre de 5 000 N à 22 m/h ou pour un effort de 10 000 N à 2,2 km/h.

Les essais de puissance et d'effort de traction sont réalisés sur une piste horizontale, sèche, revêtue de béton ou de « tarmac ». Le tracteur à essayer est attelé à un véhicule-frein par l'intermédiaire d'une barre dynamométrique (fig. 90). Pour une monte de pneumatiques donnée et pour chaque rapport de



Fig. 290 — Essai de traction au CEMAGREF : le tracteur est relié au véhicule-frein par une barre dynamométrique (Photo CEMAGREF).

vitesse, on détermine la **puissance maximale de traction avec un glissement maximal de 15 %**, tracteur non alourdi (Codes I et II) et alourdi (Code I). Au cours de l'essai on mesure le régime du moteur, la consommation de carburant, la vitesse d'avancement, l'effort de traction, la puissance et le glissement.

La **puissance de traction est limitée, pour les rapports lents par l'adhérence, et pour les rapports rapides par la puissance du moteur.**

• **LES AUTRES CARACTÉRISTIQUES :**

— **La voie** (fig. 291) :

Distance qui sépare les axes des traces laissées sur le sol par les deux roues opposées d'un même essieu.

— **L'empattement** (fig. 291) :

Distance entre la ligne des points d'appui au sol des roues arrière et la ligne des points d'appui des roues avant.

— **La garde-au-sol** (fig. 291) :

Hauteur libre entre le point le plus bas du châssis ou de la structure du tracteur et le sol.

— **Le rayon de l'espace de virage et le rayon de braquage :**

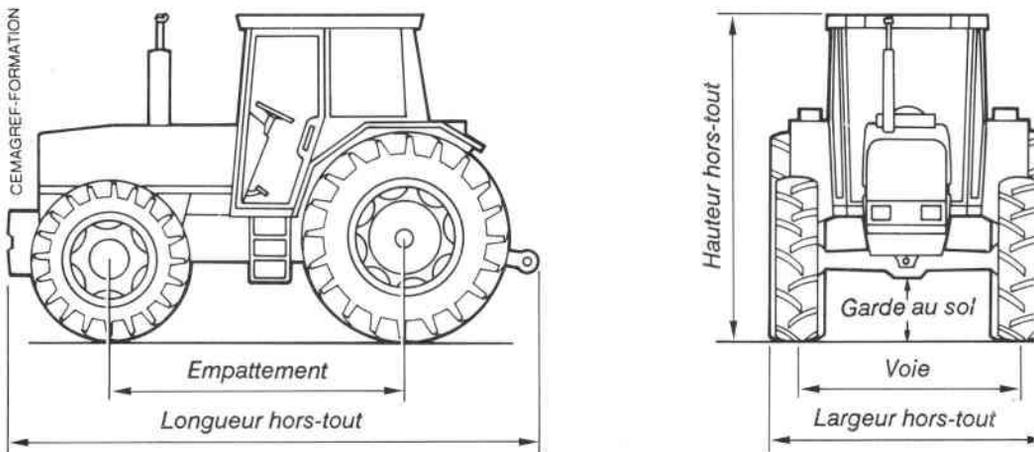


Fig. 291 – Les dimensions principales d'un tracteur.

Le rayon de l'espace de virage est le rayon du cercle décrit en virage par la partie du tracteur la plus éloignée du centre du virage. Le rayon de braquage est le rayon du cercle décrit au sol par la trace de la roue la plus éloignée de l'axe du virage.

– **La position du centre de gravité et les moments d'inertie :**

La position du centre de gravité (horizontale et verticale) et les moments d'inertie sont des données indispensables pour caractériser la **stabilité** d'un véhicule. Au CEMAGREF, un banc de mise en oscillation (balancelle) permet, par la méthode du pendule, de déterminer ces caractéristiques à partir de nombreux relevés traités informatiquement.

La position du **centre de gravité** ou **centre d'inertie** est surtout indiquée pour les tracteurs étroits, elle dépend de la répartition des dispositifs d'alourdissement et des équipements fixés au tracteur.

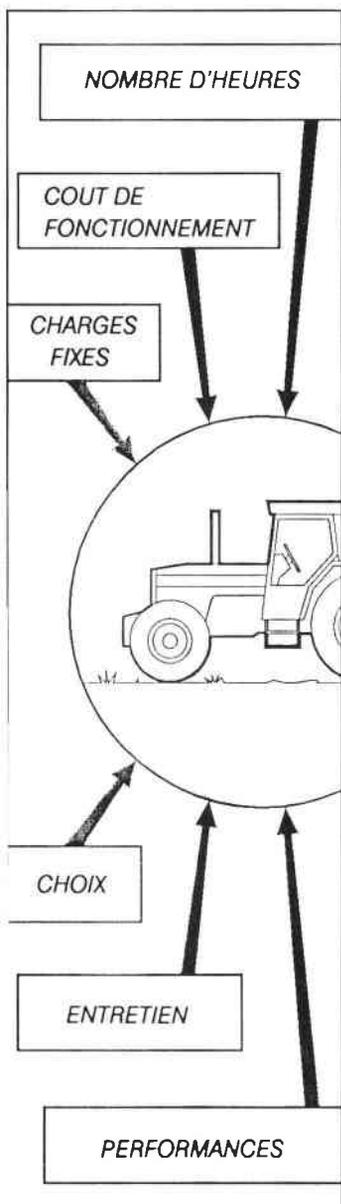
– **Le PTAC (poids total autorisé en charge) :**

Somme de la masse à vide et de la charge utile d'un véhicule, définie par un organisme officiel de réception (service des mines).

– **Le PTRAC (poids total roulant autorisé en charge) :**

**Somme des PTAC d'un véhicule tracteur et de sa remorque**, définie par un organisme officiel de réception (service des mines).





- Le coût d'utilisation des tracteurs .. 325
- L'analyse du coût d'utilisation ..... 328
- Le calcul prévisionnel des charges fixes ..... 329
- Le calcul prévisionnel du coût de fonctionnement ..... 330
- Le calcul du coût prévisionnel d'utilisation ..... 331
- Les tracteurs, repères et enjeu énergétique ..... 332
- Performances et caractéristiques, critères de choix ..... 335
- Bien choisir et bien utiliser l'ensemble tracteur-outil ..... 339
- Les principes de base de la conduite économique ..... 340
- La nécessité de l'entretien du matériel ..... 343
- Le contrôle des performances des tracteurs ..... 344



Travail du sol et semis avec tracteur équipé de pneumatiques de grande largeur  
(Photo CASE IH).

Ce chapitre tente de rassembler les éléments couramment utilisés pour cerner les aspects économiques liés à l'utilisation des tracteurs. Il n'a pas la prétention de répondre aux problèmes multiples et complexes relatifs à la conduite des exploitations agricoles : maîtrise des charges, choix des équipements en fonction des systèmes de cultures, des surfaces cultivées et des disponibilités de main-d'œuvre.

Rappelons d'ailleurs qu'il n'existe pas encore d'outil (informatique ou autre) pour le traitement individuel des choix et itinéraires techniques des exploitations. Cependant des études effectuées par différents organismes (se reporter à l'annexe documentaire), permettent de recueillir les éléments qui constitueront les outils d'aide à la décision tant attendus.

Précisons aussi que les différentes approches mises en oeuvre pour réduire les coûts ne sont pas uniquement d'ordre technologiques, mais aussi sociologiques, juridiques et fiscales.

• LE COÛT D'UTILISATION DES TRACTEURS :

La détermination du coût d'utilisation d'un tracteur nécessite la prise en compte de deux catégories de charges : **les charges fixes** annuelles et **les charges de fonctionnement**.

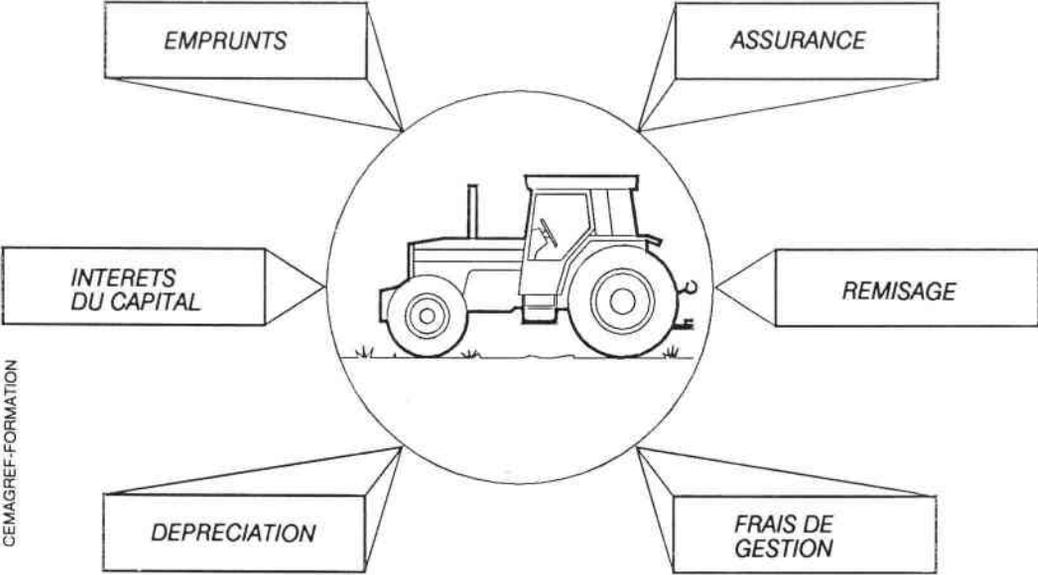


Fig. 292 – Les charges fixes ou charges de structure.

— **Les charges fixes annuelles** (fig. 292) :

**Le tracteur, comme la plupart des investissements, coûte même s'il n'est pas utilisé :**

- sa valeur diminue d'année en année,
- son acquisition génère des emprunts qu'il faut rembourser avec intérêts,
- les sommes engagées dans l'auto-financement représentent un capital dont le revenu est perdu (intérêts des sommes équivalentes, placées).
- il faut l'assurer, l'abriter et supporter des frais de gestion.

Les charges fixes ou **charges de structures** sont calculées en valeurs annuelles à partir du **taux d'amortissement moyen**.

— **Le coût horaire de fonctionnement** (fig. 293) :

Chaque heure de fonctionnement, le tracteur consomme du carburant et des lubrifiants, use des pneumatiques et nécessite des fournitures (filtres...). D'autre part son

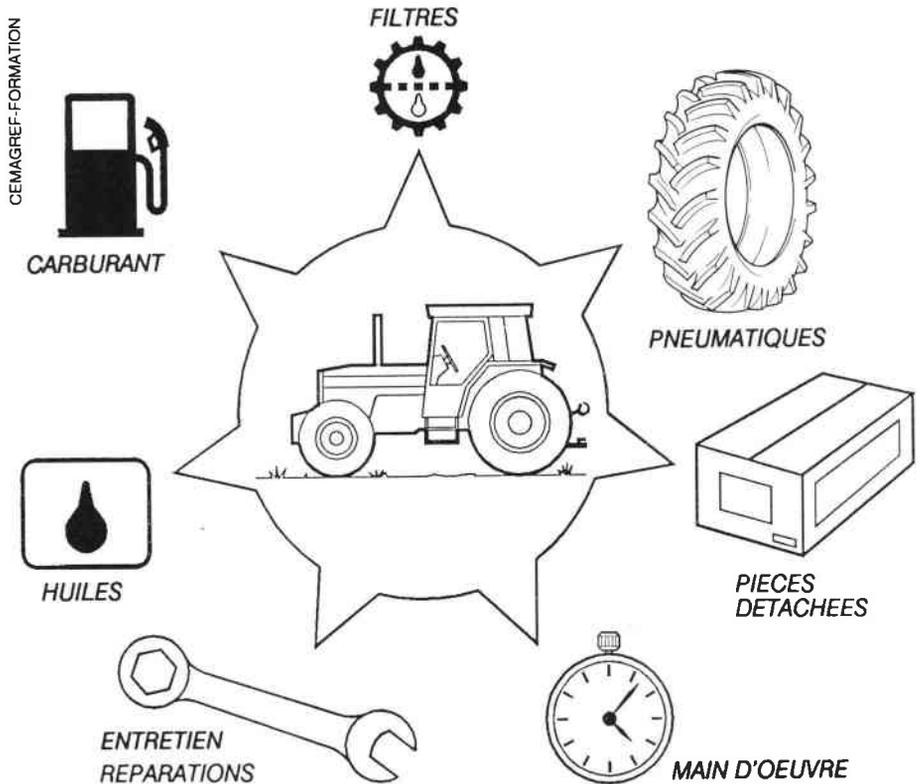


Fig. 293 — Les charges de fonctionnement.

entretien régulier réclame de la main d'oeuvre et ses réparations entraînent des frais : heures de mécanicien et coût des pièces détachées.

Le coût d'utilisation horaire et annuel peut-être déterminé par deux méthodes différentes appelées **coût comptable** et **coût prévisionnel** :

- **Le coût comptable** est établi à la fin de chaque exercice annuel, à partir des enregistrements comptables des dépenses et des durées d'utilisation. Il est précieux car il permet :

- de contrôler le comportement du matériel et son degré d'usure, en comparant les frais de réparation d'une année sur l'autre,
- d'établir le coût de revient de certaines productions,
- de vérifier l'utilité de la propriété d'un matériel sur l'exploitation, ou au contraire de justifier sa vente et d'opter pour l'utilisation en CUMA ou les services d'un entrepreneur,
- de facturer éventuellement l'utilisation du matériel comme le font les CUMA,
- de recueillir les références indispensables pour le calcul des coûts prévisionnels,
- de contrôler, le cas échéant, le bon comportement des conducteurs.

**En revanche, le coût comptable présente aussi des imprécisions :**

- la valeur réelle du matériel en début et fin d'exercice n'est pas connue : il en va de même pour l'amortissement et l'intérêt du capital, sauf en cas de vente en cours d'exercice,
- le montant précis des frais divers n'est également pas connu,
- les consommations précises de fioul et de lubrifiant sont rarement déterminées s'il y a plusieurs tracteurs dans l'exploitation, à moins de disposer d'un volucompteur pour faire le plein et d'enregistrer les quantités,
- les factures des marchands-réparateurs ne sont pas toujours détaillées par matériel, ce qui enlève des possibilités de contrôle.

Précisons que **la saisie des éléments du coût comptable** va connaître une évolution importante, grâce au développement des systèmes informatiques embarqués. Les utilisateurs pourront alors disposer d'informations précises recueillies pratiquement en temps réel.

Malgré tout, pour établir actuellement certains postes du coût comptable, on est donc obligé d'utiliser :

- soit des **valeurs moyennes** aussi appelées « **valeurs standards** », comme pour la consommation de fioul,
- soit des **calculs théoriques**, comme pour l'amortissement. On utilise alors les mêmes méthodes que pour le calcul du **coût prévisionnel**.

- **Le coût prévisionnel** est le calcul théorique du coût d'utilisation d'un tracteur que l'on possède ou non ; pour un travail futur, ou un travail passé si la comptabilité courante ne le permet pas.

Le gestionnaire a besoin de connaître les dépenses prévisionnelles qu'entraîne l'utilisation d'un tracteur et du matériel qui lui est attaché afin :

- de pouvoir comparer et choisir entre plusieurs possibilités d'équipement,
- de prévoir les coûts de production,
- de pouvoir faire des devis et facturer en cours d'exercice (cas d'un entrepreneur),
- d'établir des barèmes : banque de travail, cercle de machines, entraides... Dans une banque de travail, par exemple, on sera bien obligé de compter de la même façon deux tracteurs équivalents, c'est-à-dire, faisant le même travail, alors que leurs coûts réels peuvent-être très différents.

Pour établir un coût prévisionnel, **il faut des références** qui proviennent d'enregistrements ou d'études, et **une méthode de calcul**.

#### • **L'ANALYSE DU COÛT D'UTILISATION :**

On peut calculer le coût prévisionnel d'utilisation d'un matériel donné en tenant compte de son prix réel et de la valeur prévisible des dépenses qu'elle entraînera : par exemple, 12 litres d'huile pour la vidange du moteur toutes les 150 heures au prix exact où l'huile est payée. Il s'agit alors d'une véritable **comptabilité analytique** qui nécessite une connaissance détaillée de tous les postes. Or le coût prévisionnel est nécessairement un coût approché puisqu'on peut ignorer presque tout du destin réel du tracteur concerné. Une grande précision est alors illusoire et il vaut mieux se contenter d'une méthode simple et rapide en utilisant, pour le calcul, **des paramètres dont la valeur est connue et confirmée par l'expérience du passé**.

Le Bureau de Coordination du **Machinisme Agricole (BCMA)** dispose de données qui concernent les frais d'entretien, de réparation, de pneumatiques et autres fournitures ou services. Ces données sont obtenues grâce au réseau « RESUMA » qui permet le suivi informatique d'un nombre important de tracteurs et autres matériels.

Les **Fédérations des CUMA** bénéficient également de telles données à partir de l'analyse de leurs comptabilités. Ces données représentent le **coût réel d'utilisation** des matériels. Un logiciel MECAGEST (se reporter aux annexes documentaire et adresses utiles), permet une ventilation des charges et des produits, par matériel. L'ensemble des informations ainsi obtenues pour chacun des matériels sont ensuite centralisées dans **une banque de données**, ou elles peuvent servir de base à plusieurs fonctions :

- détermination précise des coûts d'utilisation,
- élaboration de coûts prévisionnels,
- analyser les causes de variation des coûts de revient,

- analyser les conditions d'utilisation des matériels,
- aider au choix d'équipements et à leur utilisation,
- analyser les critères de gestion.

– **La détermination des coûts standards :**

Les coûts standards sont obtenus en appliquant la méthode de calcul à la valeur moyenne des tracteurs d'une même catégorie, par exemple : « tracteurs deux roues motrices de 50 à 55 kW ».

Tous les ans le BCMA effectue le calcul des coûts standards de la plupart des matériels utilisés en France et les publie dans la presse au printemps. Une disquette avec un programme de calcul (tableur) est également diffusée avec mise à jour annuelle des paramètres de calcul (se reporter aux annexes documentaire et adresses utiles).

Cette méthode de détermination des coûts standards est une approche nationale globale ; en conséquence elle peut différer selon les contextes régionaux : pression du marché, niveau d'obsolescence des matériels, valeur de remplacement, ...

• **LE CALCUL PRÉVISIONNEL DES CHARGES FIXES :**

– **L'amortissement :**

L'amortissement est calculé selon une méthode dégressive, en appliquant à la valeur résiduelle un taux de dépréciation annuel lié à la durée et au rythme d'utilisation. L'amortissement diminue d'année en année.

DÉTERMINATION DU TAUX D'AMORTISSEMENT ET DE LA VALEUR RÉSIDUELLE EN FONCTION DE LA DURÉE D'UTILISATION						
Durée d'utilisation	1 à 5 ans 25 %		4 à 7 ans 20 %		plus de 7 ans 15 %	
	A %	Vr %	A %	Vr %	A %	Vr %
1 <sup>re</sup> année	25,0	75,0	20,0	80,0	15,0	85,0
2 <sup>e</sup> année	18,7	56,3	16,0	64,0	12,7	72,3
3 <sup>e</sup> année	14,1	42,2	12,8	51,2	10,9	61,4
4 <sup>e</sup> année	10,6	31,6	10,2	41,0	9,2	52,2
5 <sup>e</sup> année	7,9	23,7	8,2	32,8	7,8	44,4
6 <sup>e</sup> année	—	—	6,6	26,2	6,7	37,7
7 <sup>e</sup> année	—	—	5,2	21,0	5,7	32,0
8 <sup>e</sup> année	—	—	4,2	16,8	4,8	27,2
9 <sup>e</sup> année	—	—	—	—	4,0	23,2
10 <sup>e</sup> année	—	—	—	—	3,5	19,7

A % = amortissement en %, Vr % = Valeur résiduelle en %

Pour une valeur d'achat donnée (VA) et un nombre d'années d'utilisation (n), la valeur résiduelle (VR) est égale à  $VA \times Vr \%$  et l'amortissement moyen (AM) est égal à :

$$AM = \frac{VA - VR}{n}$$

Le nombre d'années est généralement choisi de façon à ne pas dépasser 6 000 heures car au delà, l'expérience montre qu'en moyenne, les frais dûs à de grosses réparations augmentent fortement.

#### – L'intérêt du capital :

Pour l'estimation de l'intérêt du capital (I), on détermine d'abord la valeur moyenne du matériel (VM) à laquelle on applique le taux d'intérêt choisi (i %).

$$VM = \frac{VA + VR}{2} \quad \text{et} \quad I = VM \times i \% \quad \text{ou} \quad I = \frac{VA + VR}{2} \times i \%$$

#### – Les frais divers :

Les frais divers comprennent le remisage, l'assurance, les frais de gestion.... Ils sont estimés à **1 % de la valeur d'achat du tracteur.**

### • LE CALCUL PRÉVISIONNEL DU COÛT DE FONCTIONNEMENT :

#### – Le carburant :

La consommation horaire de carburant d'un moteur diesel à sa puissance nominale est de l'ordre de 260 g par kW.h, soit environ 0,31 litres par kW.h (environ 0,23 l/ch.h).

Le taux de charge moyen généralement observé étant de 50 % on peut finalement retenir une consommation moyenne de 0,16 litres par kW.h (0,12 litres par ch.h).

Pour des travaux lourds et réguliers tels que le labour, le taux de charge peut être de 70 ou 80 %.

#### – Les lubrifiants :

On peut calculer avec précision la dépense d'huile du moteur à partir de la capacité du carter et de la fréquence des vidanges. La consommation d'huile des moteurs, entre deux vidanges, est d'environ le quart de la précédente.

Il est plus délicat de prévoir la dépense entraînée par les autres lubrifiants, mais l'expérience montre que l'ensemble des dépenses (huile moteur, huile de transmission et hydraulique, filtres) s'élève en moyenne à **25 % de la dépense de carburant.**

## — Les pneumatiques, l'entretien et les réparations :

La vie des pneumatiques est de l'ordre de 3 000 heures, avec de grandes différences selon les types de sol, l'utilisation, etc.

Là encore, les coûts standards issus de l'expérience permettent de situer l'ensemble des dépenses liées aux pneumatiques, à l'entretien et aux réparations à **0,5 pour 10 000 de la valeur d'achat du tracteur neuf par heure de fonctionnement.**

Pour d'autres machines, cette valeur varie et peut atteindre par exemple 3 à 4 pour 10 000 de la valeur d'achat par heure de fonctionnement pour une ensileuse automotrice.

## • LE CALCUL DU COÛT PRÉVISIONNEL D'UTILISATION :

A partir des données ci-dessus, prenons l'exemple d'un tracteur à quatre roues motrices de 60 kW (80 ch) :

— Valeur d'achat 220.000 FHT

— intérêt du capital 10 % = 0,1

— utilisation 700 heures par an (tous travaux)

— prix du fioul 2 F le litre

— durée escomptée : 9 ans (dépréciation 15 %)

— valeur résiduelle selon le tableau ci-dessus :

$$VR = \frac{220\,000 \times 23,2}{100} = 51\,040 \text{ F}$$

### — Calcul du montant des charges annuelles fixes :

Amortissement annuel moyen	$\frac{220\,000 - 51\,040}{9}$	= 18 773 F
----------------------------	--------------------------------	------------

Intérêt du capital	$\frac{220\,000 + 51\,040}{2} \times 0,1$	= 13 552 F
--------------------	---	------------

Frais divers	$220\,000 \times 1\%$	= 2 200 F
--------------	-----------------------	-----------

<b>TOTAL DES CHARGES FIXES ANNUELLES</b>		<b>= 34 525 F HT</b>
--	--	----------------------

— **Calcul du coût horaire de fonctionnement :**

Carburant :  $60 \text{ kW} \times 0,16 \text{ l/h} \times 2 \text{ F/l} = 19,20 \text{ F/h}$

Lubrifiant :  $\frac{19,20 \times 25}{100} = 4,80 \text{ F/h}$

Pneumatiques, entretien et réparations :  $220\,000 \text{ F} \times \frac{0,5}{10\,000} = 11,00 \text{ F/h}$

**Coût horaire total de fonctionnement : 35,00 F HT/h**

**Le coût total d'utilisation du tracteur est égal à la somme des charges fixes et des charges de fonctionnement, soit :**

— **en valeurs annuelles :**

$$34\,525 \text{ F} + (35 \text{ F/h} \times 700 \text{ h}) = 59\,025 \text{ F}$$

— **en valeurs horaires :**

$$\frac{34\,525 \text{ F}}{700} + 35 = 84,32 \text{ F}$$

Cet exemple montre clairement que le coût total d'utilisation d'un tracteur, comme de tout autre matériel, est étroitement lié au nombre d'heures de travail annuel : **le même tracteur utilisé 500 heures par an reviendrait à 104,05 F/h, soit un coût plus élevé de 23,4 %.**

**Le nombre d'heures annuelles d'utilisation des tracteurs étant très différent d'un système de production à un autre, il convient de ne pas généraliser des chiffres qui n'ont qu'une valeur d'exemple.**

• **LES TRACTEURS, REPÈRES ET ENJEU ÉNERGÉTIQUE :**

L'énergie est vecteur de tout développement. Le tracteur agricole, élément central de la mécanisation, permet par la combustion de carburant, le plus souvent du fioul, de produire l'énergie mécanique nécessaire à l'entraînement des outils. Des recherches sont réalisées en France et dans d'autres pays pour l'utilisation de bio-carburants, (se reporter au chapitre : les moteurs, l'utilisation des bio-carburants en agriculture).

En France, la consommation de fioul des tracteurs et automoteurs agricoles s'élève à 2,5 milliards de litres par an. L'analyse des consommations intermédiaires de l'agriculture montre que les produits pétroliers représentent en 1989, 8,4 milliards de francs, soit 40 % de la valeur des engrais consommés, ou 60 % des produits phytosanitaires (ces deux postes de consommation d'énergie dépendent eux-même des produits pétroliers).

Le poste carburant-lubrifiant d'une exploitation agricole peut représenter de 5 000 F à 30 000 F ; en 1989, la moyenne française était de 8 260 F.

Les prix à la production suivent une tendance régressive. Le principal moyen d'augmenter ou de maintenir le revenu de l'agriculture est donc la réduction des charges. Les contraintes liées à la conjoncture et à l'environnement peuvent entraîner une modification des dépenses en engrais et en produits phytosanitaires, mais elles s'accompagnent de variations de recettes difficiles à prévoir, liées aux conditions climatiques. L'énergie directe est donc l'un des rares postes encore compressible dans ce secteur essentiel pour l'équilibre du commerce extérieur national.

La part de l'énergie agricole consommée par les tracteurs est variable en fonction des orientations technico-économique des exploitations. En moyenne, les tracteurs représentent 52 % de la consommation professionnelle (cf. le tableau ci-après) :

Type de production	Part des tracteurs dans la consommation professionnelle
Grandes cultures	67 %
Polyculture-élevage	59 %
Horticulture et cultures pérennes	22 %
Production fourragère et élevage	58 %
Élevages intensifs hors-sol	11 %
Moyenne des productions	52 %

L'analyse économique montre également l'importance du carburant qui représente 20 à 30 % du coût horaire, en fonction du **taux de charge** et de la part des charges financières (fig. 294).

Pour un tracteur de 73 kW fonctionnant 700 heures par an avec un coût total horaire de 102 F/h, économiser 20 % de carburant revient à économiser 4,50 F/h, soit 3 150 F/an.

A l'échelle nationale, économiser ne serait-ce que 10 % de carburant, ce qui est tout à fait envisageable, représenterait 250 millions de litres de fioul par an.

#### — Choisir un tracteur adapté aux besoins :

Le tracteur doit répondre à la demande de puissance des outils. Inversement, il n'y a aucun intérêt à utiliser un tracteur trop puissant.

Il n'est pas justifié d'acquérir un tracteur plus puissant pour une utilisation réduite

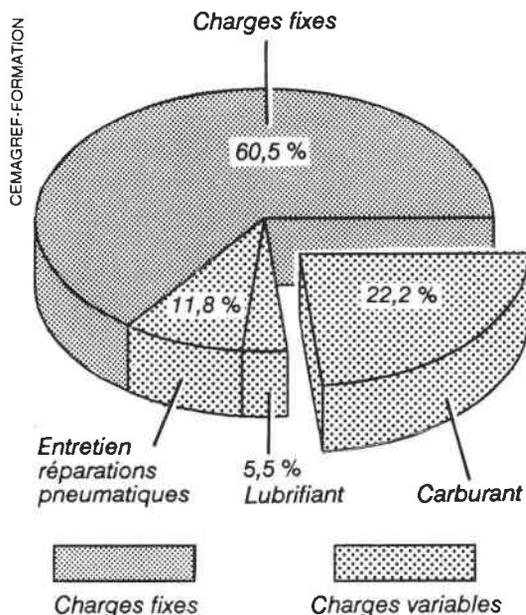


Fig. 294 — La part du carburant dans le coût horaire d'un tracteur.

en durée sans modifier complètement son parc de machines attelées. Avant de se décider, il faut calculer le temps d'utilisation de cette puissance nécessaire, et la surface concernée, en vue d'évaluer :

- les charges fixes en francs/hectare et en francs/heure (amortissement, intérêt du capital, assurance et remisage).
- les charges variables en francs/hectare et en francs/heure (réparations, carburant, lubrifiants, filtres, pneumatiques).
- la main-d'œuvre en francs/hectare.

En consultant le recueil des coûts prévisionnels du BCMA, il est possible de comparer le coût d'un tracteur et de ses équipements que l'on utilise à titre individuel, avec d'autres solutions telles que :

- les services d'une CUMA (Coopérative d'Utilisateurs de Machines Agricoles),
- les prestations d'un entrepreneur de travaux agricoles,
- la location du matériel,
- la co-utilisation d'un matériel avec un voisin.

**Il n'est jamais économique d'avoir un tracteur de trop grosse puissance pour effectuer des travaux ponctuels**, à moins que les charges fixes ne soient supportées par plusieurs exploitants.

Le sur-équipement peut coûter cher en charges fixes. Des logiciels de simulation ou de diagnostic (se reporter aux annexes documentaire et adresses utiles) montrent qu'un tracteur surpuissant entraîne une diminution du résultat d'exploitation due à une augmentation des charges de mécanisation.

Mais, il faut aussi être certain d'exécuter les travaux correctement pendant le temps imparti qui peut être notablement inférieur au temps du calendrier, en raison des intempéries. Ce besoin de profiter au maximum des jours propices justifie un certain sur-équipement apparent.

Il est possible de réduire les charges :

- **en adaptant son parc motorisé** en limitant le nombre et la puissance des tracteurs en exploitation individuelle, en tenant compte des matériels existants sur l'exploitation avant de décider l'achat de nouveaux matériels, (les matériels neufs et performants sont très coûteux, les ventes d'occasion s'effectuent souvent avec des décotes importantes).
- **en adoptant des techniques culturales** simplifiées mettant en oeuvre des outils combinés afin de réduire le nombre de passages.
- **en répartissant l'utilisation des tracteurs** de grosse puissance sur une surface plus importante, grâce à leur utilisation en commun (CUMA, cercle de machine...), ou en co-propriété.

## • PERFORMANCES ET CARACTÉRISTIQUES, CRITÈRES DE CHOIX :

Le tracteur et son parc de machines doivent constituer un ensemble homogène.

Pour être sûr de choisir un tracteur adapté à ses véritables besoins, il est préférable de connaître entre autres, les performances du moteur et les caractéristiques de la boîte de vitesse (nombres de rapports, étagement).

### — Connaître la consommation du moteur :

La consultation des courbes caractéristiques du moteur est très utile, (fig. 295) car elle permet de connaître les performances du moteur à pleine charge et au régime normalisé de la prise de force : couple, puissance, consommation horaire et consommation spécifique, (se reporter au chapitre : caractéristiques et performances des tracteurs).

Ces courbes permettent d'analyser le fonctionnement du moteur et de le comparer, le cas échéant, à un autre ; elles sont établies lors des essais officiels par le CEMAGREF et les autres stations d'essais de l'OCDE.

Outre la publication des fiches officielles d'essais, citons trois autres documents utiles : le recueil appelé « **consommation de carburant des tracteurs agricoles** », diffusé par le CEMAGREF et l'AFME, la **base de données « iger »** de PERFAGRI 92 et le « **tractoguide** » diffusé par l'ACTA et le BCMA. Ces documents mis à jour régulièrement, présentent la consommation à la puissance nominale et aux charges partielles définies par les normes, ainsi que les caractéristiques des tracteurs commercialisés en France, (se reporter à l'annexe documentaire).

Par exemple, on cherche à acquérir un tracteur de 68 kW environ, et l'on prévoit un planning prévisionnel d'utilisation de 700 heures par an dont 300 heures à charge élevée et, 400 heures à charge légère. La consultation de ces documents permet de mieux choisir entre un tracteur A et un tracteur B :

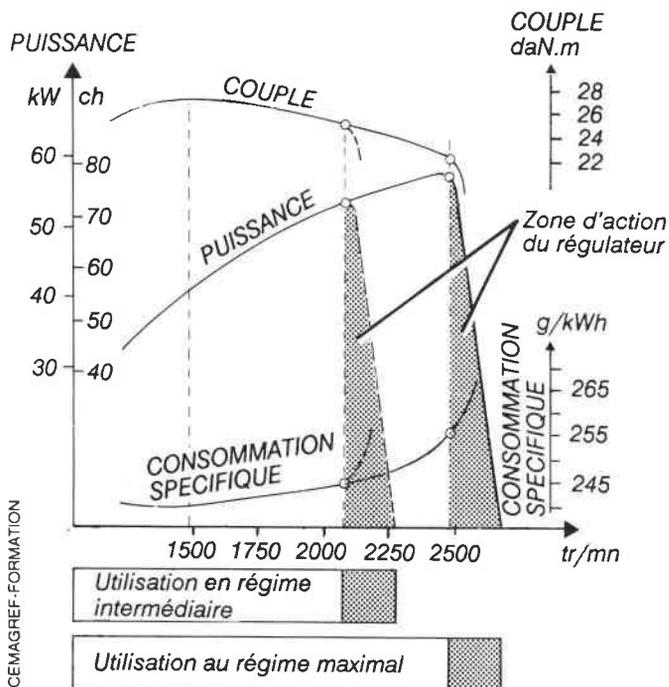


Fig. 295 — Courbes caractéristiques à régime intermédiaire.

Essai de deux heures à la puissance maximale			Consommation à charge partielle		
Tracteur	Puissance (kW)	Régime (tr/mn)	Consommation spécifique (g/kW.h)	A charge élevée (l/h)	A charge légère (l/h)
A	68	2 200	255	18,46	11,80
B	67,6	2 461	253	20,15	13,08

Le tableau ci-dessus montre que ces 2 tracteurs sont très voisins au niveau de la puissance maximale et de la consommation spécifique ; mais les consommations à charge partielle diffèrent sensiblement. Dans l'hypothèse d'une utilisation du tracteur selon le planning défini, le calcul théorique des consommations annuelles s'établit de la façon suivante :

– tracteur A :

$$18,46 \text{ l/h} \times 300 \text{ h} + 11,80 \text{ l/h} \times 400 \text{ h} = 10\,258 \text{ litres}$$

– tracteur B :

$$20,15 \text{ l/h} \times 300 \text{ h} + 13,08 \text{ l/h} \times 400 \text{ h} = 11\,277 \text{ litres}$$

Pour l'hypothèse retenue, le choix du tracteur A peut entraîner une économie de carburant estimée à 1 019 litres par an, par rapport au tracteur B.

Rappelons que ces estimations sont basées sur un matériel correctement réglé et entretenu. Dans le cas contraire, des excès de consommation de 15 à 20 % peuvent être enregistrés.

- Apprécier la réserve de couple (fig. 296) :

La réserve de couple permet au tracteur de supporter une surcharge passagère, (se reporter au chapitre : les caractéristiques et les performances des tracteurs). Une faible réserve de couple nécessite un nombre de rapports de vitesse plus grand. Selon les cas, les moteurs de tracteurs présentent une réserve de couple qui peut varier d'un modèle à l'autre de 5 à 50 % ; les valeurs comprises entre 15 et 35 % sont considérées comme bonnes

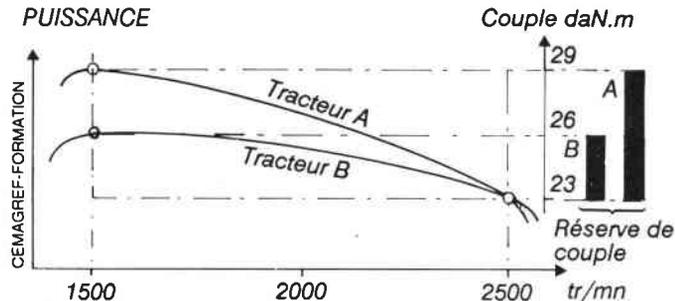


Fig. 296 – Deux moteurs semblables peuvent avoir une réserve de couple différente.

et au delà de 35 % comme très bonnes.

**Attention, la comparaison de réserves de couple exprimées en pourcentage n'est possible que pour des moteurs ayant un régime nominal comparable.**

Pour surmonter un passage difficile, demandant un effort de traction supplémentaire, le tracteur A est mieux adapté que le tracteur B : **sa réserve de couple est plus importante, 26 % contre 13 % (fig. 296).** Il « encaissera » mieux les variations d'efforts sans changer de vitesse.

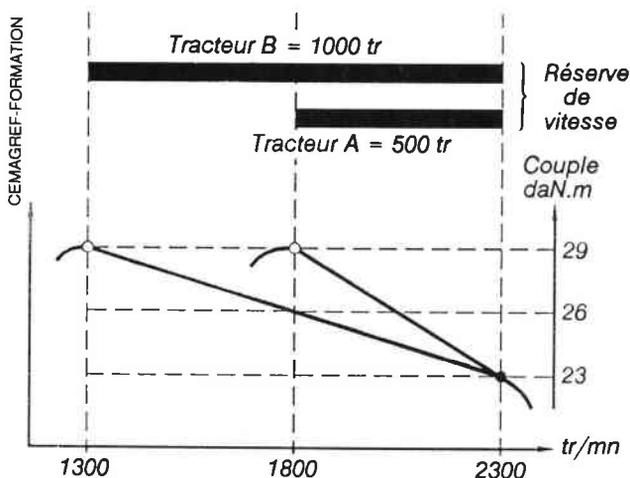


Fig. 297 – Deux moteurs semblables peuvent avoir une plage d'utilisation différente.

– **Tenir compte de la plage d'utilisation (fig. 297) :**

La plage d'utilisation d'un moteur correspond à la variation de vitesse qu'il subit lorsqu'il est amené à fournir toute sa réserve de couple.

Les courbes de la figure 297 montrent deux tracteurs A et B ayant respectivement une plage d'utilisation de 500 et 1 000 tr/mn. Ces deux tracteurs sont presque identiques : même puissance maximale, même régime nominal, même couple maximal, même réserve de couple (26 %).

Le meilleur choix étant lié à l'utilisation que l'on veut faire du tracteur, retenons trois types de travaux : **traction à la puissance nominale (labour, sous-solage...), prise de force à la puissance nominale (ensilage par exemple) et petits travaux de traction à puissance partielle.**

- **En traction à la puissance nominale** pour une opération de travail du sol, par exemple, le conducteur choisit un rapport de vitesse et règle la manette de régulateur au maximum de manière à travailler en début de raie au régime nominal, à 5 km/h, par exemple.

Si le travail du sol nécessite un effort plus important, le régime moteur va diminuer jusqu'à la valeur correspondant au nouvel effort. Pour un accroissement de charge correspondant à un couple moteur de 260 N.m, par exemple, le régime du tracteur A sera de 2 050 tr/mn et le B de 1 800 tr/mn. Le A et le B franchissent le passage difficile sans avoir à changer de rapport de vitesse, mais le tracteur A ira plus vite que le B, d'où un gain de temps.

- **A la prise de force à la puissance nominale** pour actionner une ensileuse par exemple, le régime normalisé des prises de force étant le plus souvent proche du régime

nominal du moteur, cette situation est analogue à la précédente. L'effort supplémentaire correspondant à une quantité plus importante de fourrage arrivant dans l'ensileuse, le tracteur A est plus intéressant que le B car il permet une meilleure constance de la vitesse d'avancement et du régime de rotation de la prise de force, donc une meilleure régularité du travail.

- **Pour les petits travaux de traction** correspondants à des charges partielles, il est préférable de travailler à un régime le plus réduit possible. Dans ces conditions, le tracteur B est plus intéressant car il est mieux adapté pour fonctionner à des régimes proches de 1 500 tr/mn.

Pour résumer, rappelons que les deux tracteurs possèdent la même réserve de couple de 26 %, mais avec une plage d'utilisation de 500 tr/mn pour le tracteur A, et 1 000 tr/mn pour le tracteur B. Le choix entre le tracteur A et le tracteur B s'effectue en fonction de l'utilisation prévisionnelle du tracteur : on choisit le tracteur A s'il est destiné à effectuer beaucoup de gros travaux, et le tracteur B s'il doit réaliser des tâches présentant des exigences de puissance variées. Noter que le tracteur A avec sa faible plage d'utilisation devra en principe posséder une boîte de vitesses plus étagée que le tracteur B.

Pour un tracteur polyvalent, une réserve de couple de 20 à 30 % et une plage d'utilisation de 800 à 1 000 tr/mn environ sont considérés comme acceptables. Le tracteur B est donc plus « polyvalent » que le A.

— **Connaître les caractéristiques de la boîte de vitesses :**

Un nombre suffisant de rapports de vitesse dans la zone de travail comprise entre 4 et 10 km/h permet d'adapter au mieux les caractéristiques du moteur aux différents travaux. Cela dit, un nombre élevé de vitesses n'est pas a priori le seul critère ; il faut aussi et surtout **prendre**

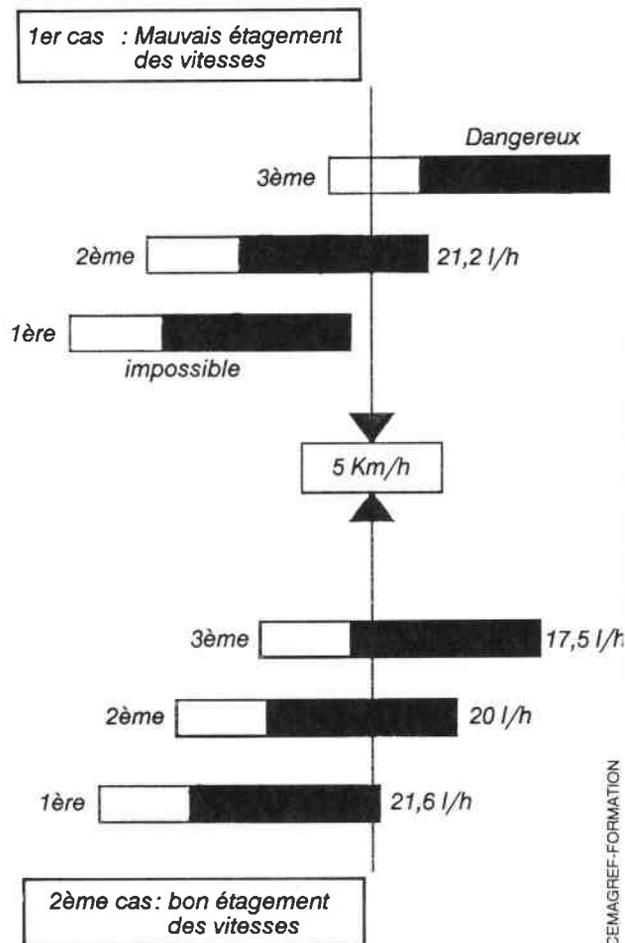


Fig. 298 — L'influence de l'étagement des rapports de vitesse.

**en compte leur étagement**, (se reporter aussi au chapitre : les transmissions mécaniques, l'étagement des vitesses). Il convient donc de bien analyser les données indiquées dans les documentations des constructeurs. Pour mieux comprendre, comparons deux tracteurs identiques (fig. 298) équipés de boîtes de vitesses différentes : pour chacun des rapports, la zone « blanche » correspond à une zone de forte surcharge du moteur :

**Dans le premier cas**, pour un travail de traction important, un seul rapport est possible ; il est à haut régime et avec une faible charge du moteur. **La consommation est élevée : 21,2 l/h.**

**Dans le second cas**, les trois rapports sont utilisables et il est possible d'adopter une « **conduite économique** », en choisissant le rapport et le régime qui permettent de limiter la consommation sans risquer de détériorer le moteur. Si la parcelle est plane et homogène, le conducteur choisit le 3<sup>e</sup> rapport, sinon il choisit le 2<sup>e</sup> ou le 1<sup>er</sup>, ce dernier lui offrant la possibilité d'utiliser toute la réserve de couple du moteur.

**Si la boîte de vitesses est accompagnée d'un amplificateur de traction ou d'un changement de rapport sous charge, le conducteur peut mieux gérer la puissance du moteur.**

## • BIEN CHOISIR ET BIEN UTILISER L'ENSEMBLE TRACTEUR-OUTIL :

Nous avons vu ci-dessus qu'il est possible de définir des critères de choix pour un tracteur en fonction de ses besoins. **Il faut aussi nécessairement que les outils soient adaptés au tracteur.** Le tracteur et l'outil travaillent ensemble et doivent être adaptés l'un à l'autre : taille du tracteur — taille de l'outil, voie du tracteur — largeur de travail de l'outil, choix de l'attelage et réglage, vitesse d'avancement, liaisons hydrauliques adéquates... etc.

Au niveau de la compatibilité des puissances, consulter les puissances de traction ou d'entraînement indiquées par les constructeurs d'outils attelés.

**Pour en savoir plus**, se reporter à l'annexe documentaire et particulièrement aux guides « choisir les outils... », édités par l'Institut Technique des Céréales et Fourrages (pour chaque outil, indication des valeurs moyennes : temps de travail/hectare, consommation en litres/hectares, puissance nécessaire selon la largeur de travail et le type de sol).

## — Adhérence, glissement et pertes par roulement :

Les pneumatiques doivent assurer, avec le maximum d'efficacité, la transformation du couple moteur en effort de traction avec un glissement le plus réduit possible (se reporter au chapitre « le contact roue-sol, les pneumatiques »).

Rappelons que le coefficient de traction dépend :

- de la charge verticale appliquée à chaque roue motrice,
- de la sculpture et du type de pneumatique,

- de la surface de contact avec le sol,
- de l'état et de la nature du sol.

Par définition, **le glissement est une source de gaspillage** car, pour parcourir une même distance, le nombre de tours de roues nécessaire augmente proportionnellement. **Le glissement entraîne une augmentation de la consommation de carburant, une usure accrue des pneumatiques et une détérioration de l'état du sol.**

**Les pertes par roulement** résultent de l'énergie dépensée par la pénétration du pneumatique dans le sol et par la déformation de sa carcasse. Rappelons que les pertes par roulement augmentent avec le poids adhérent.

Les pneumatiques des tracteurs modernes font l'objet de recherches coûteuses ayant pour objectifs : l'amélioration de l'adhérence et la réduction des dégradations des sols. Il appartient donc aux utilisateurs de veiller à la bonne adaptation des pneumatiques des matériels tractés et en particulier des remorques, afin d'éviter la situation abérante d'un tracteur muni de pneumatiques évolués, tractant une remorque de gros tonnage ayant des pneumatiques conçus uniquement pour la route.

Pour un pneumatique donné, **la pression de gonflage a une influence directe sur les pertes par glissement et roulement.** Il convient donc, pour chaque type de pneumatique, de respecter les pressions de gonflage prescrites par les constructeurs et manufacturiers en fonction de la charge par roue et de la vitesse d'avancement. Si l'état du sol le permet, les pertes par glissement peuvent être réduites en augmentant le poids adhérent par alourdissement ou lestage du tracteur. Sinon des équipements complémentaires doivent être utilisés (jumelage, roues-cages...).

Bien entendu et dans la mesure du possible, on doit limiter l'alourdissement et se servir des moyens mis à disposition par le constructeur pour augmenter dynamiquement l'adhérence du tracteur : **blocage du différentiel, reports de charge et contrôle d'effort du relevage hydraulique...**

## • LES PRINCIPES DE BASE DE LA CONDUITE ÉCONOMIQUE (fig. 299) :

Une conduite dite « **économique** » consiste tout simplement à prendre l'habitude d'adapter la puissance disponible à la puissance nécessaire ; elle relève en fait du bon sens et de la bonne utilisation des matériels. C'est une conduite normale plus « économique » en comparaison à celle habituellement pratiquée par un grand nombre de conducteurs.

Elle est basée sur l'analyse des courbes caractéristiques du moteur.

Cette analyse concerne plus précisément trois zones de fonctionnement : **la zone d'action du régulateur, la zone de pleine charge et la zone de « calage »**, (se reporter aussi au chapitre : les caractéristiques et les performances des tracteurs, figures 284 et 288) :

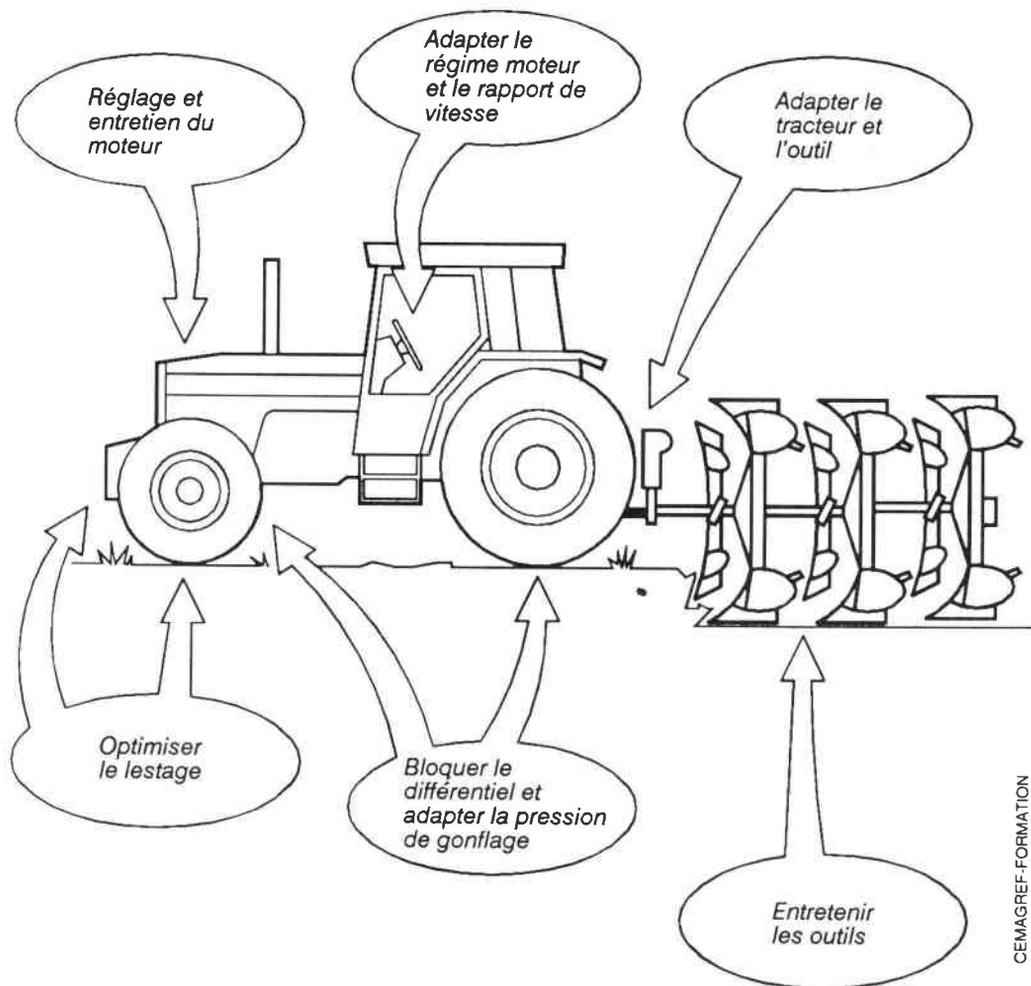


Fig. 299 — Les six règles anti-gaspillage.

· **La zone d'action du régulateur ou zone de charge partielle** est comprise entre le régime maximal et le régime nominal. Sur la plupart des moteurs, cette zone s'étend sur 150 à 200 tr/min au moteur. La consommation spécifique du moteur dans cette zone dépasse souvent 250 g/kWh pour atteindre 300 à 350 g/kWh à faible charge, soit des **rendements instantanés très médiocres**, pouvant être inférieurs à 23 %.

· **La zone de pleine charge** se situe entre le régime nominal et le régime de couple maximal. La consommation spécifique y est en général assez stable et passe par un minimum situé au voisinage du couple maximum. **La consommation spécifique minimale correspond au meilleur rendement énergétique** à un régime et une charge du moteur où l'ensemble des pertes est minimisé (combustion, échappements refroidissement, frottements,...). Les moteurs actuels ont une consommation spécifique minimale qui se situe près de 210 à 220 g/kWh.

- **La zone de calage** est située en dessous du régime de couple maximal. La charge demandée au moteur étant trop élevée, la baisse de régime s'accroît et peut conduire au calage. De plus, les organes du moteur sont soumis à des contraintes mécaniques trop élevées et la consommation spécifique se détériore.

### – Comment adapter la puissance disponible à la puissance nécessaire ?

L'analyse que nous venons de réaliser met en évidence une zone plus « économique » : **la zone de pleine charge**. Les deux autres zones sont déconseillées, dans la mesure du possible, car l'une entraîne un mauvais rendement du moteur et en conséquence une consommation élevée (zone d'action du régulateur) ; l'autre risque de causer de graves dégâts au moteur (zone de calage).

Les régulateurs des pompes d'injection des tracteurs sont des **régulateurs « toutes vitesses »** (contrairement à ceux des voitures diesels qui sont mini-maxi), c'est-à-dire qu'à chaque position de la manette d'accélération correspond un régime de régulation, donc un régime de début de coupure de la quantité de carburant injecté, et par conséquent, une puissance maximale disponible. A chaque position de l'accélérateur correspond donc une zone d'action du régulateur de 150 à 200 tours/minutes, sauf pour les moteurs à régulation électronique qui fonctionnent avec des écarts très faibles.

Selon le principe de l'action et de la réaction, la puissance du moteur est toujours égale à la puissance demandée. Au vu des courbes, la puissance du moteur peut être obtenue soit dans la zone d'action du régulateur avec une consommation spécifique élevée soit dans la zone de pleine charge, avec une consommation spécifique correcte. La deuxième solution est bien sûr préférable.

Examinons un exemple concret :

Nous souhaitons labourer une parcelle plane homogène, à une vitesse de 6 km/h. La boîte de vitesse du tracteur nous permet d'obtenir cette vitesse avec 3 rapports et des régimes moteur correspondants à : 1 600 tr/min, 2 000 tr/min et 2 200 tr/min (On suppose le régime du couple maximal à 1 400 tr/min, le régime nominal à 2 100 tr/min et le régime maximal à 2 300 tr/min). Pour obtenir ces régimes au travail, nous devons afficher après quelques essais des régimes maximaux à vide qui sont respectivement de 1 800 tr/min, 2 100 tr/min et 2 250 tr/min.

	Régime en charge	Consommation l/h	Régime à vide
1 <sup>er</sup> rapport	2 200 tr/mn	21,6 l/h	2 250 tr/mn
2 <sup>e</sup> rapport	2 000 tr/mn	20 l/h	2 100 tr/mn
3 <sup>e</sup> rapport	1 600 tr/mn	17,5 l/h	1 800 tr/mn

La zone d'action du régulateur étant de 200 tr/mn, les deux premiers rapports nous conduisent dans des zones d'action du régulateur charges partielles, avec des chutes de régimes faibles. Ce n'est qu'avec le 3<sup>e</sup> rapport que nous pouvons le mieux adapter la puissance disponible à la puissance nécessaire pour travailler à 6 km/h.

Ce dernier rapport nous permet de réaliser des économies de carburant d'environ 19 %, tout en effectuant le même travail (qualitatif et quantitatif).

En conclusion, l'objectif principal de la « conduite économique » est de faire fonctionner les moteurs, sans toutefois les surcharger, en dehors des zones d'action du régulateur. Cela implique d'adapter la « charge » à l'aide de la boîte de vitesses, de manière à faire chuter le régime de 150 à 200 tr/mn (différence entre les régimes « à vide » et « au travail »).

En fonction de l'hétérogénéité de la parcelle, le conducteur doit préserver une réserve de couple plus ou moins importante.

De plus en plus, l'**électronique embarquée** permet une aide à la conduite par l'affichage des paramètres ou des solutions de conduite. Toutefois, beaucoup de tracteurs agricoles en service ne bénéficient pas, vu leur âge, de ces équipements. Le conducteur doit alors faire appel à sa propre expérience, notamment pour le choix du rapport de vitesse et du régime moteur.

## • LA NÉCESSITÉ DE L'ENTRETIEN DU MATÉRIEL :

**L'entretien vise à maintenir, dans la mesure du possible, les mécanismes dans l'état où ils ont été conçus pour fonctionner.**

L'utilisateur averti qui fait effectuer l'entretien, les réglages ou les réparations nécessaires dans les meilleurs délais obtient, pour une faible dépense et une immobilisation du matériel de courte durée, une amélioration de l'adaptation de son tracteur au travail demandé (adéquation de la puissance du moteur aux machines et outils attelés), une réduction du coût de fonctionnement (réduction de la consommation), une diminution des frais d'entretien et de réparation ainsi qu'une diminution de la durée d'immobilisation que nécessitent les pannes importantes.

**L'entretien méthodique et régulier coûte moins cher que l'entretien de dernière minute. Il évite des pannes qui demandent des réparations immédiates et coûteuses, des immobilisations de matériel et, le cas échéant, des pertes ou des dégradations de récolte.**

### — L'entretien du tracteur :

**Effectuées selon les échéances prescrites dans le manuel d'utilisation du constructeur, les principales interventions d'entretien consistent à :**

- vérifier fréquemment les niveaux (huile, eau, électrolyte...),
- contrôler périodiquement la tension des courroies,
- surveiller la propreté des systèmes de refroidissement,
- remplacer : les éléments de filtres à air, les filtres à carburant, les filtres à huile des moteurs, les filtres à huiles des transmissions et les lubrifiants,
- contrôler souvent la pression des pneumatiques,
- vérifier les injecteurs des moteurs.

Un colmatage du filtre à air de 10 % peut à lui seul entraîner une surconsommation de 7 %. 20 % d'air aspiré en moins entraîne une surconsommation de 22 %.

#### – L'entretien des outils :

Il faut s'assurer de l'entretien ou du remplacement des organes de travail usagés, tels que les socs de charrues, les lames de cultivateurs ou les couteaux d'ensileuses. Si les couteaux sont régulièrement affûtés, et si l'écart entre les couteaux et les contre-couteaux est respecté, la consommation peut être réduite de 3 à 6 litres/heure et le temps de travail de 18 %.

Ceci est valable pour tous les outils tranchants, qui pénètrent le sol et broient des tiges. En perdant de leur efficacité, ils accroissent l'effort de traction et la demande de puissance, ce qui augmente la consommation. S'arrêter quelques instants pour entretenir et régler les outils est toujours rentable : ce temps investi offre en retour un travail de meilleure qualité (moins de bourrage, finesse et régularité de hachage dans le cas de l'ensilage).

Il convient pour chaque outil de bien choisir les équipements fonctionnels qui conviennent à chaque type de sol : socs, rasette, versoir, roue de jauge..., afin de limiter les frottements et d'obtenir la structure de sol recherchée.

### • LE CONTRÔLE DES PERFORMANCES DES TRACTEURS :

Parmi les différentes combinaisons utilisables pour le contrôle des performances des tracteurs, citons : les indicateurs de consommation adaptables ou intégrés, les systèmes d'aide à la conduite adaptables ou intégrés, les appareils de contrôle des moteurs et circuits hydrauliques, les bancs de puissance et le laboratoire mobile.

#### – Les indicateurs de consommation, adaptables ou intégrés :

Mesurer et comptabiliser le carburant est une première étape indispensable pour mieux gérer ce poste. Divers systèmes de comptage existent.

**Les pompes à badges** comptabilisent les quantités de carburant prises par des véhicules identifiés. Ce comptage, associé à celui embarqué sur le tracteur, permet d'analyser les consommations.

Par ailleurs, le plan comptable prévoit de distinguer les charges de carburant et de lubrifiant.



Fig. 300 — Vue d'un indicateur de consommation  
(Photo CEMAGREF-DICOVA).

L'**indicateur de consommation** (fig. 300) comprend un **capteur de débit** (fig. 301) et une **console d'affichage**. La consommation instantanée renseigne l'utilisateur en temps réel sur sa façon de conduire ou sur la demande énergétique du travail effectué.

La **consommation moyenne** est fournie en litres/heure. Elle peut être ensuite convertie en litres/hectare dans le cas de travaux aux champs, et pour comptabiliser les coûts de transport ou d'accès aux parcelles...

On peut alors comparer différents chantiers dans leurs coûts de revient et leur temps d'exécution.

L'installation d'un indicateur de consommation peut entraîner une réduction de la consommation totale de carburant de 10 à 15 % car il peut permettre de choisir au mieux le rapport de boîte de vitesse et les réglages de l'outil.

### — Les systèmes d'aide à la conduite adaptables ou intégrés.

De plus en plus utilisés ces équipements permettent, outre le contrôle des consommations :

- de se rapprocher du rendement optimal par une assistance à la conduite,
- de mieux contrôler le fonctionnement du tracteur,
- de gérer le travail réalisé par le tracteur et l'outil.

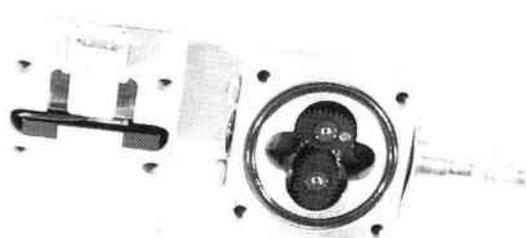


Fig. 301 — Vue d'un capteur de débit de carburant : à gauche le capteur ILS, à droite la chambre de mesure  
(Photo CEMAGREF-DICOVA).

Parmi les nombreuses réalisations, la figure 302 montre l'affichage du système \CET Renault qui permet d'informer le

conducteur (vitesses moteur, prise de force, avancement,...) et de l'aider à adopter le rapport de vitesse le plus adapté au travail à effectuer.

Selon les cas, les systèmes d'aide à la conduite peuvent être associés à des automatismes de commande (transmissions, relevage hydraulique...) et à des ordinateurs de bord (se reporter aux chapitres : les équipements électroniques, les transmissions mécaniques, les liaisons tracteur-outil, les relevages...).

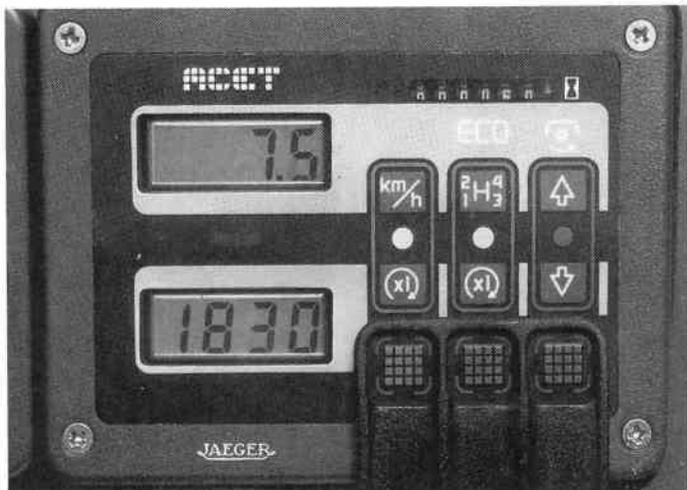


Fig. 302 — Système d'aide à la conduite Renault « ACET »  
(Photo Jean Biaugeaud, Renault Agriculture).

#### — Les appareils de contrôle des moteurs et circuits hydrauliques :

Il s'agit d'appareils de mesures et de diagnostic, généralement utilisés par les marchands réparateurs lors des révisions ou des dépannages : contrôleurs de calage de pompes d'injection, contrôleurs d'injecteurs, indicateurs de fumées, contrôleurs de compressions, testeurs hydrauliques, bancs de relevage...

#### — Les bancs de puissance et le laboratoire mobile :

Parmi les dispositifs utilisés pour le contrôle des performances, outre les indicateurs de consommation et les systèmes d'aide à la conduite, citons les bancs de puissances et notamment le banc d'essai mobile (véhicule laboratoire du CEMAGREF animé et géré par la société PERFAGRI 92, avec le concours de l'AFME).

Le passage d'un tracteur au Banc d'Essais Mobile permet d'établir un bilan technique accompagné de conseils de réglages, en comparant ses performances avec les essais officiels de référence réalisés par le CEMAGREF et les différentes stations officielles des pays de l'OCDE. La préci-



Fig. 303 — Vue d'un laboratoire mobile d'essai PERFAGRI 92.  
(Photo Perfagri 92).

sion des mesures est de l'ordre de 1 %. Le véhicule laboratoire (fig. 303), dispose d'un banc d'essai de puissance à la prise de force, d'une chaîne de mesure des consommations et des températures, d'un appareillage de mesures pour les circuits hydrauliques... Les informations des capteurs sont recueillies par un système de traitement informatique qui opère à l'aide d'un programme qui gère la conduite des mesures et l'édition du rapport d'essai où sont consignées les résultats, courbes, diagnostic et conseils de réglage.

Un logiciel de diagnostic (SCORPIO) du type programme expert mis au point par le CEMAGREF peut améliorer encore les performances de ce banc d'essai.



- **Les principes  
de la normalisation française  
et internationale ..... 351**
- **Les principales  
normes françaises et ISO ..... 354**
- **Les dispositions réglementaires  
d'hygiène et de sécurité du travail . 359**



## ► LES PRINCIPES DE LA NORMALISATION FRANÇAISE ET INTERNATIONALE :

Dans les milieux industriels, le terme **normalisation** est souvent associé au terme **standardisation** ; ceci n'est pas entièrement exact car le terme « standardisation », souvent utilisé en anglais, sous-entend deux niveaux :

– le premier niveau est du ressort de l'entreprise industrielle, qui, pour mieux maîtriser ses coûts de production, cherche à standardiser ses produits et les composants utilisés pour leur fabrication.

– le second niveau est beaucoup plus large puisqu'il prend en compte à la fois les standards industriels, l'intérêt des utilisateurs et l'intérêt économique des pays utilisateurs ou producteurs.

Ce second niveau montre la dimension du terme normalisation, l'enjeu économique qu'elle représente et son interaction avec les réglementations adoptées par les différents pays.

La normalisation, même si elle n'a pas toujours le même sens et les mêmes implications selon les pays, constitue un véritable **outil économique**.

### – La normalisation française :

**L'AFNOR, Association Française de Normalisation**, (se reporter à la rubrique adresses utiles), est l'organisme national de normalisation. Travaillant en étroite collaboration avec les **Bureaux de Normalisation**, l'AFNOR est responsable de la publication des normes et du programme de normalisation arrêté par son Conseil d'Administration sur proposition du Comité d'Orientation et de Programmation (COP).

Les propositions du COP émanent de 19 Comités d'Orientation Stratégique (COS) qui couvrent, chacun, un des grands secteurs d'activités (métallurgie, industries chimiques, agriculture...).

Si dans le passé, les textes normatifs indiquaient surtout des définitions et des spécifications dimensionnelles, les normes modernes établissent les règles et les moyens de mettre en oeuvre pour atteindre les niveaux de sécurité et de qualité souhaités : méthodes d'essais, plans-types, cahiers des charges entre partenaires, règles de maintenance et règles de qualité (modes opératoires, contrôles, ...). L'enjeu est d'une part de répondre aux impératifs de compétitivité et d'autre part de promouvoir l'image de qualité des productions françaises.

Pour ce qui est des équipements agricoles et agro-alimentaires, il y a une très forte interpénétration entre la normalisation et la réglementation, notamment en matière d'hygiène et de sécurité.

Afin de mieux informer les différents partenaires économiques et particulièrement les utilisateurs, un système d'information est en cours d'élaboration. Il s'agira d'une **banque de données appelée IMEA** : Information sur les Matériels et Équipements Agricoles et Agro-alimentaires. Cette banque de données comprendra pour chaque matériel les caractéristiques techniques, des conseils d'utilisation et des indications de performances, déterminées par des méthodes normalisées.

Par ailleurs un programme de normalisation dédié à « **l'agrotique** », prépare les normes qui permettront le développement des nouveaux systèmes de gestion et d'aides à la décision : capteurs, liaisons électroniques tracteurs- outils, connexions informatiques entre l'unité centrale de l'exploitation, les services télématiques et les systèmes embarqués sur les matériels,...

De même, un important programme de normalisation des liaisons tracteur-outil est en cours d'élaboration, afin de tenir compte des conséquences du développement de l'électronique, tant du point de vue de l'aptitude à l'emploi des matériels, que de la sécurité.

#### — La normalisation européenne et le C.E.N :

**Le Comité Européen de Normalisation (C.E.N.)** est une association internationale de droit belge, à but non lucratif et à caractère scientifique et techniques. Son secrétariat central est à Bruxelles et il est composé des 16 instituts de normalisation nationaux des pays membres de la **Communauté Économique Européenne (C.E.E)** et de l'**Association Économique de Libre Échange (A.E.L.E)**.

Les membres nationaux du C.E.N. sont aussi les membres des organisations internationales de normalisation.

Précisons que la normalisation européenne concernant l'électrotechnique est assurée par une structure spécialisée appelée Comité Européen de Normalisation Electro-technique : C.E.N.E.L.E.C. Les membres de cette organisation sont d'ailleurs membres de la C.E.I (voir plus loin I.S.O et C.E.I). En fait, le sigle CEN/CENELEC est très utilisé et symbolise « l'institution de la normalisation européenne ».

Les normes élaborées par le C.E.N. sont des documents techniques d'application volontaire qui résultent d'accords majoritaires obtenus au sein de commissions de travail.

Les documents préparatoires ainsi élaborés dans les commissions, après enquête nationale et vote à la majorité qualifiée, deviennent des normes européennes (EN), des documents d'harmonisation (HD) ou des normes expérimentales (ENV). A chacun de ces statuts de documents correspondent des modalités différentes de reprise dans

les collections nationales. Les normes européennes (EN), doivent être reprises, sans modification, comme normes nationales dans chaque pays, et toute disposition divergente susceptible d'exister dans d'autres normes doit être annulée. Les documents d'harmonisation sont, quant à eux, mis en application soit par la reprise en norme nationale, soit par la notification publique, au niveau national, du numéro et du titre du HD, avec dans les deux cas, retrait de toutes les normes nationales en contradiction.

En 1991, quelques 250 Comités Techniques existent et un programme de 3.600 sujets est en cours. La normalisation européenne revêt maintenant une importance reconnue dans le cadre de la commercialisation des produits et services en Europe et ceci avec l'objectif de supprimer les entraves techniques aux échanges en vue du **Marché Unique Européen**. Les normes européennes constituent les moyens techniques indispensables pour l'application des Directives Européennes ; leur utilisation confère une présomption de conformité, même si certaines certifications particulières pourront accompagner la commercialisation.

#### – **L'Organisation Internationale de normalisation (I.S.O) :**

L'ISO est une organisation internationale non gouvernementale jouissant du statut consultatif auprès du Conseil Économique et Social de l'Organisation des Nations Unies.

Créée en 1946, elle regroupe les organismes de normalisation les plus représentatifs de 87 pays qui ont accepté sa constitution et ses règles de procédure. Chaque pays est représenté par un Comité membre ; l'AFNOR est le Comité membre français de l'ISO.

La mission de l'ISO est de favoriser le développement de la normalisation dans le monde en vue de faciliter l'échange des marchandises et les prestations de service ; de réaliser une entente mutuelle dans les domaines intellectuels, scientifiques, techniques et économiques.

Tous les domaines sont couverts par les activités de l'ISO, à l'exception des technologies électriques et électroniques qui sont du ressort de la CEI (Commission Electronique Internationale). Si le projet est approuvé par 75 % des Comités membres ayant voté, il est soumis au conseil pour acceptation comme norme internationale.

En 1988, le catalogue de l'ISO comprenait 6789 normes internationales.

#### – **La Commission Électrotechnique Internationale :**

C'est une organisation internationale de normalisation non gouvernementale créée en 1906. Elle regroupe les représentants des différents organismes de normalisation dans le domaine de l'électrotechnique qui constituent des Comités nationaux. Il en existe 42 qui doivent être aussi représentatifs que possible de tous les secteurs intéressés par l'industrie électrique : gouvernement, constructeurs, consommateurs, scientifiques...

Sa mission est de favoriser le commerce international, dans le domaine des techniques de l'électricité et de l'électronique, en publiant des normes et des recommandations.

Les avant-projets mis au point par les Comités nationaux sont soumis au secrétariat central, puis sont soumis au vote d'approbation des comités nationaux. Une proportion défavorable d'un cinquième étant suffisante pour renvoyer le projet au comité d'étude concerné.

L'ISO et la CEI ont conclu un accord officiel énonçant les rapports entre les deux organisations selon lequel elles se complètent mutuellement et constituent conjointement un système recouvrant l'ensemble de la normalisation internationale.

## • LES PRINCIPALES NORMES FRANÇAISES ET ISO :

Ce chapitre n'a pas la prétention d'être un document exhaustif. Son but est simplement de montrer qu'en dépit des idées reçues, le matériel agricole et particulièrement les tracteurs, sont l'objet comme tous les produits industriels, de nombreuses normes tant françaises qu'internationales. **Il s'agit seulement des normes s'appliquant aux tracteurs agricoles, en France, au 31/12/1990. En aucun cas, ces informations ne sauraient se substituer aux documents normatifs officiels publiés par l'AFNOR et l'ISO, se reporter en fin d'ouvrage à l'annexe documentaire et à la rubrique : adresses utiles.**

### — Normes générales :

NF ISO 3339/0 : Avril 1987. Tracteurs et matériels agricoles et forestiers. Classification et terminologie. Partie 0 : généralités.

### — Ergonomie et sécurité :

NF ISO 4254-1 : Mai 1990. Tracteurs et matériels agricoles et forestiers. Dispositifs techniques permettant d'assurer la sécurité. Partie 1 : généralités.

NF U 02-009 : Décembre 1987. Tracteurs et matériels agricoles et forestiers. Dispositifs techniques permettant d'assurer la sécurité. Partie 9 : remorques.

NF U 02-046 : Décembre 1990. Tracteurs agricoles et forestiers à roues, à voie étroite. Dispositifs de protection en cas de renversement montés à l'arrière. Méthodes d'essai dynamique et statique : conditions d'acceptation.

NF U 02-047 : Décembre 1990. Tracteurs agricoles et forestiers à roues, à voie étroite. Dispositifs de protection en cas de renversement montés à l'avant. Méthodes d'essai dynamique et statique : conditions d'acceptation.

- NF U 02-048 : Décembre 1987. Tracteurs agricoles. Installation des structures de protection : méthodes de calcul de résistance, dimensions.
- NF U 02-049 : Décembre 1990 (identique à ISO 3463). Tracteurs agricoles et forestiers à roues. Structures de protection : méthode d'essais dynamiques et conditions d'acceptation.
- NF U 02-050 : Décembre 1990 (identique à ISO 5700). Tracteurs agricoles et forestiers à roues. Structures de protection : méthode d'essais statiques et conditions d'acceptation.
- NF U 02-051 : Janvier 1988. Tracteurs agricoles du parc ancien. Installations des structures de protection : cahier des charges.
- NF U 02-061 : Mai 1983 (identique à ISO 3462). Tracteurs et matériels agricoles. Point de référence du siège : méthode de détermination .
- NF ISO 3776 : Décembre 1989. Tracteurs agricoles : ancrage pour ceintures de sécurité.
- NF U 02-081 : Mars 1977 (équivalente à ISO 4253). Tracteurs agricoles : poste de conduite pour conducteur assis, dimensions.
- NF U 02-083 : Avril 1990 (identique à ISO 5721). Tracteurs agricoles : champ de visibilité du conducteur.
- NF U 02-084 : Mars 1990. Tracteurs et machines agricoles automotrices : filtre à air, perte et échange d'air dans la cabine. Méthode d'essai.
- NF ISO 3795 : Février 1990. Véhicules routiers et tracteurs et matériels agricoles forestiers : détermination des caractéristiques de combustion des matériaux intérieurs.
- NF U 02-101, partie 1 : Mai 1983. Tracteurs, matériels agricoles et forestiers, matériels à moteur pour jardins et pelouses : emplacement et mode de fonctionnement des commandes de l'opérateur. Commandes communes.
- ISO 3789/1 : 1982. Tracteurs, matériels agricoles et forestiers, matériels à moteur pour jardins et pelouses : emplacement et mode de fonctionnement des commandes de l'opérateur. Commandes communes.
- NF U 02-102, partie 2 : Mai 1983. Tracteurs, matériels agricoles et forestiers, matériels à moteur pour jardins et pelouses : emplacement et mode de fonctionnement des commandes de l'opérateur. Partie 2 : commandes pour tracteurs et machines agricoles.
- ISO 3789/2 : 1982. Tracteurs, matériels agricoles et forestiers, matériels à moteur pour jardins et pelouses : emplacement et mode de fonctionnement des commandes de l'opérateur. Partie 2 : commandes pour tracteurs et machines agricoles.

NF U 02-103 : Novembre 1975 (équivalente à ISO 3778). Tracteurs agricoles : forces pour manoeuvrer les commandes.

NF U 02-105 : Mai 1986 (identique à ISO 3767/1). Tracteurs matériels agricoles et forestiers, matériels à moteur pour jardins et pelouses : symboles pour les commandes de l'opérateur et autres indications. Partie 1 : symboles communs.

NF U 02-106 : Mai 1986 (identique à ISO 3767/2). Tracteurs matériels agricoles et forestiers, matériels à moteur pour jardins et pelouses : symboles pour les tracteurs et machines agricoles.

NF U 02-121 : Décembre 1976. Instruments agricoles et forestiers : feux de signalisation amovibles, spécifications dimensionnelles de montage.

NF U 02-211 : Décembre 1975. Tracteurs et matériels agricoles : protecteurs d'arbres de transmission à cardans pour prise de force, essais (méthode de laboratoire).

ISO 5674 : Tracteurs et matériels agricoles : protecteurs d'arbres de transmission à cardans pour prise de force, essais (méthode de laboratoire).

NF U 03-021 : Novembre 1975 (équivalente à ISO 3737). Tracteurs agricoles et machines automotrices : méthode d'essai des systèmes de pressurisation d'enceinte.

NF ISO 6097 : Décembre 1989. Tracteurs et machines automotrices agricoles : performances des systèmes de chauffage et de ventilation dans les cabines fermées.

NF U 03-023 : Décembre 1989 (identique à ISO TR 8953). Tracteurs et machines automotrices agricoles et forestiers : performances des systèmes de conditionnement d'air.

NF U 03-040 : Décembre 1990 (identique à ISO 5007). Tracteurs agricoles à roues. Siège du conducteur : mesurage en laboratoire des vibrations transmises.

NF U 16-006 : Mars 1984 (identique à ISO 5676). Tracteurs et matériels agricoles et forestiers : coupleurs hydrauliques, circuit de freinage.

NF U 16-051 : Février 1985 (identique à ISO 5696). Véhicules agricoles remorqués freins et dispositifs de freinage, méthode d'essai de laboratoire.

### — **Caractéristiques et performances :**

NF U 04-020 : Novembre 1975. Matériel agricole : manuels d'utilisation et documents techniques, directives de présentation normalisée.

ISO 3600. Matériel agricole : manuels d'utilisation et documents techniques, directives de présentation normalisée.

NF U 09-010 : Janvier 1984 (identique à ISO 4004). Tracteurs et matériels agricoles : largeurs de voie.

NF U 10-012 : Mai 1979. Matériels agricoles, tracteurs : fiche signalétique, plan type.

NF ISO 2288 : Décembre 1990 (identique à ISO 2288). Tracteurs et machines agricoles : code d'essai des moteurs (essai au banc), puissance nette ISO.

NF U 10-154 : Décembre 1974. Tracteurs agricoles : détermination et expression de la consommation de carburant.

NF U 10-200 : Mai 1983 (identique à ISO 789/1). Tracteurs agricoles. Méthodes d'essai, partie 1 : essais de puissance.

NF U 10-201 : Octobre 1983 (identique à ISO 789/2). Tracteurs agricoles. Méthodes d'essai, partie 2 : puissance hydraulique et capacité de relevage.

NF U 10-202 : Mai 1983 (identique à ISO 789/3). Tracteurs agricoles. Méthodes d'essai, partie 3 : diamètres de braquage et de dégagement.

NF ISO 789/4 : Mars 1987. Tracteurs agricoles. Méthodes d'essai, partie 4 : mesurage de la fumée d'échappement.

NF U 10-204 : Décembre 1984 (identique à ISO 789/5). Tracteurs agricoles. Méthodes d'essai, partie 5 : puissance partielle de la prise de force (puissance transmise non mécaniquement).

NF U 10-205 : Mai 1983 (identique à ISO 789/6). Tracteurs agricoles. Méthodes d'essai, partie 6 : centre de gravité.

#### – Pneumatiques :

NF U 12-001 : Août 1956. Pneumatiques pour tracteurs agricoles et motoculteurs.

NF U 12-002 : Mars 1956. Profils de jantes pour pneumatiques de tracteurs agricoles et motoculteurs.

NF U 12-003 : Août 1989. Pneumatiques utilisés en agriculture : consignes à respecter pour le montage, le gonflage et le dégonflage.

NF U 12-029 : Avril 1976. Valve air-eau coutchoutée pour pneumatiques agraires.

NF U 12-040 : Mars 1990. Pneumatiques pour tracteurs et matériels agricoles : instructions relatives à l'utilisation des pneumatiques pour tracteurs et matériels agricoles.

— **Liaisons tracteur-outil :**

NF U 09-002 : Novembre 1983 (identique à ISO 7424). Matériels agricoles : assemblage des tracteurs à roues et des instruments portés à l'arrière, système de numéros code.

NF U 14-010 : Décembre 1976. Tracteurs et matériels agricoles : liaisons mécaniques, vocabulaire.

NF U 14-021 : Mars 1983. Véhicules remorquants, partie 1 : type crochet, dimensions.

ISO 6489/1. Liaisons mécaniques véhicules remorquants, partie 1 : type crochet

NF U 14-022 : Mars 1976 (équivalente ISO 5962). Remorques agricoles semi portées : anneau d'attelage de type B.

NF U 14-023 : Mars 1983. Véhicules agricoles. Liaisons mécaniques sur véhicules remorquants, partie 2 : type chape, dimensions.

ISO 6489/2 : Véhicules agricoles. Liaisons mécaniques sur véhicules remorquants type chape.

NF U 14-024 : Décembre 1984 (identique à ISO 6815). Matériels forestiers : attelages, dimensions.

NF U 14-026 : Décembre 1990. Véhicules agricoles. Liaisons mécaniques sur véhicules remorquants : type piton, dimensions.

NF ISO 730-1 : Juin 1990. Tracteurs agricoles à roues. Attelage trois points montés à l'arrière, partie 1 : catégories 1, 2 et 3

NF U 14-033 : Avril 1979 (équivalente à ISO 730/2). Tracteurs agricoles à roues Attelage trois points catégorie 1N (attelage étroit).

NF U 14-034 : Mars 1983 (identique à ISO 730/3). Tracteurs agricoles à roues : attelage trois points, catégorie 4.

NF U 14-035 : Mars 1983. Tracteurs et matériels agricoles : barre d'attelage deux points, spécifications, dimensions.

NF U 14-036 : Mai 1986 (identique à ISO 8759/2). Tracteurs agricoles à roues. Attelage et prise de force montés à l'avant, partie 2 : attelage avant.

NF U 14-091 : Mars 1983 (identique à ISO 7072). Tracteurs agricoles à roues. Attelage trois points : goupilles d'attelage.

NF U 14-102 : Décembre 1978 (équivalente à ISO 500). Tracteurs agricoles : prise de force et barre d'attelage, spécifications.

NF U 14-104 : Mai 1986 (identique à ISO 8759/1). Tracteurs agricoles à roues. Atte-  
lage et prise de force montés à l'avant, partie 1 : prise de force avant.

NF U 14-201 : Mars 1983 (identique à ISO 5673). Tracteurs agricoles : arbre de  
transmission à cardans de prise de force pour machines et instruments.

NF U 14-406 : Juillet 1983 (identique à ISO 5675). Tracteurs agricoles : coupleurs  
hydrauliques à usage général, spécifications.

NF U 14-901 : Mars 1983 (identique à ISO 7071). Tracteurs agricoles : fixation des  
nasses d'alourdissement avant.

NF U 16-006 : Mars 1984 (identique à ISO 5676). Tracteurs et matériels agricoles  
et forestiers : coupleurs hydrauliques, circuit de freinage.

NF U 16-051 : Février 1985 (identique à ISO 5696). Véhicules agricoles remorqués :  
reins et dispositifs de freinage, méthode d'essai de laboratoire.

## LES DISPOSITIONS RÉGLEMENTAIRES D'HYGIÈNE ET DE SÉCURITÉ DU TRAVAIL :

Par souci de clarté, ce chapitre indique seulement les références des principaux textes, relatifs aux tracteurs agricoles, publiés par le Ministère de l'agriculture à la date du 1<sup>er</sup> août 1991. **Pour une information plus complète, il convient de se reporter notamment au Code de la Route (permis de conduire, circulation, signalisation, freinage,...) et au Code du Travail (textes fondamentaux, machines dangereuses,...).**

### - La réglementation française :

— Décret n° 80-1091 du 24 décembre 1980 relatif aux conditions d'hygiène et de sécurité auxquelles doivent satisfaire les tracteurs agricoles et forestiers à roues (Journal Officiel du 30 décembre 1980)

— Décret n° 86-594 du 14 mars 1986 sur les machines mobiles, article 5 applicable à la protection de la prise de force (Journal Officiel du 20 mars 1986)

— Décret n° 88-455 du 22 avril 1988 modifiant et complétant le décret 80-1091 du 24 décembre 1980 sur les tracteurs ainsi que le décret n° 79-709 du 7 août 1979 applicable aux appareils de levage (Journal Officiel du 28 avril 1988)

— Arrêté du 6 juillet 1981 sur les essais de structures contre le renversement (Journal Officiel du 4 septembre 1981)

— Arrêté du 15 octobre 1981 sur les essais de sièges (Journal Officiel du 5 janvier 1982). De nouvelles annexes à cet arrêté doivent être publiées vers la fin de l'année 1991.

— Arrêté du 9 février 1983 sur une méthode de calcul pour les essais de renversement (Journal Officiel du 26 février 1983)

— Arrêté du 14 novembre 1983 sur les modalités de mesures d'essais de niveau sonore (Journal Officiel du 1<sup>er</sup> décembre 1983)

— Arrêté du 13 juillet 1984 sur le niveau sonore (Journal Officiel du 1<sup>er</sup> août 1984)

— Arrêté du 13 juillet 1984 sur une méthode de calcul de l'essai de non-roulement continu (Journal Officiel du 24 juillet 1984)

— Arrêté du 2 décembre 1986 sur la protection de la prise de force (Journal Officiel du 11 décembre 1986), modifié par l'arrêté du 8 janvier 1988.

— Arrêté du 7 janvier 1988 sur les essais de structures de protection contre le renversement modifiant l'arrêté du 6 juillet 1981 (Journal Officiel du 29 janvier 1988)

— Arrêté du 8 janvier 1988 sur la protection de la prise de force (Journal Officiel du 8 janvier 1988)

#### — **La marque de conformité et le certificat de conformité :**

La marque de conformité et le certificat de conformité applicables aux tracteurs sont indiqués dans l'arrêté du 2 décembre 1988 (Journal Officiel du 23 décembre 1988).

#### — **Les tracteurs à chenilles :**

A la date du 1<sup>er</sup> août 1991, la réglementation française comme la réglementation européenne ne visent que les tracteurs à roues. Pour les tracteurs à chenilles, la réglementation sur les machines agricoles mobiles s'applique, à savoir les articles R 233-8<sup>1</sup> à R 233-107 du Code du Travail, le décret n° 86-594 du 14 mars 1986 sur les machines agricoles et forestières (Journal Officiel du 19 mars 1986) et l'arrêté du 14 mars 1986 sur ces mêmes machines (Journal Officiel du 20 mars 1986), ainsi que les arrêtés sus-visés du 2 décembre 1986 et du 7 janvier 1988 relatifs à la protection de la prise de force.

#### — **La réglementation communautaire :**

En France, à la date du 1<sup>er</sup> août 1991, la réglementation communautaire est optionnelle. Cela signifie qu'un constructeur, pour mettre un tracteur sur le marché français a le choix entre l'application à sa machine des dispositions de la réglementation française ou de celles de la réglementation communautaire.

— **Directive du conseil de communautés européennes 74/150/CEE du 4 mars 1974** concernant le rapprochement des législations des Etats membres relatives à la réception des tracteurs agricoles ou forestiers à roues (Journal Officiel des communautés européennes n° L 84 du 28 mars 1974).

Cette directive a été transcrite en droit français par l'arrêté du 22 mars 1979 modifié (Journal Officiel du 1<sup>er</sup> juin 1979)

— **39 directives communautaires** particulières complètent la directive-cadre citée ci-dessus, concernant les dispositions relatives tant à la sécurité du travail qu'à la sécurité routière.

**Ces 39 directives communautaires ont été introduites en droit français par arrêtés.**



---

# ANNEXE DOCUMENTAIRE ET ADRESSES UTILES

---

- **Ouvrages :**
  - **Ouvrages généraux ..... 365**
  - **Tracteurs ..... 365**
  - **Électricité et électronique ..... 366**
  - **Moteurs ..... 367**
  - **Transmissions mécaniques  
et hydrauliques ..... 369**
  - **Pneumatiques ..... 369**
  - **Détermination des coûts,  
choix et utilisation ..... 370**
- **Base de données  
et serveurs télématiques ..... 371**
- **Logiciels ..... 371**
- **Adresses utiles ..... 373**



## • OUVRAGES :

### — Ouvrages généraux :

BASQUIN R., : « **Mécanique** ». Deux volumes consacrés aux bases de la cinématique, statique, dynamique et résistance des matériaux. Éditions DELAGRAVE.

CEMAGREF/TEC et DOC : « **Lexique illustré du machinisme et des équipements agricoles** ». Coédition. Collection FORMAGRI, volume 1. Éditions CEMAGREF DICOVA, BP 22, 92162 ANTONY CEDEX. Éditions TEC et DOC, 14, rue de Provigny, 94236 CACHAN Cedex. 1991.

CEMAGREF : « **Dictionnaire machinisme et équipements agricoles** ». Six langues : Français, Anglais, Allemand, Espagnol, Italien, Portugais. Éditions CEMAGREF DICOVA, BP 22, 92162 ANTONY CEDEX. 1990.

DUMAIT A. ; « **DICAGRI** » : Dictionnaire de l'Agriculture Annuaire de l'Agro-Alimentaire - Publications A. DUMAIT, 42, rue des Jeûneurs, 75002 PARIS. 1991.

QUATREMER R. et TROTIGNON J.P. : « **Précis des unités et grandeurs** ». Éditions AFNOR Tour Europe, Cedex 7, 92080 PARIS la Défense. NATHAN 18, rue Monsieur le Prince, 75006 PARIS. 1986.

### — Tracteurs :

ACTA-BCMA, « **Tractoguide** ». ACTA, 149, rue de Bercy, 75595 PARIS Cedex 12. Recueil annuel des caractéristiques des tracteurs agricoles.

AFME-CEMAGREF « **Consommation de carburant des tracteurs agricoles** ». AFME, service agriculture, 27, rue Paul Vicat, 75015 PARIS. 1991.

AFME, « **Module de formation générale à la conduite, et à l'entretien des tracteurs et automoteurs agricoles** ». AFME, service formation, 27, rue Paul Vicat, 75015 PARIS. 1989.

ASAE, « **Engines and tractors power** ». American Society of Agricultural Engineers, Dept. 5590, 2950 Niles Rd. St.Joseph, MI 49085-9659USA. 1989.

ASAE, « **Tractors and their power units** ». American Society of Agricultural Engineers, Dept.5590, 2950 Niles Rd. St.Joseph, MI 49085-9659 USA. 1989.

BOUHAGEB.A., « **Produits de graissage et de protection** ». Éditions CEMAGREF DICOVA BP 22 92162 ANTONY CEDEX.1991.

BP, « **Documentation agricole BP** », brochures périodiques didactiques consacrées à l'évolution des matériels. BP France, 8, rue des Gémaux, Gergy St Christophe - 95866 CERGY PONTOISE CEDEX.

CEMAGREF/MSA, « **J'entretiens mon tracteur** ». Coédition. Éditions CEMAGREF DICOVA, BP 22, 92162 ANTONY CEDEX. Caisses Centrales de Mutualité Sociale Agricole. Prévention des Accidents du travail, 8-10 rue d'Astorg, 75413 PARIS CEDEX 08.1989.

CEMAGREF, « **Performances des tracteurs agricoles** ». Éditions CEMAGREF DICOVA, BP 22, 92162 ANTONY CEDEX. Recueil annuel des résultats et courbes d'essais officiels des tracteurs testés par le CEMAGREF et les différentes stations, selon les codes normalisés de l'OCDE.

E.T.A.I., « **Revue Technique machinisme agricole** ». Éditions Techniques pour l'Automobile et l'Industrie, 96, rue de Paris, 92100 Boulogne Billancourt. Revue périodique Bimestrielle.

JOHN DEERE, « **Notions d'utilisation des machines** » : les tracteurs. JOHN DEERE, B.P. 219 Ormes 45144 St Jean de la Ruelle.

JOHN DEERE, « **Notions Techniques de base : la climatisation** ». BP 219 Ormes 45144 St Jean de la Ruelle. 1973.

MICHAEL WILLIAMS, « **Tractors since 1889** ». Farming Press Books, 4 Friars Courtyard, 30-32 Princes Street Ipswich IP1 1RJ, United Kingdom. 1991.

MOBIL/AGRI-NATHAN « **Les lubrifiants dans l'agriculture** ».Encyclopédie agricole pratique. Nouvelle librairie, département AGRI-NATHAN international, 10 boulevard Jourdan, 75014 PARIS. 1986.

RENAULT AGRICULTURE / AGRI-NATHAN, « **Le tracteur agricole** ».Encyclopédie agricole pratique. Nouvelle librairie, département AGRI-NATHAN international, 10 boulevard Jourdan, 75014 PARIS. 1987.

#### — **Électricité et électronique :**

BOSCH, Cahiers Techniques : « **électricité automobile, batteries, alternateurs et démarreurs** ». Éditions DELTA PRESS, 35, rue Sainte Cécile 13005 Marseille. 1985.

BOSCH, Cahiers Techniques : « **électronique** ». Éditions DELTA PRESS, 35, rue Sainte Cécile 13005 Marseille. 1985.

JOHN DEERE, « **Notions Techniques de base : électricité** ». BP 219 Ormes 45144 St Jean de la Ruelle. 1973.

GESO-EPFL, Guide : « **Capteurs de mesure et de détection** »Édition Presses Polytechniques Romandes. CH-1015 Lausanne - SUISSE. 1985

ICHINOSE. N, KOBAYASHI. T, « **Guide pratique des capteurs** »Éditions MASSON 120 Boulevard Saint-Germain, 75280 PARIS Cedex 06. 1990

BÖHM.E, « **Messen, Steuern, Regeln in der Landtechnik** » Vogel Buchverlag Würzburg (commandes, régulations et asservissements sur les matériels agricoles) - Vogel Buchverlag - Postfach 6740, D - 8700 WURZBURG 1. (Allemagne). 1988

CHAMPEAU. P, « **L'électronique automobile** » Éditions Techniques pour l'automobile et l'industrie, 96, rue de Paris, 92100 BOULOGNE-BILLANCOURT. 1990

COX S.W.R., « **Farm Electronics** » Éditions BSP Professional Books, Osney Mead, Oxford OX2 OEL. (Royaume-Uni). 1988

GORY. G, « **Premières notions d'électronique, de logique et d'informatique. De la diode au microprocesseur** » Édition Semis, 49, rue de Maubeuge, 75009 PARIS. 1980

FRITZ KUNZE. R, « **Das Neue Traktorlexikon** » (lexique illustré consacré aux tracteurs). Éditions Vogel, Vogel Buchverlag - Postfach 6740, D - 8700 WURZBURG 1. (Allemagne). 1990

#### — **Moteurs :**

BOSCH, Cahiers Techniques : « **Equipements d'injection pour moteurs diesel, électricité, électronique, alternateurs et démarreurs** ». Éditions DELTA PRESS 35, rue Sainte Cécile 13005 Marseille. 1985.

BOUHAGEB.A., « **Produits de graissage et de protection** ». Éditions CEMAGREF DICOVA, BP 22, 92162 ANTONY CEDEX.1991.

BRUN R., « **Science et technique du moteur industriel et de transport** ». Éditions Technip, 27, rue Ginoux 75737 Paris Cedex 15. 1986.

CEDRA C. et GAUTHIER D., « **les moteurs diesel, technologie et fonctionnement** ». Éditions CEMAGREF DICOVA, BP 22, 92162 ANTONY CEDEX. 1990.

DELANETTE M., « **la suralimentation des moteurs** ». Éditions, 96, rue de Paris, 92100 BOULOGNE-BILLANCOURT. 1989.

DESBOIS et MARIE, « **Technologie Les Moteurs** ». Éditions FOUCHER, 128, rue de Rivoli 75001 PARIS. 1985.

DESBOIS, ROMIRALD, ARMAO et VIEUX. Technologie professionnelle générale, « **Les moteurs diesel et l'équipement d'injection** ». Éditions FOUCHER, 128, rue de Rivoli 75001 Paris. 1982.

DESBOIS M., TOUACHE F., et TOURANCHEAU J., « **Les Moteurs à quatre temps et à deux temps** ». Éditions FOUCHER, 128, rue de Rivoli 75001 Paris, 1986.

E.T.A.I., « **Moteurs diesel** ». Éditions Techniques pour l'Automobile et l'Industrie, 96, rue de Paris, 92100 BOULOGNE BILLANCOURT. 1988.

E.T.A.I., « **Revue Technique Diesel** ». Éditions Techniques pour l'Automobile et l'Industrie, 96, rue de Paris, 92100 BOULOGNE BILLANCOURT. Bimestriel.

E.T.A.I., « **Revue Technique machinisme agricole** ». Éditions Techniques pour l'Automobile et l'Industrie, 96, rue de Paris, 92100 BOULOGNE BILLANCOURT. Revue périodique Bimestrielle.

E.T.A.I., « **Recueil des fiches techniques moteurs** » de la **Revue Technique Machinisme Agricole**. Éditions ETAI, 96, rue de Paris, 92100 BOULOGNE BILLANCOURT.

FOY H., « **Technique et Applications de la Suralimentation par Turbocompresseur** ». Édition Turbo Club de France, 3 à 5, rue Bernard Palissy 92600 Asnières. 1987.

FOY H., « **Technologie du turbocompresseur** ». Éditions ETAI, 96, rue de Paris, 92100 BOULOGNE BILLANCOURT.

FRANCKH-KOSMOS VERLAG, « **Motortechnische Zeitschrift - (MTZ)** ». Postfach 106011, Pfizerstrabe 5-7, D-7000 STUTTGART 10 (RFA). Revue mensuelle consacrée au développement des moteurs.

GAUTHIER D., CEDRA C., LOUIS D. et BAZIN M., « **les moteurs à essence, technologie et fonctionnement des moteurs à allumage commandé** ». Éditions CEMAGREF DICOVA, BP 22, 92162 ANTONY CEDEX. 1989.

GUIBERT J.C., « **Carburants et moteurs TOME 1 et 2** » Publications de l'IFP Éditions Technip, 27, rue Ginoux 75737 Paris cedex 15. 1987.

GUIBERT J.C. et CHAUVEL A., « **Utilisation des produits organiques oxygénés comme carburants dans les moteurs** ». Éditions Technip, 27, rue Ginoux 75737 Paris Cedex 15. 1981.

JOHN DEERE, « **Notions Techniques de base : Les moteurs** ». BP 219 Ormes 45144 St Jean de la Ruelle. 1973.

MAILLARD, DELACHAUX, NIESTLE et SPES., « **Technologie de l'automobile LE MOTEUR : TOME I et II** ». 32, rue de Grenelle 75007 Paris. TOME I - 1980, TOME II - 1981.

MELOUA L., « **Compresseurs et turbos, la suralimentation** ».Éditions E.P.A., 83, rue de Rennes 75006 Paris. 1985.

MENARDON M et JOLLIVET D., encyclopédie de l'automobile, « **Les moteurs** ». Éditions CHOTARD, 68, rue Jean-Jacques Rousseau 75001 Paris. 1980.

#### — **Transmissions mécaniques et hydrauliques :**

BOUHAGEB A., « **Produits de graissage et de protection** ».Éditions CEMAGREF DICOVA, BP 22, 92162 ANTONY CEDEX. 1991.

BP, « **Documentation agricole BP** », brochures périodiques didactiques consacrées à l'évolution des matériels. BP France, 8, rue des Gémaux, Gergy St Christophe - 95866 CERGY PONTOISE CEDEX.

DECRIEM C., « **Technologie de l'hydraulique des tracteurs agricoles** ». Éditions ETAI, 96, rue de Paris, 92100 BOULOGNE BILLAN COURT. 1987.

DE GROOTE J.P., « **Technologie de l'hydraulique** ». Éditions ETAI, 96, rue de Paris, 92100 BOULOGNE BILLAN COURT.

DERREUMAUX R., « **Les transmissions** » (automobile). Éditions ETAI, 96, rue de Paris, 92100 BOULOGNE BILLAN COURT.

DESBOIS M., MARIE L., MARTIN J.P., « **Organes de transmission et d'utilisation** ». La technique de la réparation automobile. Éditions FOUCHER, 128, rue de Rivoli 75001 Paris. 1981.

E.T.A.I., « **Revue Technique machinisme agricole** ». Éditions ETAI, 96, rue de Paris, 92100 BOULOGNE BILLAN COURT. Revue périodique Bimestrielle.

JOHN DEERE, « **Notions Techniques de base : Les transmissions** ». JOHN DEERE, BP 219 Orme 45144 St Jean de la Ruelle. 1973.

JOHN DEERE, « **Notions Techniques de base : L'hydraulique** ».JOHN DEERE, BP 219 Ormes 45144 St Jean de la Ruelle. 1973.

#### — **Pneumatiques :**

ITCF/CEMAGREF, « **Choisir les pneumatiques** ». Coédition. Éditions CEMAGREF DICOVA BP 22 92162 ANTONY CEDEX. Éditions de l'ITCF, 8, avenue du Président Wilson 75116 PARIS. 1991.

KLEBER/AGRI-NATHAN, « **Les pneumatiques dans l'agriculture** ». Encyclopédie agricole pratique. Nouvelle librairie, département AGRI-NATHAN international, 10 boulevard Jourdan, 75014 PARIS. 1984.

— **Déterminations des coûts, choix et utilisation :**

ACTA-BCMA, « **Tractoguide** ». ACTA, 149, rue de Bercy, 75595 PARIS Cedex 12. Recueil annuel des caractéristiques des tracteurs agricoles.

AFME-CEMAGREF « **Consommation de carburant des tracteurs agricoles** ». AFME, service agriculture, 27, rue Louis Vicat, 75015 PARIS. 1991.

AFME, « **Economiser 20 % de carburant** ». AFME, service formation, 27, rue Louis Vicat, 75015 PARIS. 1989.

AFME, « **Module de formation générale à la conduite, et à l'entretien des tracteurs et automoteurs agricoles** ». AFME, service formation, 27, rue Louis Vicat, 75015 PARIS. 1989.

CAIROL Dominique et JANNOT Philippe, « **De la réduction des charges de mécanisation à l'augmentation de la productivité des matériels dans l'exploitation agricole** ». CEMAGREF - Groupement d'Antony, Division Production et Économie Agricoles, BP 121, 92162 ANTONY CEDEX.

CEMAGREF, « **Performances des tracteurs agricoles** ». Recueil annuel des résultats et courbes d'essais officiels des tracteurs testés par le CEMAGREF et les différentes stations, selon les codes normalisés de l'OCDE. Éditions CEMAGREF DICOVA, BP 22, 92162 ANTONY CEDEX.

CEMAGREF/MSA, « **J'entretiens mon tracteur** ». Coédition. Éditions CEMAGREF DICOVA, BP 22, 92162 ANTONY CEDEX. Caisses Centrales de Mutualité Sociale Agricole. Prévention des Accidents du Travail, 8-10, rue d'Astorg, 75413 PARIS CEDEX 08. 1989.

CUMA Ouest, « **Tracteur, Choisir et utiliser** ». FRCUMA OUEST, 65, rue de St Briec, 35042 Rennes Cedex.

ITCF/CEMAGREF, « **Choisir les pneumatiques** ». Coédition. Éditions CEMAGREF DICOVA, BP 22, 92162 ANTONY CEDEX. ITCF Communication, 91720 BOIGNEVILLE. 1991.

ITCF, « **Choisir les matériels de travail du sol** ». ITCF, 8, avenue du Président Wilson 75116 PARIS. 1987.

JOHN DEERE, « **Notions d'utilisation des machines : les tracteurs** ». JOHN DEERE, B.P. 219 Ormes 45144 St Jean de la Ruelle.

## • BASES DE DONNÉES ET SERVEURS TÉLÉMATIQUES :

**CEMAGREF.** Serveur minitel 3615 CODE CEMAGREF : informations CEMAGREF et résultats d'essais officiels de tracteurs.

**BCMA.** Base de donnée RESUMA. Alimentée par le suivi informatique d'un nombre importants de tracteurs, cette base de donnée permet l'établissement et l'actualisation de coûts standards : réparations, entretien,... Bureau de Coordination du Machinisme Agricole ; 11, rue de Baume, 75008 PARIS

**ELECTRE.** Serveur minitel, code 3617 ELECTRE. Banque de données consacrée à l'ensemble des ouvrages édités en langue française.

**FNCUMA.** Banque de données CUMAGEST centralisant les informations traitées avec le logiciel CUMAGEST. Les données peuvent être traitées pour les fonctions suivantes :

- détermination précise des coûts d'utilisation,
- élaboration de coûts prévisionnels,
- analyser les conditions d'utilisation et les causes de variation des coûts de revient,
- aider à l'utilisation ou au choix d'équipements,

FNCUMA : Fédération Nationale des Coopérations d'Utilisation de Matériel Agricole.  
48, rue Montmartre, 75002 PARIS

**PERFAGRI 92.** Base de donnée MAT 2000 fonctionnant avec le logiciel IGOR. Utilisée pour l'aide au choix des matériels par sélection de critères très variés : puissance, réserve de couple, cylindrée, consommation spécifique,...

PERFAGRI 92 : 51, Avenue du Parc des Sports 94200 FRESNES

## • LOGICIELS :

**BCMA.** Disquette « **tableur** », pour l'évaluation de coûts prévisionnels, à partir des données RESUMA. BCMA : Bureau de Coordination du Machinisme Agricole, 11, rue de la Baume, 75008 PARIS

**CEMAGREF.** Logiciel GEDE - GUEPARD, conçu par le CEMAGREF et diffusé par France Maïs. Basé sur la programmation linéaire, il permet de déterminer la répartition optimale des productions végétales sur une exploitation agricole définie par un ensemble de contraintes et par les caractéristiques technico-économiques des différentes cultures possibles. La solution optimale est celle qui procure la plus grande marge brute (soit pour un appareil de production donné, le plus grand revenu). CEMAGREF Groupement d'ANTONY - Division Production et économie agricoles : BP 121 92185 ANTONY Cedex

**FNCUMA.** Logiciel MECAGEST : système de diagnostic de mécanisation de l'exploitation agricole, réalisé par des conseillers FDCUMA de l'ouest de la France et qui permet :

- l'inventaire et la description de tous les matériels individuels et en copropriété,
- la saisie des factures d'entretien, des dépenses de carburant et des fournitures.
- la prise en compte des travaux par tiers (CUMA, utilisateur individuel)
- le calcul analytique des coûts et leur visualisation graphique, par catégorie de matériels.

FNCUMA : Fédération Nationale des Coopérations d'Utilisation de Matériel Agricole  
48, rue Montmartre, 75002 PARIS

**FRANCE MAÏS.** Logiciel GEDE - GUEPARD, conçu par le CEMAGREF et diffusé par France-Maïs. Basé sur la programmation linéaire, il permet de déterminer la répartition optimale des productions végétales sur une exploitation agricole définie par un ensemble de contraintes et par les caractéristiques technico-économiques des différentes cultures possibles. La solution optimale est celle qui procure la plus grande marge brute (soit pour un appareil de production donné, le plus grand revenu). FRANCE MAÏS : 4, rue Paul Bernès, 31075 TOULOUSE CEDEX

**INRA** : l'Institut National Agronomique conçoit et développe plusieurs modèles informatiques et logiciels destinés aux chercheurs, prescripteurs et exploitants. INRA : 147, rue de l'Université 75341 PARIS Cedex 07

**ITCF.** Logiciel SIMEQ (Simulateur d'Équipement). Ce logiciel est un outil pour les chercheurs, prescripteurs et techniciens. A partir d'une situation de référence dont on a défini les indicateurs économiques et techniques (calculés soit globalement, soit par exploitation ou encore par type de culture), le simulateur permet de mettre en oeuvre des scénarios qui tendent à faire varier soit les besoins, soit les ressources d'une exploitation (ou d'un groupe). L'analyse des résultats des simulations confirme ou infirme la pertinence des hypothèses par rapport à la situation de référence. ITCF : Institut Technique des Céréales et des Fourrages, 8, Avenue du Président Wilson, 75116 PARIS

**ITCF.** Logiciel SIMU-GC (Simulateur Grandes Cultures). Il s'agit d'un simulateur dynamique d'exploitation destiné aux chercheurs, prescripteurs et techniciens. Il fournit, pour chaque année de simulation, des indicateurs techniques (heures de travail des hommes et des outils, usure du matériel) et économiques (compte de résultat, bilan, trésorerie mensuelle, charges). Ces indicateurs sont obtenus à partir d'une description du fonctionnement de l'exploitation, mais aussi des pratiques culturales que réalise ou que souhaite réaliser l'exploitant. Cette description peut être, selon le centre d'intérêt, réalisée avec plus ou moins de précision. ITCF : Institut Technique des Céréales et des Fourrages, 8, Avenue du Président Wilson, 75116 PARIS

**PERFAGRI 92.** Logiciel **IGOR.** Utilisé pour l'aide au choix des matériels (tracteurs et autres matériels), par sélection de critères très variés : puissance, réserve de couple, cylindrée, consommation spécifique, ...

PERFAGRI 92 : 51, Avenue du Parc des Sports, 94260 FRESNES

• **ADRESSES UTILES :**

• **ACTA :** Association de Coordination Technique Agricole 149, rue de Bercy 75595 PARIS CEDEX 12

• **AFME :** Agence Française pour la Maîtrise de l'Énergie 27, rue Louis Vicat 75017 PARIS

• **AFNOR :** Association Française de Normalisation Tour Europe - Cedex 7 92080 PARIS LA DEFENSE

• **BCMA :** Bureau de Coordination du Machinisme Agricole 11, rue de la Baume 75008 PARIS

• **CEEMAT :** Centre d'Études et d'Expérimentation du Machinisme Agricole Tropical, rue Jean-François Breton 34000 MONTPELLIER

• **CEMAGREF-DICOVA :** Centre National du Machinisme Agricole du Génie Rural des Eaux et des Forêts, Parc de Tourvoie BP 22 92162 ANTONY CEDEX

• **CETIM :** Centre Technique des Industries Mécaniques, 52 Avenue Félix-Louat 60304 SENLIS

• **CNAR :** Confédération Nationale des Artisans Ruraux 45, rue de Lisbonne, 75008 PARIS

• **CNDP :** Centre National de Documentation Pédagogique, 29, rue d'Ulm, 75230 PARIS Cedex 05

• **ENFA :** École Nationale de Formation Agronomique. Complexe d'enseignement agricole de Toulouse-Auzeville BP 87 31326 CASTENET-TOLOSAN CEDEX

• **FNAFPA :** Fédération Nationale d'Associations de Formation et de Promotion des Adultes B.P. 5, La Ménière 49250 BEAUFORT-EN-VALLÉE

• **FNCUMA :** Fédération Nationale des Coopératives d'Utilisation de Matériel Agricole 48, rue Montmartre 75002 PARIS

• **IFP :** Institut Français du Pétrole 1, Avenue Bois-Préau 92502 RUEIL MALMAISON

- **INPSA** : Institut National de Promotion Supérieure Agricole. Rue des Champs-Prévois 21000 DIJON
- **INRA** : Institut National de la Recherche Agronomique, 147 rue de l'Université 75431 PARIS Cedex 07
- **INRS** : Institut National de la Recherche et de la Sécurité, 30, rue Olivier Noyer, 75680 PARIS Cedex 14
- **ITCF** : Institut Technique des Céréales et des Fourrages, 8, Avenue du Président Wilson, 75116 PARIS
- **MSA** : Mutualité Sociale Agricole 8, rue d'Astorg 75413 PARIS Cedex 08
- **OCDE**: Organisation pour la Coopération et le Développement Économiques, 2 rue André Pascal 75775 PARIS Cedex 16
- **PERFAGRI 92** : 51, avenue du Parc des Sports 94260 FRESNES
- **SECIMA** : Syndicat des Entreprises de Commerce International de Matériel Agricole 25-27, rue d'Astorg 75008 PARIS
- **SEDIMA** : Syndicat National des Entreprises de service et Distribution du Machinisme Agricole, Boulevard Jourdan 75014 PARIS
- **SIMA** : Salon International de la Machine Agricole, Salon International de la Motoculture 24, rue du Pont 92522 NEUILLY-SUR-SEINE
- **SITMA** : Société des Ingénieurs et Techniciens du Machinisme Agricole, 19, rue Jacques Bingen, 75017 PARIS.
- **SOLAGRO** : Énergie et Environnement Solutions adaptées pour un développement durable. 219, avenue de Muret 31300 TOULOUSE
- **SYGMA** : Syndicat général des constructeurs de tracteurs et machines agricoles 19, rue Jacques Bingen 75017 PARIS

---

# INDEX ALPHABÉTIQUE GÉNÉRAL

---

## A

A.P.I. (American Petroleum Institute), 274, 276, 277, 278, 281.  
Accouplement triangulaire, 245, 247.  
Accumulateur, 222, 223.  
Accumulateurs hydrauliques, 222.  
Actionneurs, 48, 49, 51, 172.  
Actionneurs électro-hydrauliques, 172.  
Additifs détergents, 122.  
Additifs dispersifs, 122.  
Adhérence, 166, 167, 168, 190, 191, 243, 279, 339.  
Admission, 78, 79, 80.  
Afficheur, 45, 49, 51.  
Agrotique, 352.  
Aide à la conduite, 48, 49, 345, 346.  
Alternateur, 295, 296, 297, 298, 299, 300, 301, 302.  
Amortisseur, 326, 329, 331.  
Amortisseur de torsion, 147.  
Ampèremètre, 302.  
Amplificateur, 45, 61, 144, 149, 152, 156, 157, 158, 159, 160, 232, 251, 252.  
Amplificateur de traction, 144, 149, 152, 156, 157, 158, 159, 160, 232.  
Amplificateur opérationnel, 45, 61, 251, 252.  
Amplitudes, 45.  
Analogique, 45, 251, 254.  
Appareils de contrôle, 346.  
Aptitude au démarrage à froid, 291.  
Arbres de transmission, 267, 268.  
Arbre de transmission à cardans, 267, 268, 356.  
Arceaux de protection, 39.  
Arceaux de sécurité, 32.  
Asservissement, 51, 52, 54.

Attelages, 41, 241, 243, 245, 246, 247, 248, 358, 359.  
Attelage avant, 358, 359.  
Attelage à trois points automatiques, 245, 246, 247.  
Attelage des machines agricoles, 241, 243.  
Attelage trois points, 241, 245, 246, 247, 248, 358.  
Auto-inflammation, 78, 82, 83, 84, 85, 87, 88.  
Automate, 45, 53.  
Automates programmables, 53.  
Automatismes, 49, 51, 52, 144, 171, 172, 173.  
Automatismes de commande, 144, 171, 172, 173.  
Automatismes séquentiels, 52.  
Avance automatique, 85.  
Avance à l'injection, 81, 84, 85.  
Avance initiale, 85.

## B

Baladeur, 153.  
Bancs de puissance, 346.  
Bande de roulement, 197.  
Barre à trous, 246.  
Barre d'attelage, 244, 358, 359.  
Barre de couplage, 245, 246.  
Batterie d'accumulateurs, 288, 291.  
Binaire, 45.  
Biocarburants, 87, 88, 90.  
Biomasse, 87.  
Blocage automatique du différentiel, 171, 173.  
Blocage du différentiel, 167, 168, 171, 172, 173, 340.

Boîte de vitesses, 144, 151, 152, 153, 154, 155, 156, 157, 158, 159, 161, 162, 163, 164, 338.  
Boîtes de vitesses Power-Shift, 149, 161, 162, 163, 164.  
Boîtier de direction, 177, 178, 179, 180.  
Boîtiers de direction à assistance intégrée, 180.  
Boîtier de distribution, 181.  
Bol décantateur, 95, 96.  
Boole, 45.  
Bruit, 34, 35.  
Bureaux de Normalisation, 351.

## C

C.C.M.C. (Comité des Constructeurs du Marché Commun), 274, 276, 278.  
Cabine, 32, 33, 35, 36, 39, 314, 356.  
Cabine de sécurité, 314.  
Cadres de sécurité, 32.  
Cage de différentiel, 165, 166, 168.  
Calage (zone de), 340, 342.  
Calage de la pompe d'injection, 114, 115.  
Calcul prévisionnel, 329, 330.  
Calculateur électronique, 109, 110.  
Calorstat, 127.  
Capacité, 290, 291.  
Capacité (réserve de), 292.  
Capacité de relevage, 357.  
Capital (intérêt), 330.  
Capteurs, 49, 50, 51, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 64, 66, 109, 110, 162, 172, 254, 345.  
Capteurs à effet Hall, 58.  
Capteurs à effet magnéto-élastique, 254.  
Capteurs à interrupteurs, 54, 55.  
Capteurs à interrupteur magnétique à lame souple, 55.  
Capteurs à interrupteur mécanique, 54.  
Capteurs à jauges de contrainte, 254.  
Capteurs à ultra-sons, 54, 66, 67, 68.  
Capteurs Booléens, 53.  
Capteurs d'effort magnéto-élastique, 66.  
Capteur de débit de carburant, 55, 345.  
Capteurs de position à bobines différentielles, 59.  
Capteurs de position à potentiomètre, 58.  
Capteurs de position à variation d'inductance, 61, 62.  
Capteurs de position linéaire à bobines différentielles, 60.  
Capteurs de position linéaire à variation d'inductance, 61, 62.

Capteurs de position rotatif à bobines différentielles, 60.  
Capteurs de pression, 64.  
Capteurs de rotation, 56.  
Capteurs I.L.S. de vitesse des roues, 55.  
Capteurs inductifs, 55, 56, 57.  
Capteurs inductifs à courants de Foucault, 57.  
Capteurs inductifs à réluctance variable, 56.  
Capteurs magnéto-élastique, 64, 66.  
Capteur potentiométrique, 59.  
Capteurs scalaires, 53.  
Capteurs thermiques, 62.  
Carburant, 38, 330, 332, 333, 335, 344, 345, 357.  
Carburant (consommation de), 357.  
Carcasse, 196.  
Carcasse diagonale, 196.  
Carcasse radiale, 196.  
Cardans, 356.  
Carte électronique, 45.  
Cavitation, 128, 212.  
Cellulo-composite, 184, 185.  
Centre de gravité, 314, 321, 357.  
Céramétique, 185.  
Certificat de conformité, 360.  
Cétane (indice), 86, 87, 88.  
Chaîne cinématique, 143, 145.  
Chambre de combustion, 81, 82, 85, 86, 94.  
Chambre de couplage, 130, 131.  
Champ de visibilité du conducteur, 355.  
Champ visuel, 33.  
Changement de rapport, 151.  
Chape d'attelage, 243.  
Charge, 253, 321, 340, 341, 342.  
Charge (circuit de), 295, 301, 302.  
Charges de fonctionnement, 325, 326.  
Charges de structures, 325, 326.  
Charges fixes, 325, 326, 329, 331, 334.  
Chauffage, 356.  
Chenillards, 27.  
Choisir un tracteur, 333.  
Cinématique (viscosité), 273.  
Circuit de carburant, 94, 95.  
Circuit de charge, 295, 301, 302.  
Circuit de freinage, 356.  
Circuit de gavage, 235.  
Circuit de lubrification, 122, 124.  
Circuit de retour des fuites, 236.  
Circuits électriques, 41, 42, 288, 290.  
Circuit électronique de comparaison, 60.  
Circuit fermé, 211, 234.  
Circuits hydrauliques, 40, 211, 231, 232, 233, 234, 279.

Circuits hydrauliques (appareils de contrôle), 346, 347.  
 Circuit hydraulique basse-pression, 234.  
 Circuit hydraulique de direction, 234.  
 Circuit hydraulique principal, 231.  
 Circuit imprimé, 45.  
 Circuit intégré, 46.  
 Circuit ouvert, 210, 231.  
 Circulation sur route, 42.  
 Classification A.P.I. (huiles moteurs), 277, 278.  
 Classification C.C.M.C. (huiles moteurs), 276, 278.  
 Classification MIL.L (huiles moteurs), 277, 278.  
 Classification S.A.E. (huiles de transmissions), 280, 281.  
 Classification S.A.E. (huiles moteurs), 274, 275, 277.  
 Climatisation, 36, 39.  
 Code d'essai des moteurs, 357.  
 Codes de l'O.C.D.E., 313, 314, 315, 316.  
 Coefficient d'adhérence, 190.  
 Coefficient de traction, 190, 191.  
 Colmatage du filtre à air, 344.  
 Colza (huile de), 88, 89.  
 Combustion interne, 78.  
 Commande de freins, 185, 188, 189.  
 Commandes de l'opérateur, 355, 356.  
 Commande électronique, 248, 250.  
 Commande hydraulique, 247, 248, 249, 263.  
 Commande mécanique, 247, 248, 249.  
 Commission Électrotechnique Internationale, 353, 354.  
 Compensateur, 46, 251.  
 Compensation d'oscillations, 257.  
 Compresseur, 36.  
 Compression, 78, 79, 80.  
 Comptabilité analytique, 328.  
 Condensateur-évaporateur, 36.  
 Conditions d'ambiance, 35, 36, 37.  
 Conditions de service, 273, 274, 279.  
 Conditions de service (huiles de transmissions), 279.  
 Conduite économique, 339, 340.  
 Conformité (certificat de), 360.  
 Conformité (marques de), 360.  
 Connexions électriques, 302.  
 Connectique, 46.  
 Consigne, 46.  
 Consommation (indicateurs de), 344, 345.  
 Consommation de carburant, 332, 336, 357.  
 Consommation de fioul, 332, 336.  
 Consommation du moteur, 335.  
 Consommation horaire, 310.  
 Consommation spécifique, 310, 311, 312, 335, 341, 342.  
 Contact roue-sol, 190, 339.  
 Contrôle d'effort, 251, 252, 253, 254, 255, 258.  
 Contrôle d'effort de relevage, 340.  
 Contrôle d'effort électronique, 254.  
 Contrôle d'effort mécanique, 253.  
 Contrôle de charge de batterie, 301.  
 Contrôle de patinage, 256.  
 Contrôle de position, 248, 249, 250, 251.  
 Contrôle de position à commande électronique, 250.  
 Contrôle de position à commande hydraulique, 249.  
 Contrôle de position à commande mécanique, 248, 249.  
 Contrôle mixte, 256, 258.  
 Contrôleurs de glissement, 73, 74.  
 Contrôleurs de rotation, 55.  
 Convertisseur analogique-numérique, 46, 251.  
 Convertisseurs de couple, 202, 203, 204, 205.  
 Correcteur centrifuge d'avance, 101.  
 Correcteur d'avance, 99, 101, 102, 103, 104, 106.  
 Correcteur de débit, 108, 119, 121.  
 Corrosion, 128.  
 Couple, 136, 139, 147, 162, 163, 165, 169, 194, 201, 202, 203, 204, 205, 305, 306, 307, 308, 309, 310, 315, 318, 335.  
 Couple (courbe de), 108, 306.  
 Couple conique, 63, 165, 169.  
 Couple de traction, 194.  
 Couple hydrocinétique, 162.  
 Couple moteur, 136.  
 Couple nominal, 307, 308.  
 Couple résistant, 136, 305.  
 Couple transmissible, 147.  
 Coupleurs hydrauliques, 201, 356, 359.  
 Coupleurs hydrocinétiques, 201.  
 Coups de bélier, 211, 212.  
 Courbe de couple, 108, 306.  
 Courbe de puissance, 310, 311.  
 Coût comptable, 327.  
 Coût d'utilisation, 328, 331.  
 Coût de fonctionnement, 326, 330, 332, 333.  
 Coût des tracteurs, 323, 325, 326, 332.  
 Coût prévisionnel, 327, 328, 329, 331.  
 Coût prévisionnel d'utilisation, 331.  
 Coûts standards, 329.  
 Crabots, 151, 154, 166.

Crochet automatique, 244.  
Cylindrée, 206.  
Cylindrée variable, 214, 219, 220, 221,  
222, 225, 226, 227, 237.

## D

Degré d'irrégularité du régulateur, 107, 306,  
308.  
Délai d'inflammation, 83, 84, 87.  
Démarrage à froid (aptitude), 291.  
Démarrateurs à induit coulissant, 293, 294.  
Démarrateurs commandés par solénoïde, 293,  
294, 302.  
Denture conique hélicoïdale, 165.  
Détecteurs de proximité, 56, 57.  
Détecteurs de proximité inductifs, 57.  
Détente, 79, 80.  
Diagramme de fonctionnement, 80.  
Diagramme réel, 81.  
Diagramme théorique, 80, 81.  
Diaphragme, 146.  
Différentiel, 164, 165, 166, 167, 168.  
Différentiel (blocage), 340.  
Différentiels autobloquants, 170, 272.  
Différentiel à glissement limité, 169, 170.  
Digital, 46.  
Dimensions des pneumatiques, 197.  
Direction, 39, 175, 177, 179, 180, 181,  
232.  
Directions assistées, 179, 180.  
Directions assistées par vérin asservi, 179,  
180.  
Directions hydrostatiques, 180, 181.  
Direction mécanique, 177, 179, 180.  
Directions mécaniques assistées, 179, 180.  
Directives communautaires, 361.  
Dispositif de freinage, 359.  
Disque d'embrayage, 146, 147, 149, 150.  
Distributeurs, 222, 223, 224, 225, 226,  
227, 231, 260, 261.  
Distributeur (montages de), 226, 227.  
Distributeurs auxiliaires, 261.  
Distributeur à centre fermé, 225.  
Distributeur à centre ouvert, 225.  
Distributeur à effet proportionnel, 227.  
Distributeur à simple effet, 224.  
Distributeurs commutables, 261.  
Diviseurs de débit, 221, 222.  
Domaine de mesure, 67.  
Dosage de carburant, 82, 99.  
Dual Power (Système), 157, 158.

## E

Échangeurs, 118, 119, 123, 125, 217.  
Échangeur air-air, 118.  
Échangeur eau-air, 118, 119.  
Échangeur huile-air, 125.  
Échangeur huile-eau, 123, 125.  
Échappement, 79, 80, 81, 313, 357.  
Échappement (fumée d'), 357.  
Échauffement, 82, 83.  
Effet de serre, 89.  
Effet Doppler, 68, 69, 71.  
Effet Doppler-Fizeau, 68, 69.  
Effet Hall, 58.  
Effet magnéto-strictif, 65.  
Effet piezo-électrique, 67.  
Effet Seebeck, 62.  
Effort de relevage, 318.  
Effort de relevage (contrôle d'), 340.  
Effort de traction, 139, 193, 319.  
Électriques (circuits), 288, 290.  
Électriques (connections), 302.  
Électrique (équipement), 285.  
Électriques (schémas), 287, 289, 290.  
Électriques (symboles), 288.  
Électronique, 46, 48.  
Électronique analogique, 251.  
Électronique embarquée, 48, 343.  
Électronique numérique, 251.  
Éléments filtrants, 37, 92, 95, 97.  
Éléments filtrants spécifiques, 37.  
Embout de prise de force, 265.  
Embrayages, 142, 143, 144, 146, 147,  
148, 149, 150, 152, 157, 158, 159,  
160, 161, 162, 164, 170, 172, 232,  
263, 264, 266, 278, 295.  
Embrayage (lubrification), 278.  
Embrayage à sec à double effet, 147, 148.  
Embrayage à sec à simple effet, 144.  
Embrayage double à commande séparée,  
147, 149.  
Embrayage monodisque à sec, 146.  
Embrayage multidisque, 144, 148, 150,  
158, 159, 160, 161, 162, 163, 170,  
172, 295.  
Embrayage multidisque à commande  
hydraulique, 150.  
Embrayage principal, 144.  
Empattement, 320.  
Engrenages, 139, 140, 158.  
Engrenage à denture cylindrique droite, 139,  
140.  
Engrenage à denture hélicoïdale, 139, 140.  
Engrenages épicycloïdaux, 158.  
Entretien, 331, 332, 343, 344.  
Entretien des outils, 344.

Entretien du matériel, 343.  
Entretien du tracteur, 343.  
Épure de distribution, 79, 80.  
Épure de Jeantaud, 177, 178.  
Équilibre statique des fluides, 205.  
Équipement électrique, 285.  
Ergonomie, 32, 354.  
Espace de virage, 320.  
Espace fonctionnel, 34.  
Essais de puissance, 315, 316, 317, 319, 357.  
Essais de puissance à la prise de force, 315, 316, 317.  
Essais de puissance de traction à la barre, 319.  
Essais de puissance hydraulique, 318.  
Ester, 88, 89, 90.  
Ester méthylique d'huile de colza, 88, 89, 90.  
Étageage des vitesses, 155, 338, 339.  
Éthanol, 88, 90.  
Extrême pression (E.P.), 280.

## F

Figeage du fioul, 87, 96.  
Film lubrifiant, 122.  
Filtration de l'air, 91, 92, 93.  
Filtre, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 98, 122, 123, 124, 217, 231, 234, 344.  
Filtre à air (colmatage), 344.  
Filtre à air à bain d'huile, 93.  
Filtre à air à cartouche sèche, 91, 92.  
Filtres à carburant, 94, 95, 96, 98.  
Filtre à huile, 122, 123, 124.  
Filtres hydrauliques, 217.  
Fioul, 84, 86, 87, 90, 94, 96, 332, 336.  
Fioul (consommation de), 332, 336.  
Flancs, 197.  
Fonctionnement (charges de), 325, 326.  
Fonctionnement (coût de), 326, 330, 332, 333.  
Force, 135, 305, 314, 318, 319.  
Force (moment d'une), 305.  
Force de relevage, 314, 318, 319.  
Forces pour manœuvrer les commandes, 356.  
Formule de Willis, 141, 142, 165.  
Frais divers, 330, 331.  
Freinage, 175, 182, 183, 184, 185, 186, 188, 189, 232, 259, 262, 278, 305, 306, 310, 314, 356, 359.  
Freinage (circuit de), 356, 359.  
Freinage des remorques, 356.  
Freinage des tracteurs, 182.

Freins, 40, 182, 183, 184, 185, 186, 188, 189, 278, 305, 306, 310, 359.  
Freins à commande assistée, 186.  
Freins à commande hydraulique, 185, 186, 188, 189.  
Freins à commande mécanique, 185.  
Freins à disque, 82, 183, 184, 278.  
Freins à disques immergés, 182, 183, 184, 278.  
Freins à disques immergés (lubrification), 278.  
Freins à tambour, 182.  
Frein dynamométrique, 305, 306, 310.  
Friction, 142.  
Fumée d'échappement, 357.

## G

Garde-au-sol, 320.  
Garnitures céramétiques, 146, 150.  
Garnitures de friction, 144, 147.  
Gavage, 235.  
Gaz carbonique, 89.  
Générateur, 295.  
Glissement, 71, 72, 73, 74, 190, 191, 193, 278, 320, 339, 340.  
Graissage, 122, 123, 124.

## H

Hi-Lo (Système), 157, 158.  
Huile (pression), 301.  
Huile de transmissions, 278, 279, 280, 281, 283, 284, 330.  
Huiles hydrauliques, 283, 330.  
Huiles moteurs, 273, 274, 275, 276, 277, 278, 281, 330.  
Huiles multifonctionnelles, 283, 284.  
Huiles multigrades, 275, 276, 281.  
Huiles usées, 284.  
Huiles végétales, 88, 89.  
Hydrauliques (accumulateurs), 222.  
Hydrauliques (circuits), 40, 211, 231, 232, 233, 234, 279, 346, 347.  
Hydraulique (circuit principal), 231.  
Hydrauliques (coupleurs), 356, 359.  
Hydrauliques (filtres), 217.  
Hydrauliques (huiles), 283, 330.  
Hydrauliques (liaisons), 339.  
Hydrauliques (moteurs), 209, 210, 227, 229, 230, 231.  
Hydrauliques (pompes), 213, 215, 216, 279, 280.

Hydraulique (puissance), 208, 210, 314, 318, 337, 357.  
Hydraulique (relevage), 241, 244, 247, 248, 254, 255, 308, 346.  
Hydrauliques (symboles), 206, 207.  
Hydrauliques (transmissions), 162, 199, 211, 212.  
Hydrocarbures imbrûlés, 89.  
Hydrocinétiques (coupleurs), 201.  
Hydrocinétiques (transmissions), 201, 202, 205, 215.  
Hygiène, 352, 359.

## I

I.S.O. (Organisation Internationale de normalisation), 283, 353, 354.  
Impulseur, 201, 202, 203, 204.  
Indexage, 226.  
Indicateurs, 49, 70, 71, 72, 300, 344, 345.  
Indicateurs de consommation, 344, 345.  
Indicateurs de glissement, 71.  
Indicateur de patinage, 70, 71.  
Indicateur de vitesse, 71, 72.  
Indicateurs de vitesse réelle, 71.  
Indicateurs du tableau de bord, 300.  
Indication de colmatage, 94.  
Indice de capacité de charge, 198.  
Indice de cétane, 86, 87, 88.  
Indice de fumée, 89.  
Indice de résistance, 198.  
Indice de vitesse, 198.  
Inductance, 46, 61.  
Inductif, 46.  
Informatique, 46.  
Injecteurs, 111, 112, 113, 114.  
Injecteur-crayon, 113, 114.  
Injecteur à téton, 113.  
Injection, 85, 86, 103, 104, 105, 106, 109, 110, 111, 112, 113, 114, 118.  
Injection à commande électronique, 109, 110.  
Injection directe, 85, 86.  
Intérêt du capital, 330, 331.  
Interrupteurs, 54, 55.  
Interrupteurs à lame souple, 55.  
Inter cooling, 118.  
Inverseur de marche, 151, 152.  
Inverseur mécanique, 144, 160.

## J

Jauges de contraintes, 63, 64.  
Jauges de contraintes à fil résistant, 63.

Jauges de contraintes magnéto-élastiques, 64.  
Joints de cardan, 267, 269.

## L

Laboratoire mobile, 346.  
Levée d'aiguille, 113, 114.  
Liaisons électriques, 268.  
Liaisons électroniques, 268.  
Liaisons hydrauliques, 259, 339.  
Liaisons hydrauliques tracteur-outil, 259.  
Liaisons tracteur-outil, 239, 259, 358.  
Limiteur de débit, 219, 220.  
Limiteurs de pression, 218, 219, 232, 234, 235, 318, 319.  
Liquide de refroidissement, 127.  
Liquide réfrigérant, 36.  
Load sensing, 236, 237.  
Lubrifiants, 271, 273, 277, 278, 279, 280, 281, 330, 332.  
Lubrification, 122, 123, 124, 273, 275, 276, 277, 278, 279, 280, 281, 283, 284.  
Lubrification des moteurs, 273, 275, 276, 277, 278.  
Lubrification des transmissions, 278, 279, 280, 281, 284.

## M

Magnéto-élasticité, 46, 64, 65.  
Magnéto-striction, 46.  
Manuels d'utilisation, 356.  
Marché européen, 29, 30.  
Marché mondial, 29.  
Marques de conformité, 360.  
Masse, 288, 301.  
Matériaux cellulo-composite, 184, 185.  
Matériaux céramétiques, 146.  
Matériaux composites, 150, 184, 185.  
Matériel (entretien du), 343.  
Matière céramétique, 185.  
Média filtrant, 92.  
Mémoire électronique, 46.  
Micro-ordinateurs, 49.  
Microprocesseurs, 47, 49, 53, 160, 162, 251.  
MIL.L (Military Lubricant), 273, 277, 278, 281.  
Moment d'un couple, 136, 137.  
Moment d'une force, 305.  
Monitoring, 49, 50.  
Montage de réchauffeurs, 97.

Montage en cascade, 226, 227.  
 Montage en parallèle, 226, 227.  
 Moteurs (appareils de contrôle), 346.  
 Moteurs (code d'essai des), 357.  
 Moteur (consommation du), 335.  
 Moteurs (lubrification), 273, 276, 277, 278.  
 Moteurs diesel, 77, 78, 80, 81.  
 Moteurs hydrauliques, 209, 210, 227, 229, 230, 231.  
 Moteurs hydrauliques à engrenages, 229.  
 Moteurs hydrauliques à pistons axiaux, 230.  
 Moteurs hydrauliques à pistons radiaux, 230.  
 Moteurs hydrauliques à rotor hypocycloïdal, 229, 230.  
 Multiplexage, 47, 269.

## N

Niveau sonore, 360.  
 No-Spin, 170, 171.  
 Normalisation, 349, 351, 352, 353, 354, 355, 356, 357, 358, 359, 360, 361.  
 Normalisation (Bureaux de), 351.  
 Normalisation européenne, 352.  
 Normalisation française, 351, 354, 355, 356, 357, 358, 359, 360, 361.  
 Normalisation internationale, 351, 354, 355, 356, 357, 358, 359.  
 Normes d'essais, 313, 314, 315, 316, 321.  
 Normes françaises, 354, 355, 356, 357, 358, 359, 360, 361.  
 Normes I.S.O., 353, 354, 355, 356, 357, 358, 359.  
 Noyau de ferrite, 59.  
 Numérique, 47, 251, 254.

## O

Organisation pour la Coopération et le Développement économiques), 313, 314, 315, 316, 335, 346.  
 Ondes acoustiques, 69.  
 Ondes hyperfréquences, 68, 70.  
 Ondes lumineuses, 69.  
 Ondes radio-électriques, 69.  
 Ondes ultrasonores, 68.  
 Option directionnelle, 60.  
 Ordinateur, 47, 49, 71, 72.  
 Ordinateur de bord, 49, 71, 72.  
 Organisation des circuits, 210.  
 Organisation Internationale de normalisation (I.S.O.), 353, 354.  
 Oscillateur, 47, 57, 59, 65.

Outils (entretien des), 344.  
 Outil porté, 241, 245, 250, 267.  
 Outil semi-porté, 241, 243, 245.  
 Outil traîné, 241, 243, 268.  
 Oxyde d'azote, 89.  
 Oxyde de carbone, 89.  
 Oxyde de soufre, 89.

## P

Paraffine, 87, 96, 97.  
 Parallélisme, 39, 177, 178.  
 Parc théorique, 28, 29.  
 Patinage, 70, 71, 72, 73, 74.  
 Pénétromètres, 194, 195.  
 Performances des tracteurs, 303, 314, 315, 344.  
 Période d'injection, 97.  
 Perméabilité magnétique, 59.  
 Pertes de charge, 212.  
 Pertes par roulement, 340.  
 Piézo-électricité, 47.  
 Pignons baladeurs, 151, 153, 154.  
 Pignons satellites, 158.  
 Pignon solaire, 158, 159.  
 Pilotage différentiel, 237.  
 Piton d'attelage, 244.  
 Plage d'utilisation, 309, 337.  
 Plage de puissance contrôlée, 108.  
 Planétaires, 165, 166, 169.  
 Plateau de pression, 146.  
 Pneumatiques, 41, 175, 192, 193, 194, 195, 196, 197, 198, 245, 331, 332, 339, 357.  
 Points d'attelage, 243.  
 Point d'écoulement, 87.  
 Point de trouble, 87, 96.  
 Pompes à barillet rotatif, 215, 216.  
 Pompe à eau, 126, 128, 130.  
 Pompes à engrenages, 213.  
 Pompe à huile, 129.  
 Pompes à palette, 213.  
 Pompes à pistons axiaux, 213, 215, 216.  
 Pompes à pistons radiaux, 213, 214, 215.  
 Pompe d'alimentation, 94, 95.  
 Pompes d'injection, 95, 97, 111, 114.  
 Pompes d'injection en ligne, 98, 99, 100, 107, 121.  
 Pompes d'injection rotatives, 98, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 108, 109, 121.  
 Pompe de transfert, 103, 105.  
 Pompes hydrauliques, 213, 215, 216, 279, 280.  
 Pont arrière, 163.  
 Pont avant, 168, 169, 172, 173.

Pont de Wheaststone, 64.  
 Porte-satellites, 141, 142, 158, 159, 168.  
 Position flottante, 256.  
 Poste de conduite, 32, 33, 34, 37, 38.  
 Poste de travail, 33.  
 Potentiomètre, 47, 59.  
 Poussières, 36, 37.  
 Pouvoir calorifique, 88.  
 Power-Shift, 161, 162.  
 Power-Shift (huiles), 281.  
 Préfiltre, 91, 93.  
 Présélection de gammes, 151.  
 Pression, 135, 205, 217, 218, 219, 278, 280.  
 Pression (limiteur de), 318, 319.  
 Pression d'huile, 301.  
 Prise de force, 40, 147, 148, 149, 152, 164, 173, 262, 263, 264, 265, 266, 267, 314, 315, 316, 336, 356, 357, 359, 360.  
 Prise de force avant, 266, 267, 359.  
 Prise de force indépendante, 263, 264.  
 Prise de force proportionnelle à l'avance, 265.  
 Prise de force semi-indépendante, 263.  
 Prise de force totalement indépendante, 264, 265.  
 Protecteur d'arbre à cardans, 267, 268.  
 Protecteurs d'arbres de transmission à cardans, 356.  
 Protection (structures de), 355, 360.  
 Protection contre le renversement (structures de), 360.  
 Protection de la prise de force, 360.  
 PTAC (poids total autorisé en charge), 321.  
 PTRAC (poids total roulant autorisé en charge), 321.  
 Puce, 47.  
 Puissance, 137, 138, 139, 307, 309, 311, 316, 335, 342.  
 Puissance (essais de), 357.  
 Puissance administrative, 308.  
 Puissance à la barre, 319.  
 Puissance à la prise de force, 314, 315.  
 Puissance constante, 310.  
 Puissance de traction, 314, 319, 320.  
 Puissance de traction à la barre, 314, 319.  
 Puissance hydraulique, 208, 210, 314, 318, 337, 357.  
 Puissance hydraulique (essais de), 318.  
 Puissance partielle de la prise de force, 357.  
 Puissance réelle, 308.

## R

Raccords rapides, 259.  
 Radars, 47, 68, 69, 70, 71, 72, 256.  
 Radars à effet Doppler, 68.  
 Radiateur, 126, 128, 129.  
 Raison du train d'engrenages, 138.  
 Rappels de mécanique élémentaire, 135.  
 Rappels de physique élémentaire, 135.  
 Rapport de progression (RP), 156.  
 Rapports de vitesse, 338.  
 Rayon de braquage, 314, 320, 321.  
 Réacteur, 203.  
 Recouvrement, 225, 226.  
 Recouvrement négatif, 225.  
 Recouvrement positif, 226.  
 Redressement de courant, 298, 299, 301.  
 Réducteur, 158, 168, 169, 218, 220.  
 Réducteur de pression, 218, 220.  
 Réducteurs finaux, 168, 169.  
 Refroidissement huile-air, 125, 129.  
 Refroidissement huile-eau, 123.  
 Refroidissement par air, 125, 126, 127, 130.  
 Refroidissement par eau, 125, 126, 127, 128, 130.  
 Refroidissement par huile, 125, 129, 130.  
 Régime, 137, 308, 309.  
 Régime nominal, 308, 309.  
 Réglementation, 349, 351, 352, 354, 355, 356, 357, 358, 359, 360, 361.  
 Réglementation communautaire, 360.  
 Réglementation française, 359, 360.  
 Règles essentielles de sécurité, 38.  
 Régulateurs, 97, 98, 101, 104, 106, 107, 108, 109, 111, 217, 218, 219, 221, 236, 237, 261, 298, 299, 300, 306, 307, 308, 335, 340, 342, 343.  
 Régulateurs de débit, 219, 221, 261.  
 Régulateurs de débit intégré, 261.  
 Régulateur de tension, 298, 299, 300.  
 Régulateurs électroniques, 109, 111.  
 Régulateurs mécaniques, 107.  
 Régulateurs « toutes vitesses », 342.  
 Régulation, 109, 110, 118, 119, 217, 218, 219, 236, 237.  
 Régulation de la pression, 217, 218, 219.  
 Régulation des turbocompresseurs, 118.  
 Régulation du débit, 119, 217, 219, 237.  
 Régulation du débit de carburant, 119.  
 Régulation électronique, 109, 110.  
 Relevage, 40, 41, 241, 244, 245, 247, 248, 254, 255, 256, 257, 258, 306, 314, 318, 319, 340, 346, 357.  
 Relevage électronique, 256, 257, 258.

Relevage hydraulique, 241, 244, 245, 247, 248, 254, 255, 308, 346.  
 Relevage hydraulique à contrôle de position et d'effort, 254.  
 Relevage mécanique, 257.  
 Remorques, 354, 356, 358.  
 Remorques (freinage des), 186, 232, 259, 262, 356.  
 Rendement, 125, 208, 210, 310, 312, 313, 341.  
 Rendement hydro-mécanique, 210.  
 Rendement unitaire, 210.  
 Rendement volumétrique, 210.  
 Renversement, 354, 360.  
 Renversement (structure de protection en cas de), 32.  
 Renvoi d'angle, 163.  
 Réparations, 331, 332.  
 Repérage des orifices hydrauliques, 206, 208.  
 Reports de charge, 54, 340.  
 Réserve de capacité, 292.  
 Réserve de couple, 307, 309, 336.  
 Résistance au roulement, 192, 198.  
 Rétrovision par caméra, 33.  
 Robots, 49.  
 Roues, 41, 339.  
 Roulement, 192, 193, 339, 340.

## S

S.A.E. (Society of Automotive Engineers), 274, 275, 277, 280.  
 Satellites, 141, 142, 158, 159, 165, 166, 167, 168, 169.  
 Schémas électriques, 287, 289, 290.  
 Sécurité, 38, 352, 354, 359, 361.  
 Sélecteur de vitesse, 151, 153, 160.  
 Semi-conducteur, 47.  
 Siège, 34, 35, 38, 39, 355, 356, 360.  
 Signal de charge, 236.  
 Signalisation, 41.  
 Sonar, 48.  
 Standardisation, 351.  
 Statistiques, 28, 29.  
 Structure de protection, 32, 39, 355, 360.  
 Structures de protection contre le renversement, 32, 360.  
 Substances toxiques, 36, 37.  
 Suralimentation, 115, 118, 119, 120, 121.  
 Suralimentation par air refroidi, 118.  
 Symboles électriques, 288.  
 Symboles hydrauliques, 206, 207.  
 Symboles pour les commandes, 356.

Systèmes d'aide à la conduite, 48, 49, 345, 346.  
 Systèmes de commande de freins, 185, 188, 189.  
 Système Dual Power, 157, 158, 159.  
 Système Hi-Lo, 157, 158.  
 Système No-Spin, 170, 171.

## T

T.L.F. (Température limite de filtrabilité), 87, 88, 96.  
 Tableau de bord, 72, 300.  
 Tableau de bord (indicateurs de), 300.  
 Talons, 197.  
 Tarage, 112.  
 Tassement, 194, 195.  
 Tassement du sol, 194.  
 Taux ajustable, 74.  
 Taux d'amortissement, 326.  
 Taux de charge, 333.  
 Taux fixe, 73.  
 Température limite de filtrabilité (T.L.F.), 87, 88, 96.  
 Tension, 290, 298, 299, 300.  
 Tête hydraulique, 101, 102, 103, 105.  
 Thermiques (moteurs), 312.  
 Thermocouples, 62, 63.  
 Thermostat, 127, 128.  
 Tracteurs, 231, 323, 325, 326, 327, 332, 333, 335, 339, 343, 344.  
 Tracteurs (coût des), 323, 325, 326, 327.  
 Tracteur (entretien du), 343.  
 Tracteurs (freinage), 182.  
 Tracteurs (performances des), 303, 314, 315, 344.  
 Tracteurs (utilisation des), 323.  
 Tracteurs agricoles, 26, 27, 314, 315, 335, 354, 355, 356, 357, 358, 359, 360, 361.  
 Tracteurs agricoles enjambeurs, 26.  
 Tracteurs agricoles rapides, 27.  
 Tracteurs agricoles spécialisés, 26.  
 Tracteurs agroroutiers, 27.  
 Tracteurs articulés, 24, 25.  
 Tracteurs à chenilles, 27, 28.  
 Tracteurs à chenilles, 360.  
 Tracteurs à deux roues motrices, 22, 24, 31.  
 Tracteurs à quatre roues directrices, 24.  
 Tracteurs à quatre roues motrices, 22, 24, 25, 26, 31.  
 Tracteurs classiques, 22.  
 Tracteurs étroits, 26.

Tracteurs forestiers, 26, 314, 354, 355, 356, 358, 359, 360, 361.  
Tracteur-outil, 339.  
Tracteur-outil (liaisons), 358.  
Tracteurs porte-outils, 24, 25.  
Tracteurs portique, 26.  
Tracteurs vigneron à chenilles, 28.  
Traction, 190, 191, 193, 194, 319.  
Tractoshift, 157, 159.  
Trains directeurs, 177.  
Trains épicycloïdaux, 140, 141, 158, 161, 162, 164, 165, 168.  
Trains planétaires, 140.  
Transducteurs, 48, 67.  
Transfert de charge, 242.  
Transmissions (lubrification des), 278, 279, 280, 281, 284.  
Transmissions, 40, 133, 136, 137, 138, 139, 143, 159, 162, 199, 201, 202, 211, 234, 235, 236, 267.  
Transmissions automatiques (lubrification des), 281.  
Transmission à cardans, 356.  
Transmissions de la puissance, 139.  
Transmission de la vitesse, 137.  
Transmission du couple, 138, 143.  
Transmissions hydrauliques, 162, 199, 211, 212.  
Transmissions hydrauliques (lubrification des), 278.  
Transmissions hydrocinétiques, 201, 202.  
Transmission hydrostatique, 234, 235, 236.  
Transmissions mécaniques, 133, 136, 137, 278, 279, 281, 284.  
Transmissions mécaniques (lubrification des), 278, 279, 281, 284.  
Transmission primaire, 267.  
Travail d'un couple, 136, 137.  
Travail d'une force, 135.  
Travail en pente, 42.  
Turbine, 115, 116, 117, 118, 201, 202, 203, 204.  
Turbine d'admission, 116, 117, 118.  
Turbine d'échappement, 115, 116, 117.  
Turbocompresseur, 93, 115, 116, 117, 118, 119, 120, 121, 123, 310.

## U

Ultra-sons, 48.  
Utilisation (coût prévisionnel d'), 331.  
Utilisation (manuels d'), 356.  
Utilisation (plage d'), 309, 337.  
Utilisation des tracteurs, 323, 325.

## V

Valeur résiduelle, 329, 330.  
Valeur standard, 327.  
Valve air-eau, 357.  
Valve de freinage, 187, 188, 262.  
Vaporisation, 82, 83, 85.  
Vase d'expansion, 127, 128.  
Ventilateur, 36, 130, 131.  
Ventilateurs débrayables, 130, 131.  
Ventilation dans les cabines fermées, 356  
Vérins, 227, 228.  
Vérins à double effet, 228.  
Vérins à simple effet, 228.  
Vérins télescopiques, 228.  
Vêtements, 39.  
Vibrations mécaniques, 35.  
Visco-coupleur, 130, 131.  
Viscosité, 273, 274, 275, 276, 278, 279, 280, 282, 283, 284.  
Visibilité (champ de), 355.  
Vitesse, 71, 72, 137, 139, 141, 142, 157  
Vitesses (boîte de), 338, 339.  
Vitesses (étagement des), 339.  
Vitesse (rapport de), 338.  
Vitesse angulaire, 137, 141, 142.  
Voie, 320.  
Voltmètre thermique, 302.  
Volute d'admission, 116, 117.  
Volute d'échappement, 116, 117, 118.

## Z

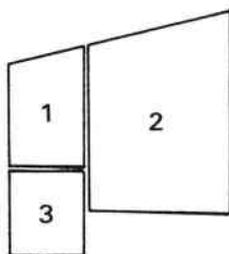
Zone d'action du régulateur, 306, 307, 308, 335, 340, 341, 343.  
Zone d'écrasement, 41.  
Zone de calage, 340, 342.  
Zone de pleine charge, 340, 341, 342.  
Zone du couple maximale, 310.

---

# CRÉDIT PHOTOS

---

## Photos de couverture :



1. Renault Agriculture (création ETAI studio) : vue partielle en coupe d'une transmission « tractoshift »
2. Graphisme du tracteur de couverture : SEDI 91952 Les Ulis, sur propositions CEMAGREF-DICOVA, service formation
3. CEMAGREF DICOVA : vue partielle des circuits électroniques de l'unité de commande d'un relevage SAGEM-RENAULT (TCE)

## Photos des chapitres 1 à 12 :

1. Moteur bicylindre 4 temps à pétrole du tracteur Mc-CORMICK TITAN 10-20 : cylindrée 8,6 l - puissance 20 ch à 500 tr/mn (archives C. Cédra)
2. Tracteur à pétrole JOHN DEERE 12-25 : bicylindre, 25 ch à 750 tr/mn, 2 vitesses, 2700 kg (archives C. Cédra)
3. Tracteur à essence Renault HO de 1921 : 4 cylindres, 20 ch à 1600 tr/mn, 2100 kg (document Renault Agriculture)
5. Tracteur à deux roues motrices (photo Jean Biaugeaud, Renault Agriculture)
6. Tracteur à quatre roues motrices (photo John Deere)
11. Tracteur portique « gantry » (photo Silsoe Research Institut)
12. Tracteur étroit (photo Renault Agriculture)
15. Microtracteur (document Ferrari)
21. Tracteur étroit avec arceau de sécurité rabattable (photo CEMAGREF-DICOVA)
22. Vue d'une cabine et d'un poste de conduite (photo Massey-Ferguson)
26. Filtre anti-poussières d'une cabine (photo CEMAGREF-DICOVA)
28. Commande mécanique extérieure d'un relevage hydraulique (photo CEMAGREF-DICOVA)
30. Ordinateur de bord (photo R. Autellet)
32. Vue d'un capteur pour la surveillance des chutes de régime (photo CEMAGREF-DICOVA)
33. Vue d'une console d'indication (photo John Deere)
35. Vue du circuit électronique de l'unité de commande Bosch EHR d'un relevage hydraulique (photo CEMAGREF-DICOVA)
38. Vue en coupe d'un capteur à lame souple : I.L.S. (photo CEMAGREF-DICOVA)
40. Vue d'un capteur inductif à réluctance variable (photo CEMAGREF-DICOVA)
42. Vue d'un capteur à courants de Foucault (photo CEMAGREF-DICOVA)

- 46.** Vue d'un capteur de position linéaire à bobines différentielles (photo CEMAGREF-DICOVA)
- 50.** Vue d'un capteur de position linéaire à variation d'inductance Wabco (photo Renault Agriculture)
- 61.** Vue en coupe d'un radar à effet Doppler Dickey-John (photo CEMAGREF-DICOVA)
- 62.** Radar à double faisceau RADAREX (document A.A.E.E. Sparex)
- 63.** Tableau de bord avec indicateur de vitesse réelle d'avancement et de patinage (photo Case IH)
- 64.** Console de commande d'un relevage avec contrôleur de glissement à taux fixe FENDT (photo R. Autellet)
- 65.** Console d'un contrôleur de glissement à taux fixe : SAME (photo R. Autellet)
- 66.** Console du système « datatronic » Massey-Ferguson avec contrôle de glissement à taux ajustable (photo Massey-Ferguson)
- 67.** Console du contrôleur de glissement à taux ajustable « tractoradar » des tracteurs Renault (photo Renault Agriculture)
- 82.** Moteur diesel à injection directe de tracteur agricole (photo Case IH)
- 92.** Vue d'une pompe d'injection en ligne pour moteur diesel (photo CEMAGREF-DICOVA)
- 104.** Vue de la commande d'un régulateur électronique SAME (photo R. Autellet)
- 114.** Vue d'un turbo-compresseur avec soupape by-pass de régulation (coupe et photo CEMAGREF-DICOVA)
- 116.** Vue d'une pompe d'injection rotative Bosch EP/VE équipée d'un correcteur de débit de suralimentation (photo CEMAGREF-DICOVA)
- 170.** Disque de freins immergés en matériau cellulo-composite (photo CEMAGREF-DICOVA)
- 171.** Disque de freins immergés en matière céra-métallique frittée (photo CEMAGREF-DICOVA)
- 179.** Jumelage (photo Case IH)
- 183.** Vue d'un pénétromètre automatique (photo CEMAGREF)
- 201.** Vue en coupe d'une pompe à pistons radiaux à auto-régulation de débit (document John Deere)
- 203.** Vue d'une pompe hydraulique à pistons axiaux et plateau inclinable (coupe et photo CEMAGREF-DICOVA)
- 214.** Vue en coupe d'un distributeur hydraulique à double effet (coupe et photo CEMAGREF-DICOVA)
- 222.** Vue d'un moteur hydraulique à rotor hypocycloïdal (photo CEMAGREF-DICOVA)
- 235.** Relevage avant (photo John Deere)
- 251.** Relevage à commande mécanique (photo Fiatagri)
- 252.** Console d'un relevage à commandes électroniques (photo Massey-Ferguson)
- 253.** Commandes extérieures d'un relevage à commandes électroniques (photo CEMAGREF-DICOVA)
- 256.** Distributeurs auxiliaires avec régulateur de débit intégré (photo CEMAGREF-DICOVA)
- 257.** Vue des raccordements hydrauliques pour le freinage des remorques et les circuits extérieurs (photo CEMAGREF-DICOVA)
- 287.** Essai dynamique de résistance d'une cabine de sécurité au CEMAGREF (photo CEMAGREF)

- 90. Essai de traction au CEMAGREF : le tracteur est relié au véhicule-frein par une barre dynamométrique (photo CEMAGREF)
- 00. Vue d'un indicateur de consommation (photo CEMAGREF-DICOVA)
- 01. Vue d'un capteur de débit de carburant (photo (CEMAGREF-DICOVA)
- 02. Système d'aide à la conduite Renault « ACET » (photo Jean Biaugeaud, Renault griculture)
- 03. Vue d'un laboratoire mobile d'essai PERFAGRI 92 (photo PERFAGRI 92).

### Photos hors-texte :

- Photo p. 12 — CASE IH : vue en coupe d'un tracteur Case IH « Magnum » 5140,
- Photo p. 13 — FIATAGRI : vue en coupe d'un tracteur Fiatagri « Winner » F130,
- Photo p. 14 — RENAULT AGRICULTURE (création ETAI studio) : vue en coupe d'un tracteur Renault 155.54, avec cabine suspendue,
- Photo p. 44 — CEMAGREF-DICOVA : vue partielle des circuits électroniques de unité de commande (SAGEM) d'un relevage Renault Agriculture TCE,
- Photo p. 76 — FORD NEW-HOLLAND : vue en coupe d'un moteur diesel « Power tar », six cylindres
- Photo p. 134 — FIATAGRI : vue en coupe de l'amplificateur de traction et de la boîte à vitesses des tracteurs « winner »,
- Photo p. 176 — JOHN DEERE : attelage avant,
- Photo p. 200 — CEMAGREF-DICOVA : filtre et répartiteur hydraulique (basse pression) d'un tracteur Massey-Ferguson,
- Photo p. 240 — VICON : train d'outils combinés pour le travail du sol et le semis,
- Photo p. 272 — JOHN DEERE : vue partielle en coupe d'un différentiel auto-bloquant,
- Photo p. 296 — CEMAGREF-DICOVA : coupe d'un alternateur,
- Photo p. 304 — CEMAGREF : Vue de la salle de mesure et d'un banc pour l'essai de puissance à la prise de force d'un tracteur,
- Photo p. 324 — CASE IH : travail du sol et semis avec tracteur équipé de pneumatiques de grande largeur.

---

# CRÉDIT DESSINS

---

• **Graphisme du tracteur de couverture** : SEDI 91952 Les Ulis, sur proposition CEMAGREF-DICOVA, service formation.

• **Sommaires des chapitres 1 à 11 pages 15, 43, 75, 133, 175, 199, 239, 271, 285, 303, 323**, SEDI 91952 Les Ulis, sur propositions CEMAGREF-DICOVA, service formation.

• **Schémas et figures** : SEDI 91952 Les Ulis, sur propositions CEMAGREF-DICOVA, service formation, sauf les figures :

- |                          |                              |
|--------------------------|------------------------------|
| 10. Fendt                | 139. Massey-Ferguson         |
| 14. JCB                  | 144. Case IH                 |
| 59. Micro-Trak Laffineur | 145. John Deere              |
| 60. Dickey-John          | 150. Ford New-Holland        |
| 69. Deutz MWM            | 151. John Deere              |
| 89. Lucas-CAV            | 156. Massey-Ferguson         |
| 93. Bosch                | 157. ZF (Zahnradfabrik GMBH) |
| 94. Bosch                | 158. KHD Deutz               |
| 95. Bosch                | 166. Danfoss                 |
| 96. Lucas-CAV            | 189. Fiat                    |
| 97. Lucas-CAV            | 219. Koppen-Lethem           |
| 98. Bosch                | 221. Danfoss                 |
| 106. Bosch               | 223. Poclain                 |
| 110. Garrett             | 237. Accord                  |
| 119. Purflux             | 265. Walterscheid            |
| 126. Behr                | 273. Lucas                   |
| 134. Massey-Ferguson     | 277. Valeo                   |

# VIENT DE PARAÎTRE

## Lexique illustré du machinisme et des équipements agricoles

Coédition CEMAGREF-Tec et Doc

Coordination Camille Cédra

1 500 termes et 356 illustrations, ce lexique décrit les matériels les plus couramment utilisés en agriculture :  
moteurs, transmissions, tracteurs, liaisons tracteur-outil, travail du sol, plantation, semis, fertilisation, drainage, irrigation, traitement des cultures, récolte des fourrages, des céréales, des racines et tubercules, manutention.

Entièrement réactualisé et facile à utiliser (sommaires détaillés, index alphabétique général), cet ouvrage est particulièrement recommandé aux enseignants et aux élèves, aux conseillers de développement, aux agents commerciaux pour l'agriculture, aux techniciens et experts des assurances, aux services import-export...



1991, Collection *Formagri*, Tome 1

2<sup>e</sup> édition, 17 × 24, relié

350 pages, 1 500 termes, 286 dessins, 70 photos

**Prix : 195 F TTC franco**

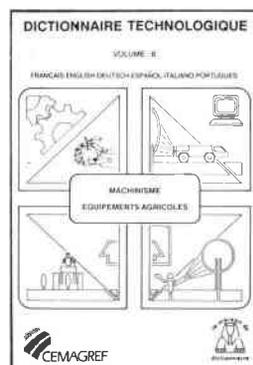
# Dictionnaire MACHINISME ÉQUIPEMENTS AGRICOLES

(6 langues : Français, Anglais, Allemand, Espagnol, Italien, Portugais)

Le **Dictionnaire** multilingue du *Machinisme et des équipements agricoles* (3<sup>e</sup> édition — 1990), réalisé par le service documentation du CEMAGREF-DICOVA, est publié en co-édition avec « La Maison du Dictionnaire » dans sa collection *Dictionnaire Technologique*.

Cet **ouvrage de référence**, très pratique est destiné aux techniciens, enseignants, ingénieurs, constructeurs, prescripteurs concernés par la motorisation, les outils, les équipements agricoles et technologies les plus récentes.

Ce dictionnaire de 1 300 pages regroupe les équivalents en **six langues** : *Français, Anglais, Allemand, Espagnol, Italien, Portugais*, de **11 700** termes spécifiques du vocabulaire du machinisme, de la mécanisation, des outils et des équipements agricoles (termes généraux, scientifiques, techniques, économiques).



11 700 termes,  
1 300 pages,  
1 volume relié 16 × 23

Les **19** chapitres du dictionnaire sont les suivants :

1. Termes généraux : agriculture, élevage, bâtiments agricoles, etc.
2. Termes généraux : maladies des plantes et insectes nuisibles
3. Économie, gestion, statistique ; informatique, électronique, robotique.
4. Éléments de mécanique générale.
5. Termes généraux : machines et engins agricoles.
6. Moteurs et parties de moteurs. Carburants et lubrifiants.
7. Tracteurs, motoculteurs et organes essentiels.
8. Matériels de travail du sol.
9. Matériels de fertilisation, de semis et de plantation.
10. Matériels de lutte contre les agents atmosphériques et naturels.
11. Matériels de lutte contre les ennemis des cultures.
12. Matériels pour travaux divers aux champs et d'irrigation.
13. Matériels de récolte.
14. Matériels de battage, de tri et de conditionnement.
15. Matériels d'élevage et bâtiments agricoles.
16. Matériels de transformation des produits agricoles.
17. Matériels de traite et de transformation des produits laitiers.
18. Matériels de manutention et de transport.
19. Matériels pour la mise en état, la conservation des sols et matériels forestiers.

Prix de vente de l'ouvrage : **750 F TTC** (France)

A commander au CEMAGREF-DICOVA, BP 22, 92162 ANTONY CEDEX — Tél. : (1) 40.96.61.32  
Joindre votre paiement à la commande

# VIENT DE PARAÎTRE

## CHOISIR les pneumatiques

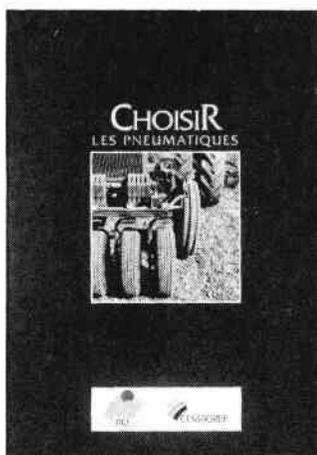
*Coédition ITCF-CEMAGREF*

**Rôles des pneumatiques agraires ;**

description ;

choix des pneumatiques moteurs, porteurs, directeurs ;  
utilisation.

**Caractéristiques** des pneumatiques disponibles sur le marché  
pour les usages agricoles, forestiers et divers.



75 tableaux très complets

132 pages, broché, 21 × 29,7

**Prix : 170 F TTC**

**Les tracteurs agricoles** - 1992 - Collection **FORMAGRI, volume 2** conduite par B. CHEZE. 1<sup>re</sup> édition - ISBN 2-85362-221-5 (CEMAGREF collection) et 2-85362-259-2 (CEMAGREF volume 2), ISBN 2-85206-738-2 (Tec et Doc collection) et 2-85206-809-5 (Tec et Doc volume 2).

© Copyright : éditions CEMAGREF-DICOVA et TEC et DOC. Directeur de la publication : R. HENAFF - Coordination de la rédaction : C. CÉDRA - Coordination de l'édition : M. BOUDOT-LAMOTTE - Composition, impression : SNIEP, BP 89, 61303 L'Aigle - Maquette de couverture : F. CÉDRA - Crédits photos et dessins pp. 38 et 388 - Photogravure : SNIEP - Façonnage : SNIEP. Édition et diffusion : coédition CEMAGREF-DICOVA, B 22, 92162 Antony Cedex et TEC et DOC 14, rue de Provigny, 94436 Cachan Cedex - Diffusé aux libraires par TEC et DOC.

**Prix de vente : 165 F TTC**





**Ce nouvel ouvrage pédagogique de la collection *FORMAGRI*, réalisé par le CEMAGREF et ses partenaires, propose une approche globale des tracteurs agricoles... Outre les descriptions de base, des textes illustrés inédits sont consacrés à l'ergonomie, à la sécurité, à l'électronique, à la technologie, sans oublier les aspects économiques, normatifs et réglementaires.**

**Un livre de référence pour l'enseignement, les techniciens, les agriculteurs, leurs conseillers et prescripteurs.**



Coédition  
CEMAGREF-DICOVA  
Lavoisier Tec et Doc