



Université Mentouri Constantine1  
Faculté des Sciences de la technologie  
Département Génie des Transports



Cours L3 IT

# Maintenance des parcs roulants Partie 2/3

Par :

Pr. M.S. BOULAHLIB

Constantine 2010

# Sommaire

- Chapitre 01 : Introduction a la maintenance.
- Chapitre 02 : Concept de la maintenance.
- Chapitre 03 : Le conducteur et son véhicule.
- Chapitre 04 : Contrôle technique automobile en Algérie.
- Chapitre 05 : Méthodes d'analyses.
- Chapitre 06 : Documentation technique.
- Chapitre 07 : Moteurs à combustion interne.
- Chapitre 08 : Identification du véhicule.
- Chapitre 09 : Organisation du garage.
- Chapitre 10 : Devis.
- Chapitre 11 : Bon de commande.
- Chapitre 12 : Planification des réparations.
- Chapitre 13 : Facturation.
- Chapitre 14 : Service Apres Vente.

# **Chapitre 6**

## **La documentation technique**

# 1- LA DOCUMENTATION TECHNIQUE

Elle contient :

- des informations techniques
- les procédures de démontage / montage,
- les procédures de réglage,
- les procédures de diagnostic.

Ces renseignements aident le personnel de maintenance dans la réalisation de ses tâches.

Chaque numéro consacre un dossier complet à l'*étude technique et pratique* d'une automobile.



Le modèle choisi est généralement un véhicule courant à l'époque de l'édition de la revue, quelle que soit sa marque.

Le dossier comprend :

- la description détaillée du véhicule,
- les recommandations d'entretien courant et l'aide pas à pas au démontage et remontage des principaux éléments, avec à l'appui de nombreux schémas.

Le reste de la revue est consacrée selon les numéros à :

- l'outillage,
- l'électricité,
- les accessoires,
- l'évolution de certains modèles de véhicules, etc...

Généralement en fin de document se trouve une feuille cartonnée détachable nommée

## *Fiche descriptive*

retrçant les principales caractéristiques du véhicule qui fait l'objet du dossier.

## Exemple d'exploitation d'une Revue Technique Automobile :

- Présentation d'une revue technique :
- Page de garde :

### 2.1 page de garde :

**REVUE TECHNIQUE automobile**

ISSN 1155-4375  
3 48400 070728 3  
PROF. 811 500 V  
FEVRIER 2000  
N° 625

**Actualités**  
High Tech : Amortisseur révolutionnaire Delphi  
Nouveautés : Renault Kangoo  
Audi TT  
Volkswagen Polo  
Reportage : Renault, innovations techniques  
tous azimuts

**Évolution**  
PEUGEOT 106 essence de 96 à 99

**Étude**  
**VOLKSWAGEN Passat**  
Diesel 4 cylindres  
depuis 10/96

**Dossier**  
Injection directe  
essence

**Présentation des évolutions techniques apportées à certain véhicule : Peugeot 106 Essence.**

**Informations relatives au monde de l'automobile.**

**Date de parution:**  
FEVRIER 2000  
**Numéro de la revue :**  
N° 625

**Véhicule sur lequel porte l'étude technique détaillée : Volkswagen Passat Diesel.**

**Dossier technique présenté : Injection directe essence.**

ET-A-1 20, rue de la Saunerie - 92641 Boulogne-Billancourt Cédex - Tél. 01 46 99 24 24 - FAX 01 46 99 24 24 - www.automobile-technique.com  
FRANCE ET ÉTRANGER  
4,000 100%

- **Identification du véhicule :**

## 2.3 Identification du véhicule

Cette page nous indique où se trouve les numéros indispensables pour effectuer une recherche ou une commande de pièce détaché.

Exemple : Moteur. Boîte de vitesses. Châssis. Référence peinture.

Des photos sont prises pour localiser l'endroit du marquage des numéros.

VEUSPACE 1000  
2008 2010 1100 RTD

### IDENTIFICATION

**PLAQUE CONSTRUCTEUR (A)**  
La plaque constructeur est vissée à l'extérieur gauche du compartiment d'avant.  
Elle comporte les indications suivantes :  
1. Le type de construction.  
2. Le numéro de réception constructeur.  
3. Le numéro d'identification.  
4. Le poids total à terre en charge.  
5. Le poids total maximal autorisé.  
6. Le poids max autorisé sur l'essieu avant.  
7. Le poids max autorisé sur l'essieu arrière.

**NUMÉRO D'IDENTIFICATION (B)**  
Le numéro d'identification, à 17 caractères (sauf les CC), est tapé à l'ordinaire en relief dans le compartiment moteur. Il est également inscrit sur la plaque constructeur et sur celle d'identification.

**PLAQUE D'IDENTIFICATION (C)**  
La plaque d'identification est collée dans le coffre à bagages, à gauche ou à droite en fonction de la version de la moto.  
Elle comporte les indications suivantes :  
1. Le numéro d'identification de la moto.  
2. Le numéro d'identification de l'essieu.  
3. Le code modèle.  
4. L'acquisition du type/option/moteur.  
5. Les références de pièces et de la liste de pièces.

**NUMÉRO DE CENTRE - Le code de fabrication (D)**  
6. Le numéro de centre - Le code de fabrication (D)  
7. Le code des équipements optionnels.

**RÉFÉRENCE PEINTURE (E)**  
La référence peinture est inscrite sur la plaque d'identification (partie supérieure).

**NUMÉRO MOTEUR (F)**  
Le type et le numéro d'ordre du moteur sont gravés sur le bloc-cylindres, au-dessus du piston et sur le côté de la culasse. Le type moteur est également inscrit sur la plaque d'identification.

**NUMÉRO DE BOÎTE DE VITESSES (G)**  
Les lettres indiquent le type de boîte (1) et le numéro de la boîte (2) sur le haut du carter d'embrayage. Le type (3) est inscrit sur la plaque d'identification.

**NUMÉRO DE TRANSMISSION (H)**  
Les lettres indiquent le type de boîte (1) et le numéro de la boîte (2) sur le haut du carter d'embrayage. Le type (3) est inscrit sur la plaque d'identification.





- Chapitre moteur :

CHAPITRE

# 1 MOTEUR

## Caractéristiques Détaillées

### ■ GÉNÉRALITÉS

Moteur Diesel 4 temps turboalimenté à injection directe, 4 cylindres en ligne verticaux, disposé longitudinalement à l'avant du véhicule. Trois cylindres en fer et un cylindre en alliage d'aluminium. Les moteurs AMJ, AMH et AFN sont équipés d'une pompe d'injection à régulation électronique. Le moteur AJM est équipé d'un dispositif d'injection par injecteur-pompe à régulation électronique. Distribution par simple arbre à cammes en tête entraînée par courroie crantée.

Type moteur	AMJ	AMH	AFN	AJM
Mesure à cœur (mm)		75,5 x 95,5		
Cylindres (cm3)		1 896		
Rapport volumétrique	19,5 à 1		19,5 à 1	
Pression de compression				
- Normale		25 à 31 bar		
- Maximale		19		
- Sortie des cylindres		max 5		
Pression max.				
- CFE (M1 à 1/min)	66 à 4 000	66 à 3 750	81 à 4 750	80 à 4 000
- DM (M1 à 1/min)	90 à 4 000	90 à 3 750	103 à 4 150	115 à 4 000
Couple max.				
- CFE (M1 à 1/min)	28,2 à 1 900	21 à 1 900	23,5 à 1 900	23,5 à 1 900
- DM (M1 à 1/min)	29,6 à 1 900	21,4 à 1 900	23,9 à 1 900	29 à 1 900

3 épaisseurs sont disponibles en fonction de la couleur de dépôt des pistons par rapport au plan de joint du trio-cylindres. Ces épaisseurs sont identifiées par des trous réalisés sur une languette du joint de culasse, en face du cylindre n°2.

Déplacement des pistons (mm)	Épaisseur du joint de culasse (mm)	Nombre de trous
0,91 à 1,00	1,45	1
1,01 à 1,10	1,52	2
1,11 à 1,20	1,61	3

### VS DE CULASSE

Vis au nombre de 10.  
Diamètre extérieur: 12 mm.  
Longueur: 115 mm.  
Les vis doivent être remplacées à chaque démontage.  
Ordre de serrage: se faire en débutant par les vis centrales.

### GUIDES DE SOUPAPES

Guides en bronze rapportés par emmanchement dans la culasse du côté de l'arbre à cammes. Ils sont positionnés par une collerette et comportent à leur extrémité un épaulement destiné à recevoir le joint de tige de soupape.  
Diamètre intérieur: 7 mm.  
Longueur: 36,5 mm.  
Jeu radial tige de soupape/guide: max 1,3 mm.

En début de chaque chapitre on peut trouver les caractéristiques détaillées présentant :  
Des généralités sur le système abordé.  
Des données techniques sur les sous-ensembles, côtes, valeurs de réglages

En fin des caractéristiques détaillées on trouve des valeurs de couples et valeurs angulaires de serrage, indispensable au remontage des organes.

A la suite se trouve les conseils pratiques : Pour chaque opérations, un mode opératoire (ou méthode) est décrit et devra être respecté permettant de gagner du temps. Exemple : Contrôle et réglage du jeu au soupapes.

Moteur

### ■ COUPLES ET ANGLES DE SERRAGE

(en Nm ou en kg au en degrés)

Joint de culasse : pré-serrage : 2  
1<sup>er</sup> phase : 6,5  
2<sup>ème</sup> phase : serrage angulaire de 90°  
3<sup>ème</sup> phase : serrage angulaire de 90°  
4<sup>ème</sup> phase : serrage angulaire de 90°

Couvre culasse : 1  
Roue dentée d'arbre à cammes : 11 à 10,9  
Capeaux de pâlens d'arbre à cammes : 1,4 à 2  
Câble tendeur de courroie de distribution : 2,5  
Câble entraîneur de courroie de distribution : 2,1 à 2,6  
Couvercle de distribution : 0,9  
Vielax moteur : 14,7 à 21,2  
Roue dentée de vilebrequin (pas à gauche) : 0,4  
Poulie de vilebrequin : 2,5  
Capeaux de pâlens de vilebrequin : 2 + serrage angulaire de 100°  
Capeaux de bielles : 2 + serrage angulaire de 90°  
Roue dentée de pompe à injection : 4,2 à 5,2  
Pompe haute pression : 2,5  
Injecteur sur la rampe commune : 2,2  
Support de la pompe : 2,5

Tuyau sur les injecteurs : 2,6 à 3,2  
Fusible du filtre à combustible : 2,0  
Brides des injecteurs : 3  
Pompe à vide : 2,1 à 2,6  
Pompe à eau : 2,5  
Ballon de thermostat : 2,2 à 2,3  
Collecteur d'admission : 2,5  
Collecteur d'échappement : 2,5  
Support moteur droit : 7,5 (vs M12), 5 (vs M10)  
Support moteur arrière : 7,5  
Support moteur arrière sur le bancou : 13,5  
Support de boîte de vitesses DM Carter : 5  
Support boîte de vitesses côté gauche : 8,5  
Turboalimentateur sur collecteur d'échappement : 2,5  
Carter de pompe à huile : 0,8 à 1,2  
Porte-bague d'étanchéité arrière de vilebrequin : 0,6 à 1,2  
Échangeur de température d'eau : 6  
Manocontact de pression d'huile : 1,2  
Branchement de vilebrequin : 2  
Carter d'huile moteur : 0,9 à 1,2 (vs M10) 2,3 à 3,3 (vs M12)

### Conseils Pratiques

#### JEU AUX SOUPAPES

**Contrôle**

- Débrancher la batterie.
- Déposer le couvercle-culasse et son joint.
- Lever une des tiges avant et mesurer le rapport de 4° de 0°.
- Tourner le roue dans le sens de marche afin d'entraîner le moteur en rotation.
- Amener le sommet des cammes d'un même cylindre vers le haut (soupapes fermées).
- Moteur froid, mesurer le jeu aux soupapes à l'aide d'une règle à épaisseur.
- Répéter l'opération à la même méthode pour les autres cylindres.
- Si besoin est, effectuer le réglage du jeu aux soupapes.

**Réglage**

- En procédant de la même manière que pour le contrôle, tourner vers le haut les cammes d'un même cylindre.
- Tourner le vilebrequin d'un quart de tour de façon à ce que les soupapes ne touchent pas le piston lorsque l'on abaisse le piston.
- Enfoncer le piston en utilisant le levier spécial 1 863 445 000 et le maintenir dans cette position avec l'outil 1 800 124 001.
- À l'aide d'une pince, déposer la pastille de réglage.
- Déterminer la couleur de la pastille à monter en effectuant l'opération suivante : l'épaisseur de la pastille choisie + jeu mesuré (au théorique) + épaisseur de la pastille à monter.
- Choisir une pastille dont l'épaisseur correspond à la valeur déterminée (la valeur n'est pas disponible, prendre la pastille qui s'en approche le plus par défaut).
- Poser la pastille de réglage.
- Procéder de la même manière pour les autres cylindres.
- Remonter le couvercle-culasse et rebrancher la batterie.

**EN BREF :** Le repasse de la pompe d'injection se exécute avec calage, si ce n'est celui de la courroie de distribution.  
Le moteur se dépose avec la boîte de vitesses par l'avant du véhicule. Il est donc nécessaire de déposer les trois avant.  
Le dépose de la culasse doit s'effectuer moteur en place.  
La vis de fixation de la roue dentée de vilebrequin possède un pas à gauche.  
Le remplacement de la courroie de distribution peut s'effectuer moteur en place.  
Le dépose de la pompe à huile et de la pompe à eau ne peut s'effectuer qu'après la dépose de la courroie de distribution.

essai moteur. Le vis éclatant, remplacer les pistons défectueux.  
- Sur la rampe commune, il est recommandé de déposer les raccords adaptateurs des sorties haute pression.

**Dépose-repose de la pompe haute pression**

**Chapitre 7**  
**Moteurs**  
**à combustion interne**



## Moteurs à allumage commandé (essence)

### Introduction

C'est une **déflagration** (explosion) qui se produit au sein de ces moteurs.

Les moteurs à allumage commandé, nécessitent, une **étincelle** pour le déclenchement de la combustion du mélange

carburant/air.

Tous les moteurs utilisant comme carburant de l'essence, ou de l'alcool, voire un gaz (GPL) ou autre, dont le déclenchement de la combustion est dépendant d'une source d'énergie externe (bougie, trembleur...) sont appelés



Moteur Renault Energy 1.4 de la Symbol

### « moteur à allumage commandé »

Le moteur à allumage commandé est équipé d'un système complet d'allumage, composé de :



Bougies



Bobine



Rupteur



Faisceau

- Une bougie, qui fait des étincelles
- Une bobine, qui sert à générer une haute tension, nécessaire à la création de l'étincelle
- Un système de commande de l'allumage (rupteur ou système électronique)
- Un faisceau électrique.



## 2.2. Fonctionnement

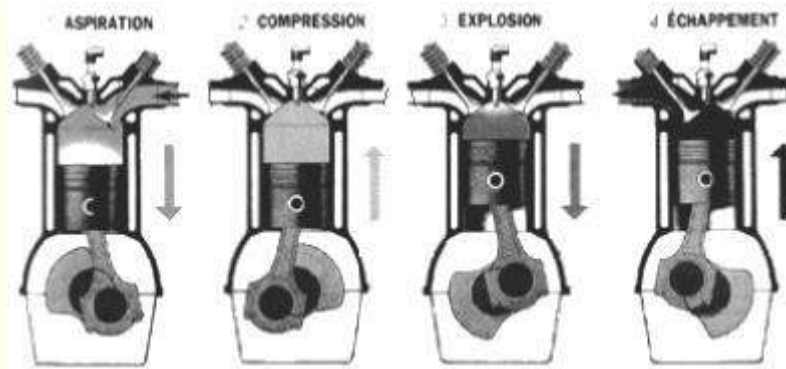


Figure II.1: Cycle quatre temps à allumage commandé

Son cycle (de fonctionnement) se décompose analytiquement en quatre *temps* (ou phases).

Le mouvement du piston est initié par la combustion (augmentation rapide du volume des gaz) d'un mélange de carburant et d'air (comburant) qui a lieu durant le *temps moteur*.

Le moteur fonctionne, dès lors, seul et produit un couple sur son arbre de sortie.

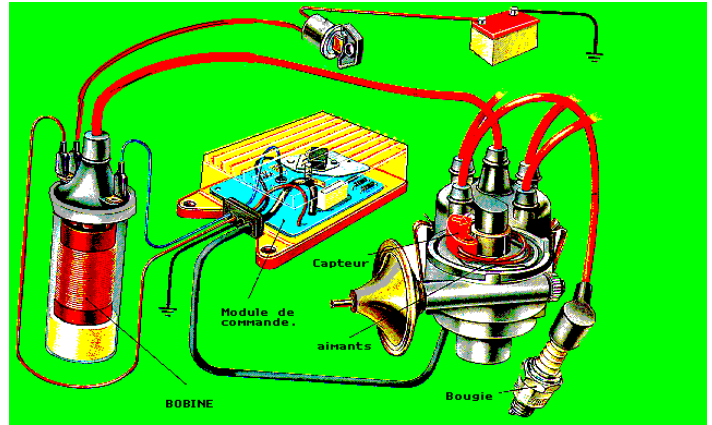
1. **admission** d'un mélange air et de carburant vaporisé, présent dans le conduit d'admission, mélange préparé par divers composants (carburateur ou système d'injection) : ouverture de la soupape d'admission et descente du piston, ce dernier *aspire* ainsi ce mélange dans le cylindre à une pression de **-0,1 à -0,3 bar**.
2. **compression** du mélange : fermeture de la soupape d'admission, puis remontée du piston qui comprime le mélange jusqu'à **12 à 18 bars et 400 à 500 °C** dans la chambre de combustion.
3. **combustion (détente** aux environs du point mort haut) : moment où le piston atteint son point culminant et, ou la compression est au maximum, la bougie d'allumage, (connectée à un générateur d'électricité haute tension), produit une étincelle ; la combustion rapide qui s'ensuit constitue le temps moteur, les gaz chauds à une **pression moyenne de 40 bars** repoussent le piston, initiant le mouvement.
4. **échappement** : ouverture de la soupape d'échappement et remontée du piston qui chasse les gaz brûlés détendus dans le collecteur d'échappement, laissant la place à une nouvelle *charge* de mélange. Un nouveau cycle recommence.

### 2.3. Allumage électronique

Un **allumage électronique** est une évolution de l'allumage classique par batterie/bobine des moteurs à explosion.

Il a consisté à remplacer aussi le mécanisme d'avance à l'allumage par un système électronique (en réalité, dans ce cas, le système est réglé sur *pleine avance*) et un retardateur électronique introduit le retard nécessaire à la situation du moteur.

Introduit dans les années 1970, l'allumage électronique s'est généralisé sur de nombreuses catégories de moteurs (automobiles, motos, etc.) à partir des années 1980.



Allumage électronique

### 2.4. Avantages et inconvénients du moteur à allumage commandé

- Plus léger
- Plus vif
- Plus silencieux
- Cout moindre

### 2.5. Les pannes

Les pannes d'allumage sont une des grandes causes d'immobilisation involontaire des véhicules à moteur.

- Usure des rupteurs
- Déréglage du point d'avance
- Usure ou grippage du système d'avance

### 2.6. Combustion

La combustion du mélange est une transformation chimique (oxydation vive) du carburant et de l'oxygène.

On utilise généralement l'**octane** comme molécule permettant de décrire une combustion de ce type.

Équation de la combustion de l'octane :



## 2. Moteur Diesel

### Principe

Fruit des travaux menés par l'ingénieur allemand Rudolf Diesel entre 1893 et 1897, le **moteur Diesel** est un moteur à combustion interne dont l'allumage n'est pas commandé mais spontané, par phénomène d'auto-inflammation.

Il n'a donc pas besoin de bougies d'allumage.

Cela est possible grâce à un très fort taux de compression (**rapport volumétrique**) d'environ 14:1 à 25:1, permettant d'obtenir une température de 700 à 900 °C.

Des bougies de préchauffage sont souvent utilisées pour permettre le démarrage du moteur à froid en augmentant la température de la chambre de combustion, mais leur présence n'est pas systématique.

Ce type de moteur à taux de compression élevé a connu une expansion rapide en automobile à partir de la fin des années 1980 lorsque la suralimentation par turbocompresseur en a notablement amélioré les performances.

Comme le moteur thermique à allumage commandé, le moteur Diesel est constitué de pistons coulissants dans des cylindres, fermés par une culasse reliant les cylindres aux collecteurs d'admission et d'échappement, culasse équipée de soupapes commandées par un ou plusieurs arbres à cames.



Moteur VW TDI

Le fonctionnement repose sur l'**auto-inflammation** du **gazole**, dans de l'**air comprimé** à plus de 1:20 du volume du cylindre à environ :



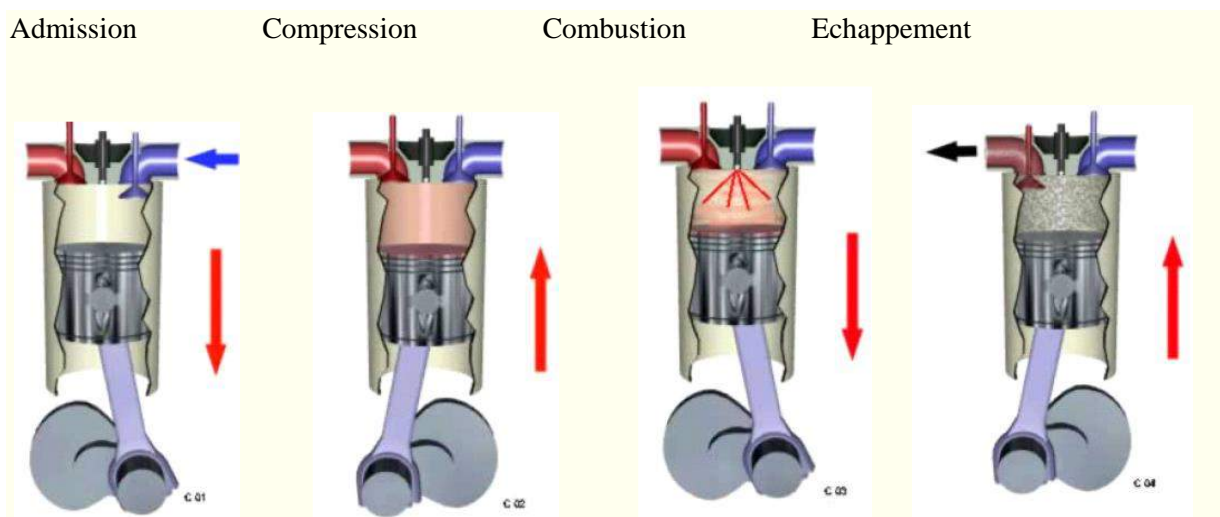
- 35 bar de pression,
- 600 °C de température.

En brûlant, le mélange augmente fortement dans le cylindre:

- la pression entre 60 à 100 bars,
- la température a 1500 °C.

Le cycle *Diesel* à quatre temps comporte :

- **Admission** : Contrairement au moteur à essence, c'est de l'air pur et non un mélange carburé qui est introduit dans le cylindre lors de cette phase.
- **Compression** : L'air fortement comprimé est porté à une pression de 30 à 40 bars pour une température de 500 à 600 °C environ.



**Figure. I.1:** les quatre temps d'un moteur Diesel

- **combustion** : A la fin de la compression, le gas-oil est alors injecté sous forme de fines gouttelettes, soit directement dans la chambre de combustion (injection directe), soit dans une pré-chambre turbulente destinée à favoriser sa combustion au contact de l'air chaud (injection indirecte). La pression d'injection varie de 80 à 250 bars suivant le type de moteur. Au contact de l'air à température élevée, le combustible s'enflamme de lui-même, sa température d'inflammation étant voisine de 300 °C. Il s'enflamme spontanément à mesure qu'il est introduit. Cependant, un certain temps mesurable s'écoule entre le début d'injection et le début de la combustion. C'est le "délai d'allumage". Les gaz augmentent très rapidement de volume et chassent le piston vers le bas. C'est la "détente" ou "temps moteur". La pression des gaz est de l'ordre de 50 à 120 bars et la température de 1800 à 2000 °C.



- **Echappement** : Les gaz brûlés sont chassés par le piston qui remonte grâce à la soupape d'échappement qui s'ouvre.

Les seules bougies présentes sur un moteur diesel, sont les bougies de "préchauffage" qui, comme leur nom l'indique, préchauffent les chambres de combustion (ou les préchambres suivant le type de diesel) afin d'obtenir, lorsque le moteur est froid, une température suffisante pour l'auto-inflammation du carburant.

### 3.3.2. Vitesse et puissance

Les vitesses de rotation des *moteurs diesel* sont très différentes d'un moteur à un autre.

En effet, plus le moteur est gros, plus la course du piston est grande, et plus le moteur est lent.

Trois classes de moteurs sont ainsi définies :

- moteur lent : moins de 200 tr/min
- moteur semi-rapide : entre 400 et 1 000 tr/min
- moteur rapide : 1 000 tr/min et plus

Schématiquement, plus le piston est gros, plus sa course est importante.

Pour exemple : moteur DW10 ATED de PSA, cylindrée 1 997 cm<sup>3</sup>, alésage 85 mm, course 88 mm, régime de puissance maximale 4 000 tr/min.

Pour ce moteur, la vitesse linéaire du piston dans le cylindre à 4 000 tr/min est de :  $88 \times 2$  (deux courses par tour moteur) = 176 mm ou, en mètres,  $0,176 \times 4\,000$ , soit 704 m/min ou  $704/60$  m/s = 11,7 m/s



Moteur Diesel PSA

Certains moteurs Diesel lents de type à 2 temps, atteignent 100 000 ch (voir le porte-conteneurs Emma Mærsk), comme le Wärtsilä RT-flex96C 14 cylindres, moteur à 2 temps lent (92/102 tours/min).

Les cylindres ont un alésage de 96 cm et le piston une course de 2,5 m<sup>2</sup>.

Ce moteur a une hauteur d'environ 13 mètres et une longueur de 26 mètres pour un poids de 2 300 tonnes.

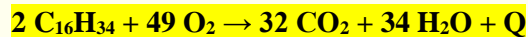


### 3.3.3 Combustion

Réaction chimique dans laquelle la combustion du carburant (oxydation vive de l'hexadécane) par le dioxygène présent dans l'air dégage de la chaleur plus des résidus de combustion : dioxyde de carbone et eau.

Équation parfaite de la combustion du gazole :

hexadécane + dioxygène = dioxyde de carbone + eau :



En pratique on considère qu'il faut prévoir **30 g d'air** pour brûler **1 g de combustible**.

### 3.3.4. Usage

On utilise le moteur Diesel lorsque l'on a un besoin d'un couple important ou d'un bon rendement :

- locomotives,
- bateaux,
- camions,
- Bus et car,
- tracteurs agricoles,
- groupes électrogènes,
- engins de travaux publics,
- automobiles.

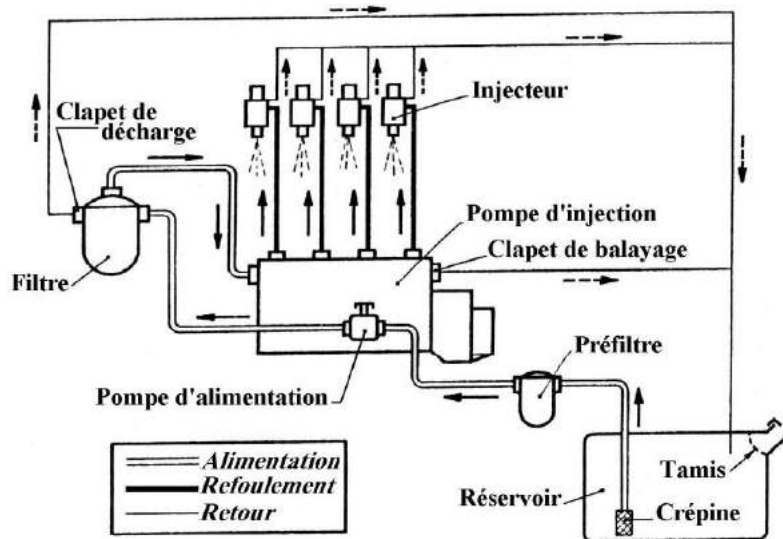


Diesel-alternateur sur un pétrolier

### 3.3.5. Circuit d'alimentation

Le circuit d'alimentation (figure. I.16) du moteur en carburant (gas-oil) dans un moteur diesel comprend les éléments suivants :

- Le réservoir : qui est souvent muni d'un tamis qui arrête les plus grosses impuretés du combustible. Le bouchon comporte un trou de mise à l'air libre.
- La pompe d'alimentation : aspire le combustible dans le réservoir, à travers une crépine. Elle est protégée par un pré-filtre.
- Le filtre : complète le nettoyage du combustible qui est refoulé par la pompe d'alimentation. La pression fournie par cette pompe est limitée par le clapet de décharge, placé dans le filtre.
- La pompe d'injection : distribue sous une forte pression, au moment voulu, le combustible vers les cylindres. Dans certains cas, un clapet de balayage, taré plus faible que celui du filtre, permet une circulation du combustible qui assure le refroidissement de la pompe.



**Figure. I.16:** Circuit d'alimentation avec pompe en ligne

- L'injecteur : pulvérise très finement le combustible dans la chambre de combustion.
- Les canalisations de retour : relient la pompe, le filtre et les injecteurs au réservoir. Elles assurent l'évacuation de l'excès de débit ou la récupération des fuites.

Une pompe d'alimentation, solidaire de la pompe d'injection, aspire le combustible du réservoir au travers d'un pré-filtre décanteur et le refoule vers le filtre principal.

Le combustible filtré est envoyé sous pression dans la chambre d'aspiration de la pompe d'injection, d'où les éléments "pistons-cylindre" le refoulent, sous haute pression, vers les injecteurs.

Des soupapes de balayage (ou de dégazage), placées sur le filtre et la chambre d'aspiration de la pompe à injection, facilitent l'évacuation des bulles d'air ou de vapeur et assurent, par ailleurs, le refroidissement de la pompe, par le débit de combustible ainsi produit.



Pompe à injection diesel rotative

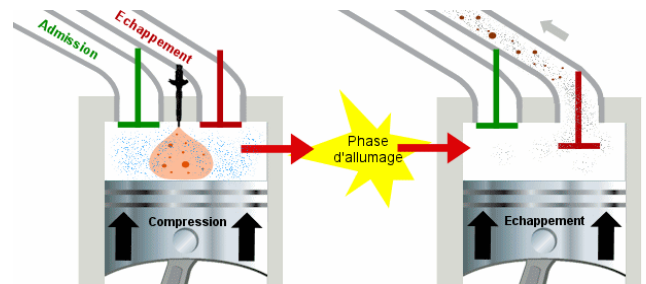
Les fuites de combustible sont récupérées au niveau des injecteurs et renvoyées au réservoir, en même temps que les divers débits de dégazage.

### 3.3.5. Délai d'allumage

Le temps mis par les premières gouttelettes injectées pour atteindre la température d'inflammation est défini sous le nom de "délai d'allumage".

Ce délai doit être aussi court que possible pour que le fonctionnement du moteur soit doux. Il sera d'autant plus faible que :

- La température de l'air est plus élevée,
- La température d'inflammation du combustible est plus basse,
- Le combustible est plus finement pulvérisé,
- La température du combustible est plus élevée,
- L'indice de cétane du combustible est élevé.

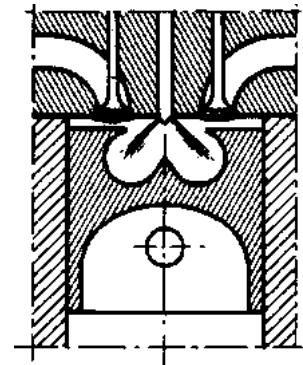


### 3.3.6. Moteur à injection directe

Moteur à combustion interne alimenté en air pur, le carburant étant injecté sous forte pression directement dans la chambre de combustion (figure. I.17).

La pression d'air est de 175 à 200 bars. Ce moteur a besoin d'un excès d'air important pour favoriser le brassage du mélange.

Les pressions sont importantes en fin de compression. (Réf. [2])



Injection directe

#### Avantages

- Le rendement thermique est supérieur d'environ 10% à un moteur à chambre de précombustion.
- Les démarrages sont plus faciles.
- La construction est plus simple que pour les autres types de moteurs.

#### Inconvénients

Le moteur est assez bruyant et les organes sont soumis à de fortes charges.

L'encrassement des injecteurs est plus rapide.

### 3.3.6. Avantages du moteur Diesel

Les raisons du succès du moteur Diesel dans l'automobile, au-delà d'avantages fiscaux qui relèvent de choix politiques et non techniques, tiennent essentiellement à son rendement, supérieur à celui du moteur à essence.

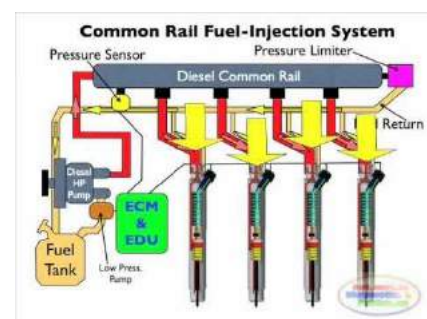
Ce rendement peut être encore amélioré par l'utilisation d'un turbocompresseur.

Les plus récents modèles sont « à géométrie variable » (TGV), technologie qui leur permet d'être plus performants à bas régime)



Turbocompresseur

Ainsi que l'utilisation du Common rail (injection directe à haute pression) inventé par Fiat et Magneti-Marelli.



Système d'injection a rampe commune

Avec les nouveaux **injecteurs-pompe**, rampe commune et piézo-électrique, la pression atteint jusqu'à :

**2 500 bars**

Contre :

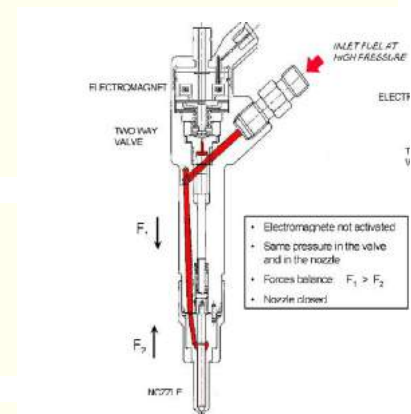
- 1 400 pour la première rampe commune,
- moins de 1 000 pour un moteur à injection indirecte)

Ce qui assure une pulvérisation du gazole :

- turbulente,
- continue,
- constante et
- bien répartie,

parametres essentielles pour une bonne combustion

Cette technologie porte le nom de :



- **JTD** : Fiat, Alfa Romeo, Lancia - inventeur du système common rail 1<sup>re</sup> génération,
- **Mjt** : Fiat, Alfa Romeo, Lancia, Iveco - inventeur et distributeur du système common rail 2<sup>e</sup> et 3<sup>e</sup> génération,
- **HDi** : Peugeot, Citroën
- **dCi** (*Direct Common rail Injection*) : Renault, Nissan, Dacia
- **CDI** (*Common rail Direct Injection*) : Mercedes-Benz, Smart
- **CRD** : Jeep
- **Td(x), TDV(x)** : Land Rover (ex : Td4 ou TDV8)
- **d** : BMW (ex : 530d)
- **TDI** (*Turbo Direct Injection*) : Audi, Seat, Skoda, Volkswagen
- **D-4D** ou **D-CAT** : Toyota (CAT signifie Clean Advanced Technologie)
- **d** : Lexus (ex:IS 220 d)
- **CDTI** : (*Common rail Turbo Direct Injection*) : Opel (les DTI sont des moteurs à injection directe sans rampe commune)
- **VDi** : dénomination anciennement utilisée par Nissan, aujourd'hui remplacée par dCi
- **DI-D** : Mitsubishi
- **D** : Volvo (ex : 2.4D ou D5), Jaguar (ex : 2.7D)
- **TDCi** : Ford (les moteurs TDDi sont à injection directe mais ne comportent pas de rampe commune)
- **MZR-CD** : Mazda
- **i-CTDi** : Honda
- **CRDi** : Hyundai
- **CRDI** : Kia
- **TCDi, VCDi** : Chevrolet
- **TID** : Saab

## 3.4 Architectures moteurs

### 3.4.1. Introduction

Les défauts du moteur à combustion interne classique sont:

- médiocre rendement,
- vibrations,
- difficulté de réduire son niveau de pollution.

De nombreuses architectures alternatives sont nées au cours de l'histoire, beaucoup sont restées à l'état de dessins ou de maquettes, certaines ont données des prototypes fonctionnels, et quelques rares architectures ont eu droit à la production industrielle.

### 3.4.2. Caractérisation

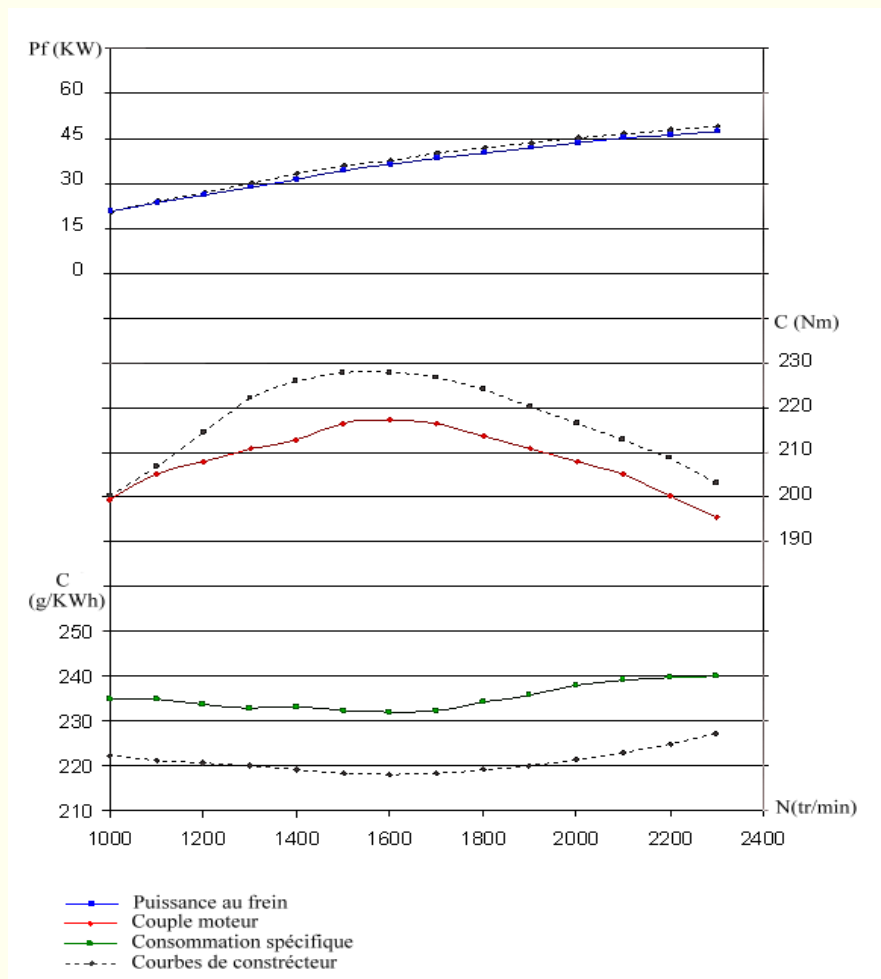
La **cylindrée** d'un moteur est le **volume total** (tous cylindres) déplacé durant un cycle.



Elle est calculée à partir:

- du diamètre d'un cylindre (l'**alésage**),
- de la distance parcourue par un piston (la **course**) et,
- du nombre de cylindres.

La **puissance** développée, souvent exprimée par une courbe de puissance moteur, doit être mesurée selon certaines normes définissant en particulier les accessoires mis en œuvre et les conditions de température et de pression.



Courbes caractéristiques du moteur CMT F4L912

Elle est toujours supérieure à la puissance réellement disponible aux roues pour un véhicule du fait des pertes dans la transmission.

L'unité légale utilisée est le **kiloWatt** (kW) mais souvent accolé au **cheval-vapeur** (CV).

$$1 \text{ cheval-vapeur} = 736 \text{ Watt}$$

Le **couple** maximal est exercé sur l'axe.

L'unité légale utilisée est le **Newton-mètre** (N×m), bien que le kg×m reste courant.

La **puissance** est le produit du **couple** par la **vitesse de rotation**.

Pour obtenir des Watt, il faut multiplier le couple en N×m par la vitesse de rotation en radians par seconde.

La **vitesse maximale de rotation** généralement exprimée en tours par minute.

- La **puissance spécifique** exprime la puissance produite en fonction de la cylindrée (volume de gaz contenus après le cycle d'admission).

Elle est souvent exprimée en la rapportant au litre de cylindrée.

- Le **taux de compression** d'un moteur exprime le rapport entre le volume laissé dans l'un de ses cylindres au point mort bas et au point mort haut.

Plus il est élevé plus le mélange est comprimé donc plus l'explosion sera forte, donc difficile à gérer (choc mécanique, température...) mais plus le rendement du moteur sera élevé.

### 3.4.3. **Éléments constitutifs d'un moteur**

#### 3.4.3.1. **Éléments fixes**

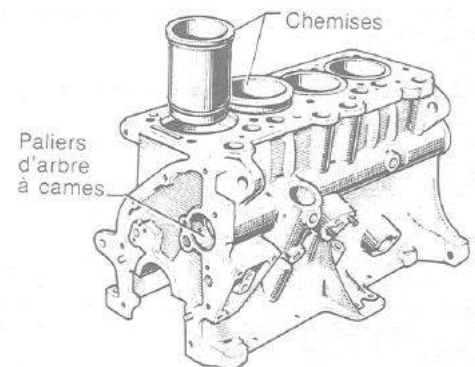
##### 3.4.3.1.1. **Bloc-moteur**

Le bloc-moteur, appelé également carter-cylindres, est la pièce maîtresse du moteur (figure. I.2).

Ses fonctions principales sont les suivantes :

- contenir les cylindres.
- supporter le vilebrequin, la culasse, les accessoires...
- servir de support à l'huile de lubrification.
- servir de support à l'eau de refroidissement (si un tel système de refroidissement est utilisé).

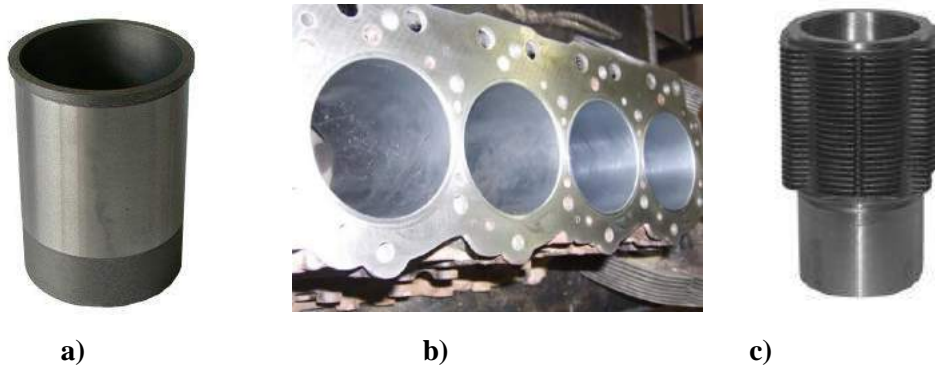
Schéma d'un bloc moteur



Bloc a 04 cylindres

### 3.4.3.1.2. Chemises

Pour le moteur F4L912 refroidi à air les chemises sont munies d'ailettes (figure. I.3).



**Figure.3:** Chemises pour moteurs : a) humides b) sèches c) à ailettes du moteur F4L912

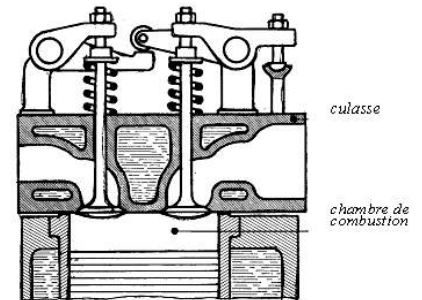
### 3.4.3.1.3. Culasse

La culasse **obture** la partie **supérieure du cylindre**.

C'est une pièce assez massive obtenue par moulage de fonte, d'acier ou d'aluminium.

Sa forme est très variable suivant le type de moteur.

La circulation de l'eau de refroidissement se fait dans des évidements aménagés dans l'épaisseur des parois.  
refroidi à eau



Culasse d'un moteur

Les culasses portent :

- les injecteurs,
- les soupapes,
- les culbuteurs;
- les conduits d'entrée d'air et de sortie des gaz brûlés.

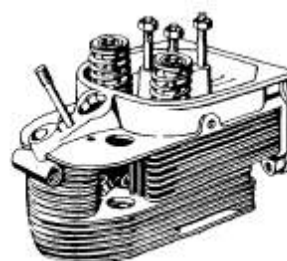


Culasse Renault Kangoo

Pour le moteur refroidi à air (F4L912) leur culasse porte des ailettes comme montre la figure



**Figure. I.5:** Culasse du moteur F4L912



**Figure. I.6:** Vilebrequin pour un moteur a 4 cylindres

### I.3.2.2. Eléments mobiles

#### I.3.2.2.1. Vilebrequin

Le **vilebrequin** (figure. I.6) est un **arbre manivelle**; il reçoit les efforts des **bielles**.

Les parties cylindriques par lesquelles il repose dans des paliers-soutiens du bâti sont les « **tourillons** ».

Les **parties cylindriques** qui reçoivent les coussinets de têtes de bielles sont les « **manetons** ». (Réf. [2])

Manetons et tourillons sont reliés entre eux par des **flasques** appelés « **bras de manivelle** ».



Fig 6 bis : Vilebrequin a 5 paliers avec ses bielles et pistons

Des **canaux** sont forés dans la masse du vilebrequin pour amener l'huile de graissage jusqu'aux coussinets de têtes de bielle (figure. 7).

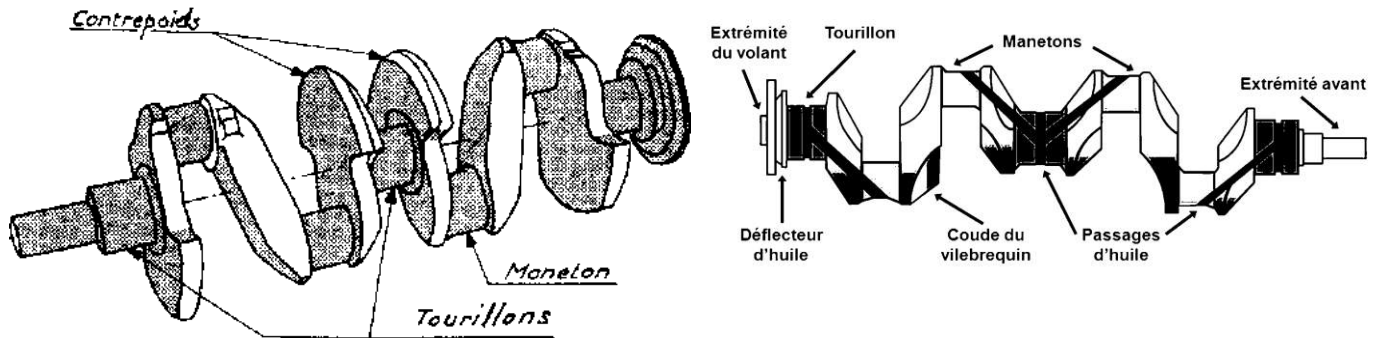


Figure 7: Graissage des paliers d'un vilebrequin

#### I.2.3.2.2. Bielles

Les **bielles** transmettent au **vilebrequin** les **efforts** qu'elles reçoivent des **pistons** pendant les temps moteurs et entraînent les **pistons** pendant les temps résistants.

Elles sont en **acier allié**.

Leurs formes sont conçues de manière à concilier au mieux la légèreté et la résistance aux efforts de :

- compression,
- extension,
- flexion.

Les trois principales parties d'une bielle sont :

- le **pied** qui s'articule sur l'**axe de piston**.
- le **corps**.
- la **tête** qui s'articule sur un **maneton** du vilebrequin.



Fig.7a : Ensemble bielles-pistons



Figure. I.8: Bielle utilisée dans le moteur F4L912

Le **pied** est un épanouissement alésé du corps dans lequel une bague en bronze phosphoreux ou un roulement à aiguilles est emmanché avec serrage.

Le **corps** est allégé par des évidements; sa section est souvent en **I**, parfois tubulaire.

La **tête** est en deux parties **assemblées par boulons** pour en permettre le montage sur le vilebrequin.

La partie rapportée est le « **chapeau** ».

**Deux demi-coussinets** en **bronze** ou en **acier** s'encastrent dans la tête; ils sont garnis d'une couche de métal antifriction.

Le garnissage est parfois en « **métal rose** » (alliage à base de plomb et de cuivre qui fond à 1 000°C), pour les moteurs soumis à de très gros efforts.

Quelquefois les coussinets sont **dépourvus** de garnissage, ils sont alors en **bronze spécial**.

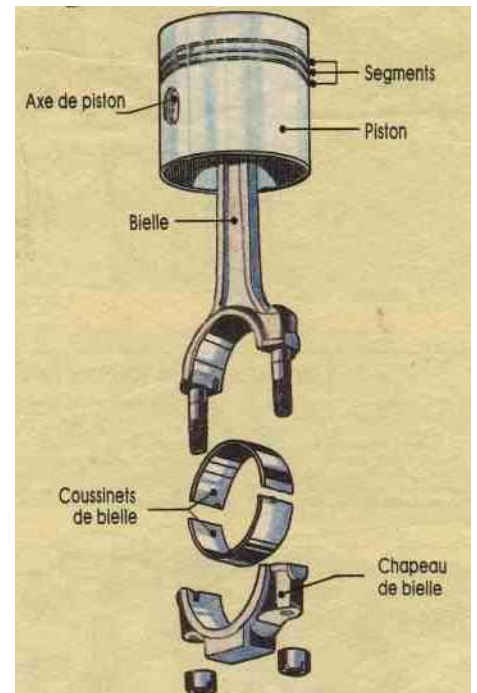


Fig.8a : Description de l'ensemble bielles-pistons

Dans les moteurs modernes les **coussinets** sont des « **coquilles** » très minces en **acier** également garnies d'**alliage antifriction**.

### I.3.2.2.3. Piston

Le **piston** (figure. I.9) peut être décomposé en quatre parties principales :

- La **tête ou fond** qui reçoit les efforts dus aux gaz ;

- le **porte-segments** qui, par l'intermédiaire des segments, assure l'étanchéité aux gaz et à l'huile et dissipe une partie des calories reçues vers le fluide de refroidissement ;

- le **logement** de l'axe de piston ou trou d'axe;

- la **jupe**, ou partie frottant, dont le rôle est de guider le porte-segments et de dissiper une partie des calories.

- *Fonctions du piston:*

Le piston doit transmettre au vilebrequin, par l'intermédiaire de la bielle, les efforts dus aux gaz :

- jusqu'à 7,5 MPa pour les moteurs à essence non suralimentés,
- jusqu'à 14 à 18 MPa pour les moteurs diesels



Fig. 8b : Vue d'un piston

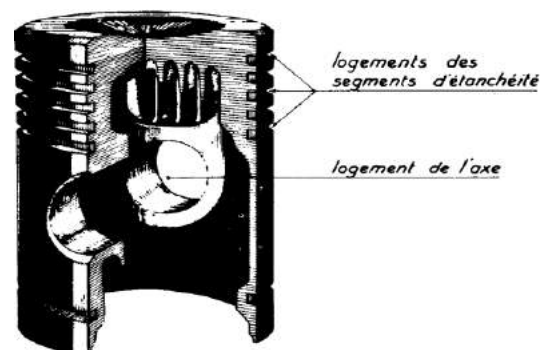


Figure. I.9: Piston



Ils doivent être suffisamment isolants pour ne pas fournir trop de calories au fluide de refroidissement,

Tout en évitant la formation de points chauds et de grippage.

Il faut que le piston soit aussi léger que possible et le moins encombrant possible (distance entre le trou d'axe et la tête la plus réduite pour avoir un moteur compact).

La dilatation du piston doit être telle que le jeu piston/chemise varie peu car trop de jeu à froid provoque des claquements et pas assez de jeu à froid un grippage.

Le piston doit avoir une bonne résistance mécanique en fatigue.



Fig. 9.a : Piston pour moteur Diesel

### Formes de la tête du piston

La forme des chambres de combustion est déterminée par l'empreinte réalisée dans la culasse, si bien que la tête du piston est habituellement plate.

Parfois, il s'avère au contraire que le piston soit creusé et forme, totalement ou partie, la chambre de combustion.

Néanmoins, la tête du piston est creusée, notamment sur les automobiles de course, pour une toute autre raison.

Il s'agit en effet de réaliser une forme particulière permettant de répartir et de diriger au mieux le mélange air/essence injecté dans la chambre.

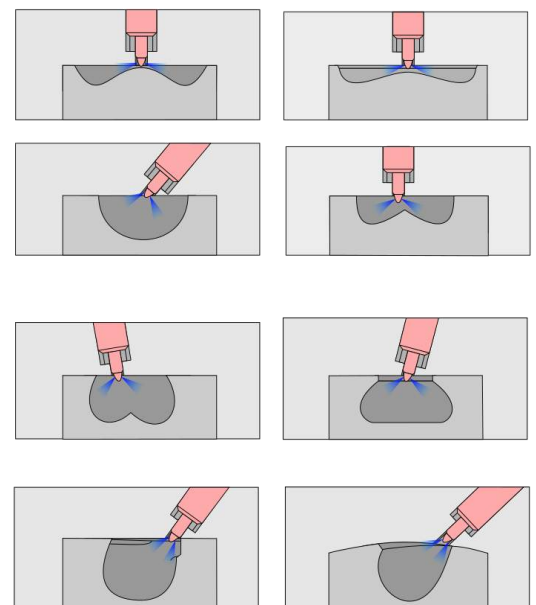


Fig. 9.c : Illustration des différentes formes de têtes de piston et de la position de l'injecteur selon la technique d'injection.

On distingue généralement **02** grandes **techniques d'injection**.

Dans le cas d'une injection dite « **tumble** », le jet de fluide produit par l'injecteur est dévié (par la forme de la tête du piston) vers la bougie d'allumage permettant de produire une explosion plus « performantes » et stratifiée.

Dans le cas d'une injection dite « **swirl** », le carburant agit comme un tourbillon, permettant ainsi d'homogénéiser le mélange dans toute la chambre.

Il est également possible de combiner les deux types d'injection.

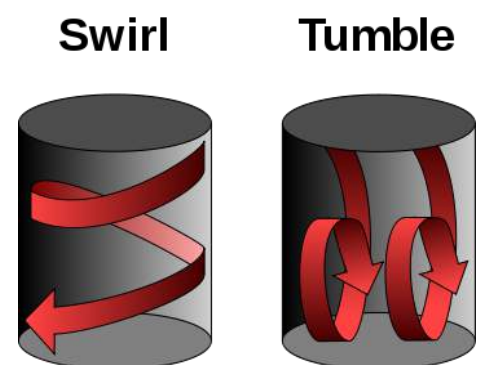


Fig.9.b : Illustration des mouvements tourbillonnaire swirl et tumble.



#### I.3.2.2.4.Segmentation

Ce sont des pièces composées d'un **cercle incomplet** en acier élastique, prévues pour s'emboîter dans les gorges du piston.

Le **diamètre extérieur** au repos est légèrement **supérieur** à celui du **cylindre**.

En partant de la tête du piston, on a (fig. I.10) :

- le segment n°3 : segment coup de feu

(ou segment de feu) ;

- le segment n°2 : segment d'étanchéité.

- le segment n°1 : segment racleur ou refouleur.



Fig.9b : Vue d'un ensemble piston-segments

Les deux derniers segments sont également appelés segments de compression.

Les **rôles** de la segmentation sont les suivants :

- Assurer l'**étanchéité aux gaz** :

ce rôle est surtout assuré par le **segment coup de feu**.

Il est essentiel pour diminuer le **Blow-by** (gaz de combustion passant dans le carter-cylindres) et la **température** des segments intérieurs.

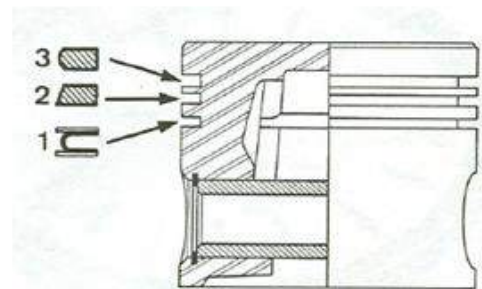


Figure. I.10: Segments de piston

- Assurer l'**étanchéité à l'huile** de lubrification :

c'est surtout le rôle du **segment racleur** mais le **segment**

**d'étanchéité** a aussi une grande importance.

- Évacuer la chaleur du piston vers le cylindre.

Elles sont fabriquées à partir d'un ressort d'acier élastique, coupé ensuite en rondelles constituant les segments.



Fig.10a : Collier pou segments a piston



## 5.2 La distribution

Mais c'est quoi dont la distribution?

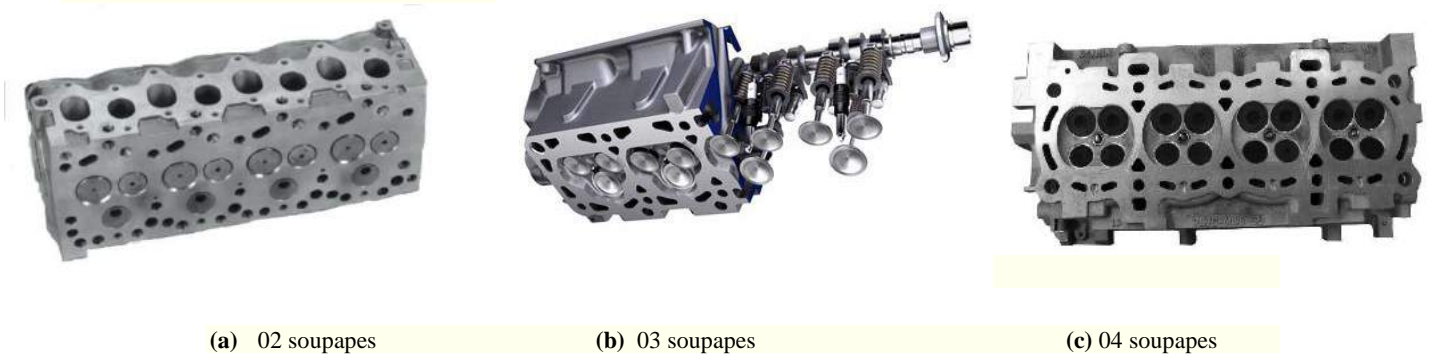
Ce sont les différents systèmes permettant la régulation des échanges gazeux c'est à dire les étapes d'admission et d'échappement.

Dans un **moteur 2 temps**, cette fonction est assurée par le **piston**.

Sur un **moteur quatre temps**, la distribution se fait au niveau de la **culasse** par les **soupapes** et tous les systèmes qui permettent leurs ouvertures et fermetures.

Chaque cylindre d'un moteur possède au moins deux soupapes; une d'admission, et une d'échappement.

Sur certains moteurs il y a trois ou quatre soupapes par culasse; elles sont commandées simultanément deux à deux.

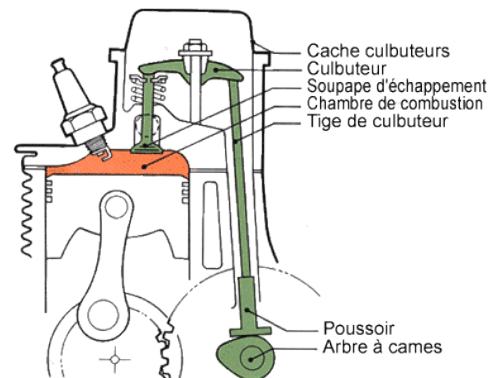


**Fig.11a** : Culasses a 02, 03 et 04 soupapes par cylindre

Les soupapes sont normalement appuyées sur leurs sièges par des ressorts en hélice.

Leur ouverture à un instant précis de chaque cycle s'obtient grâce à la poussée exercée par une came (figure.12).

La came tourne, entraînée par le vilebrequin; sa poussée est communiquée à la soupape par l'intermédiaire d'un poussoir, d'une tige et d'un culbuteur.



**Fig.12** : Distribution

### 3.3.1. Soupapes

Une soupape est un organe mécanique de la distribution des moteurs thermiques à quatre temps permettant l'admission des gaz frais et l'évacuation des gaz brûlés.

Les soupapes sont actionnées par un arbre à cames et maintenues par un ou plusieurs ressorts de rappel.

Les **soupapes** sont constituées de **quatre** parties :

#### a) Tête de la soupape

Lorsque la soupape est en position fermée, elle vient s'appuyer sur le siège de soupape dessiné dans la culasse pour assurer l'étanchéité de la chambre.

La partie de la soupape en contact avec le siège, de forme tronconique, est dénommée « portée » ; l'angle varie entre  $30^\circ$  et  $45^\circ$ .

#### b) Collet

Elle relie la tête à la tige, est formé par un congé de grand rayon de façon à faciliter la dissipation de la chaleur provenant de la chambre et éviter l'effet d'entaille dû au changement de section.

#### c) Tige

C'est une pièce cylindrique dont le diamètre est de l'ordre du quart de celui de la tête, assure le guidage vertical de la soupape.

La tige coulisse ainsi dans le guide de soupape, ouverture cylindrique pratiquée dans la culasse.

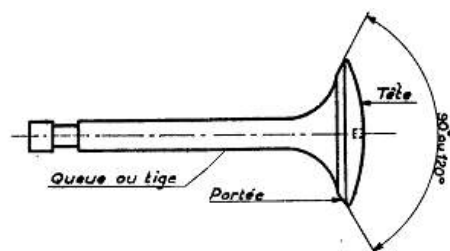
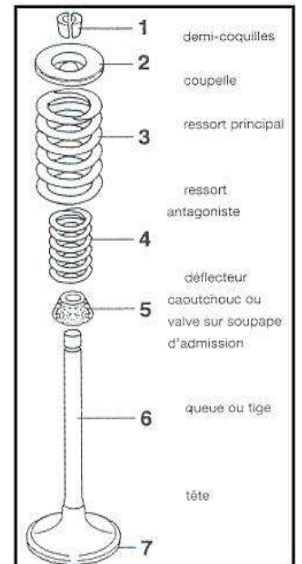
#### d) Queue

Partie terminale de la soupape, supporte l'action du poussoir actionné par l'arbre à cames.

Elle comporte une ou plusieurs gorges, le plus souvent de section semi-circulaire, pour loger les clavettes qui transmettent à la soupape la tension du ressort de rappel.

Les soupapes sont en acier allié très résistant.

Les principaux métaux d'alliage sont : le chrome, le silicium, le tungstène, le nickel.



**Figure. I.13:** Soupape avec tête bombée

### 3.3.2. Culbuteurs et poussoirs

Les culbuteurs (figure. I.14) sont des leviers oscillants articulés sur un axe solidaire de la culasse.

Leur rôle est de transmettre de haut en bas aux queues de soupape les poussées qu'ils reçoivent de bas en haut à intervalles réguliers, des poussoirs et tiges de culbuteurs.



Figure. I.14: Culbuteurs Renault 21 TD

Les poussoirs sont des cylindres en acier très résistant qui prennent contact avec les cames soit :

- par l'intermédiaire d'un galet,
- par "intermédiaire d'un plateau.

Suivant le cas, le profil de la came est différent.



Fig.14.a : Poussoirs et arbre à cames en tête pour leur entrainement (VW Toureg)

### 5.2.1 Le diagramme de distribution

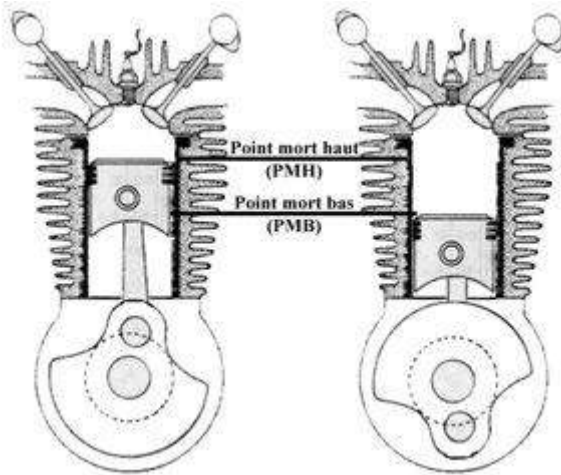
Le point le plus haut qu'il peut atteindre qu'on appelle **point mort haut** (PMH) et inversement le point le plus bas qu'on appelle **point mort bas** (PMB).

Enfin, on appelle la course, la longueur du parcours entre le PMH et le PMB.

L'**alésage** est le diamètre du **cylindre**.



Ces données et le volume de la **chambre de combustion** permettent de calculer le **taux de compression** ou **rapport volumétrique**.



### 3 – LA CYLINDREE TOTALE

C'est le volume de tous les cylindres du moteur.

La cylindrée totale se calcule avec la formule :

$$Vt = \frac{\pi \cdot A^2 \cdot C \cdot n}{4}$$

Avec : Vt en cm<sup>3</sup>

A en cm

C en cm

n : nombre de cylindres

Nota : 1 litre = 1000 cm<sup>3</sup>

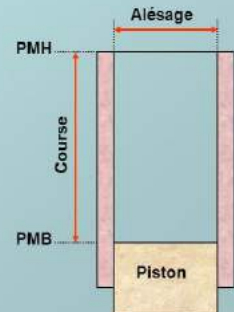


Figure V.1: Point Mort Haut et Point Mort Bas dans un moteur

## 5.2.2 Les systèmes de contrôle des soupapes

Au vue de la complexité d'un **diagramme de distribution**, il faut que les **soupapes** d'admission et d'échappement soient parfaitement synchronisées pour que le cycle s'exécute dans de bonnes conditions.

### Moteurs culbutés

Dans un moteur à combustion interne, les culbuteurs servent à transmettre la poussée des tiges de culbuteurs vers les soupapes (les soupapes se trouvant au-dessus des cylindres, les tiges de culbuteurs le long des cylindres, et actionnées par un arbre à cames latéral ou central, situé vers le bas des cylindres, proche du vilebrequin).

Ces moteurs sont dits **culbutés**.

Ils ont été très utilisés en automobile de tourisme jusqu'aux années 1970-80.

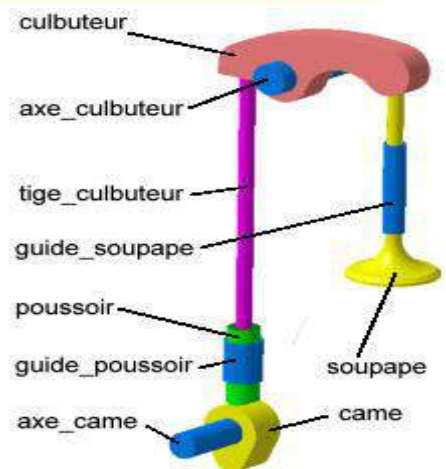


Fig. 2 : Ensemble de distribution culbuté

Tout d'abord qu'est ce qu'une came?

La came est l'objet qui permet la commande d'une ou de plusieurs soupape. Son profil est calculée très précisément afin de :

- fixer la hauteur de la levée de soupape
- amortir le choc entre la came et le poussoir dû au jeu initial
- reposer doucement la soupape dans son siège lors de la fermeture par ressort

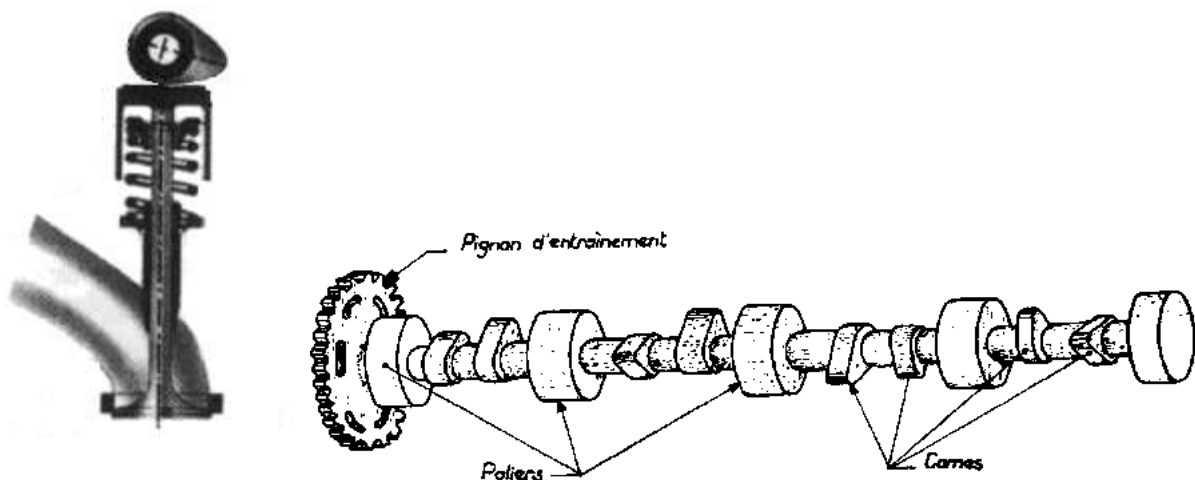


Figure V.4: Ensemble soupape-came et arbre à cames

La came peut commander la soupape directement avec un poussoir comme représenté ci-à gauche mais elle peut également utiliser des basculeurs tels que le **linget** (ci contre en bas) ou le **culbuteur** (ci contre en haut).

Ainsi l'arbre à came, contient plusieurs cames permettant de commander les soupapes de tous les cylindres afin de les synchroniser.

L'arbre à cames est généralement entraîné au moyen d'engrenages.

Son pignon denté est soit directement en prise avec un pignon calé à l'extrémité du vilebrequin, soit relié à ce dernier par un pignon intermédiaire.

Les soupapes peuvent être commandées par simple arbre à cames en tête.

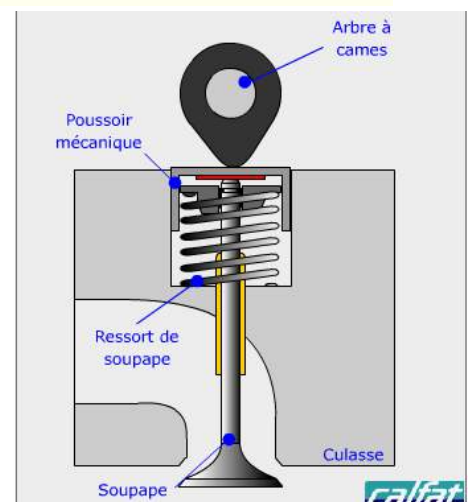
Cela signifie que l'arbre à cames est placé au dessus de la culasse et qu'il actionne les soupapes d'admission et d'échappement par l'intermédiaire de culbuteur.

Il existe aussi le système de double arbre à cames en tête, où dans ce cas, il y a deux arbres à came, l'un commande les soupapes d'admission et l'autre les soupapes d'échappement. Ici les soupapes peuvent être actionnées par tous les systèmes possibles, poussoir ou basculeurs.

### Moteurs à simple arbre à cames en tête

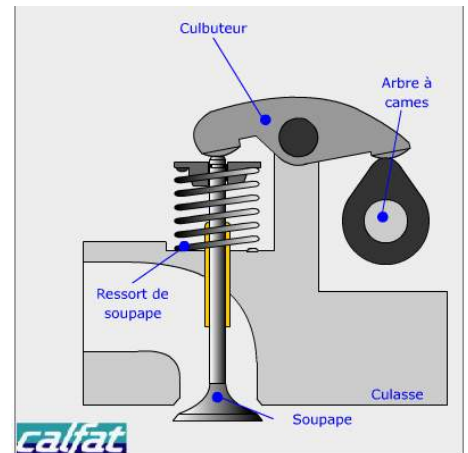
Si l'on souhaite un régime de rotation plus élevé, il est d'usage de placer le ou les arbres à cames juste au-dessus des soupapes, directement dans la ou les culasse(s) (arbre à cames en tête),

et donc il n'y a plus besoin de tiges de culbuteurs (moins de pièces en mouvement, de jeux, donc moins de risque d'affolement de soupapes).



Lorsque les soupapes sont toutes alignées (soupapes dites "droites"), elles sont coiffées d'un poussoir cylindrique, et ouvertes par l'action directe de la came sur le dessus du poussoir.

Si elles ne sont pas toutes alignées (soupapes "en V"), et que l'on souhaite n'utiliser qu'un seul arbre à cames en tête, on dispose des culbuteurs pour transmettre la poussée des cames aux soupapes.



### Moteurs à double arbre à cames en tête

Bien que le montage à double arbre à cames en tête permette de s'affranchir des culbuteurs, il arrive d'utiliser de petits culbuteurs, dits alors "linguets", parfois appelés "basculeurs".

Un culbuteur transmet à la soupape la poussée de la came en inversant le sens de la poussée qu'il reçoit. L'axe de pivot d'un culbuteur est situé entre ses deux extrémités, comme une balançoire à bascule.



Figure V.4: Entraînement des arbres de distribution d'un système à 16 soupapes

La question qui vient après c'est : *ben comment il tourne l'arbre à cames ?*

Ce sont les vilebrequins qui en tournant transmettent leur position au(x) arbre(s) à cames.

Il faut bien comprendre que les vilebrequins sont dépendant les uns des autres: l'un ne peut pas tourner sans l'autre car ils sont reliés entre eux.

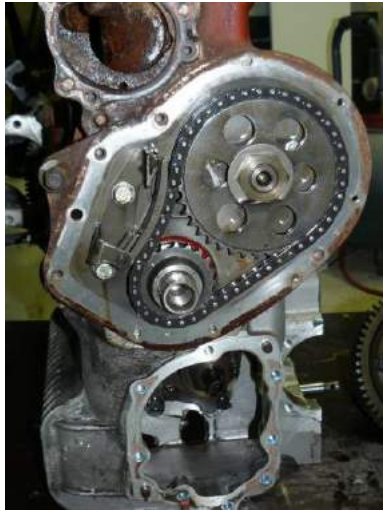
Ceci est souvent appelé l'arbre moteur.

Cette commande se fait le plus souvent par chaîne comme présenté dans la figure des deux arbres à cames en tête (sur la droite).

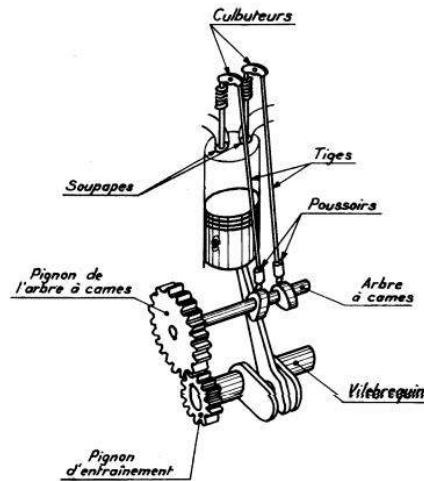
C'est ce qu'on appelle la chaîne de distribution.

On trouve également la commande par courroie crantée.

Enfin on trouve la commande par pignon qui est très résistant mais cher à mettre en place.



a) chaîne



b) pignon



c) courroie crantée

Figure V.4: commande par chaîne, non 16/03/2016

### 3.2.3 Nombre de soupapes par cylindre

Bien sur l'augmentation nombre de **soupapes**, vous vous en doutez, favorise le rendement de **distribution** Mais ceci n'est pas la seule raison.

Commençons simplement par le nombre de soupapes le plus répandu dans les années 80 c'est à dire **2 soupapes par cylindre**.

Les **culasses** ont une **chambre de combustion** hémisphérique pour favoriser le flux des gaz, un angle entre la soupape d'admission et d'échappement très élevé (proche de 90°) et enfin un **taux de compression** élevé.

Cependant, malgré tous ces efforts pour favoriser la distribution, il est devenu difficile d'accroître les performances du moteur.

Pour cela il y avait une solution : augmenter le diamètre des soupapes mais cela est devenu vite impossible dû à l'encombrement... les soupapes auraient fini par se toucher...

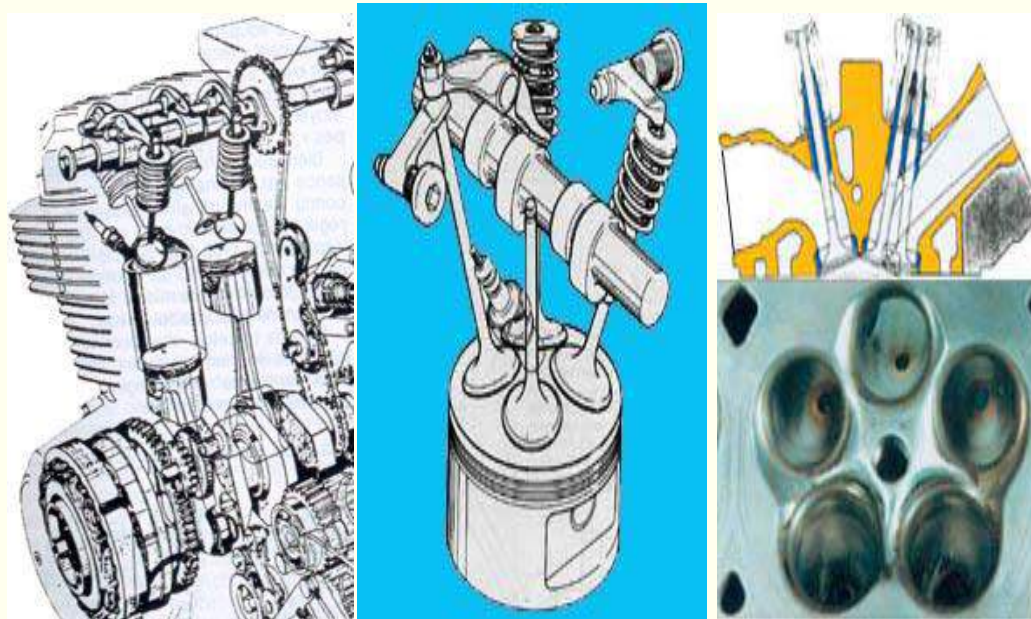
Par ailleurs, l'utilisation du double **arbre à cames en tête** devenait difficile.

En effet, imaginez la distance des arbres à cames pour commander des soupapes, donc l'encombrement moteur était important et surtout l'entraînement des 2 arbres à cames était difficile.

Il a donc été utilisé des cascades de pignons mais cela rendait la distribution très bruyante et les contraintes dues à l'échauffement étaient difficiles à gérer.

En revanche, cette disposition à deux soupapes est mécaniquement simple et on peut facilement placer d'une part les vis de fixation de la culasse et d'autre part la bougie.





**Figure 6:** Culasse à 2, 4 et 5 soupapes

Au milieu des années 80, Yamaha invente une culasse à 5 soupapes sur le FZ750 Genesis, encore utilisée aujourd'hui sur les sportives de la gamme.

Ainsi, ce moteur comptant :

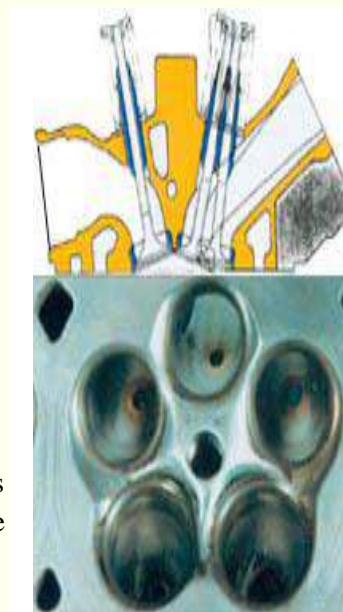
- 3 soupapes d'admission,
- 2 soupapes d'échappement

permet un meilleur remplissage de la chambre de combustion.

La difficulté rencontrée est le logement des 5 soupapes.

Les trois soupapes d'admission ont été placées sur des plans différents mais de façon à converger vers l'arbre à cames évitant le montage de culbuteurs.

Cette architecture mécanique provoque une difficulté d'accessibilité mécanique.



### 5.3. Refroidissement

Les combustions répétées surchauffent les pièces en contact (piston, cylindre, soupape) et se diffusent sur l'ensemble des pièces mécaniques du moteur.

Il faut donc les refroidir sous peine de destruction.

Pour un bon fonctionnement, les moteurs à explosion ont besoin d'une température régulière et adaptée.

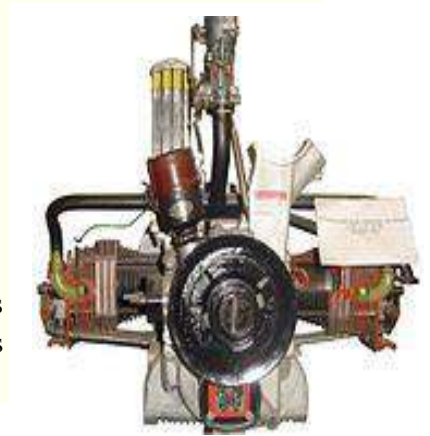


### 5.3.1 Refroidissement à air

En 1875 le français Alexis de Bishop utilise l'air pour le refroidissement.

Son moteur sans compression préalable, de type mixte, comportait un cylindre entouré d'ailettes métalliques augmentant ainsi la surface en contact avec l'air

Ce type de refroidissement est surtout utilisé pour les moteurs équipant les vélomoteurs et motocyclettes de faible cylindrée, mais aussi sur des automobiles, comme certaines Porsche, GS, la 2CV ou la Coccinelle.



Le refroidissement par air est aussi majoritaire pour les moteurs à pistons équipant les avions.  
Moteur de la VW Coccinelle

Le refroidissement à air a longtemps été la référence pour les moteurs de motocyclette (même s'il a toujours existé des moteurs de motocyclette à refroidissement liquide), mais les problèmes entraînés par le haut rendement de ces moteurs (casses, usure prématurée) ont conduit à la quasi généralisation du refroidissement liquide, malgré les avantages spécifiques pour la motocyclette du refroidissement à air (encombrement, poids, simplicité, prix).

Il peut être optimisé par l'utilisation d'un ventilateur, dont la présence ne révèle toutefois pas toujours un refroidissement à air, car il dissipe parfois la chaleur du radiateur d'un système de refroidissement liquide.

### 5.3.2. Refroidissement liquide

C'est l'anglais Samuel Brown qui inventa le refroidissement du moteur par de l'eau afin d'améliorer les performances du refroidissement.

Dans son moteur, l'eau entraînée par une pompe circule autour des cylindres entourés d'une chemise, l'eau est refroidie par contact direct avec l'air ambiant.

Plus tard, on ajouta à l'eau différents adjuvants qui devint alors le liquide de refroidissement.



Radiateur moderne, en aluminium

Le radiateur fut inventé en 1897 par l'ingénieur allemand Wilhelm Maybach.

Après de nombreux tâtonnements, il mit au point le radiateur dit « nid d'abeille » qui permet le refroidissement très efficace d'un liquide.

Il est composé d'un faisceau de conduits courts et étroits entre lesquels circule l'air.

L'air peut être accéléré par un ventilateur placé devant ou derrière lui.

Ce radiateur est situé dans un circuit fermé ou semi-fermé emplit d'un liquide (à base d'eau) assurant le refroidissement du moteur.

Dans les moteurs les plus anciens, la circulation d'eau est assurée par thermosiphon : l'eau chauffée par le moteur monte vers le radiateur, placé en hauteur. Une fois refroidie, elle redescend vers le moteur. Dans les moteurs modernes, on utilise une pompe à eau.

Un contrôle permanent de la température vise à maintenir l'eau et l'huile dans des conditions permettant une lubrification optimale.

Idéalement, la température du liquide de refroidissement est d'environ 75°-95°Celsius, déterminée par plusieurs facteurs tels que tolérances d'usinage et résistance au frottement des pièces mécaniques, lubrifiants utilisés.

La régulation de cette température est généralement obtenue par une vanne thermostatique calorstat située dans le circuit de refroidissement, associée à un ou plusieurs ventilateurs asservi par une sonde thermocontact à la température du liquide dans le radiateur.

Dans les moteurs marins, le radiateur est remplacé par un *échangeur* de température. *L'eau de mer* assurant le refroidissement du circuit *d'eau douce* du moteur.

### **5.3.3. Refroidissement par huile**

---

Tous les moteurs à combustion interne utilisent déjà un liquide pour la lubrification des pièces en mouvement, l'huile qui circule, propulsée par une pompe, il suffit donc de faire circuler ce liquide dans les zones les plus chaudes et, surtout, d'en assurer le refroidissement correct.

Tous utilisent plus ou moins le refroidissement par huile : carter d'huile bas moteur ventilé, parfois muni d'ailettes, un petit radiateur d'huile.

#### **Exemple:**

Certaines motos à 4 cylindres de marque Suzuki utilisent un refroidissement mixte *air-huile*, avec un gros radiateur d'huile.

#### **Avantages :**

Les canalisations, pompe, radiateur indépendant et liquide, spécifiques au refroidissement deviennent inutiles.

Cela permet un net gain de poids et une plus grande simplicité de conception.

### **Inconvénients :**

L'huile transporte moins bien la chaleur que l'eau et les spécificités de ces huiles les rendent plus coûteuses pour l'utilisateur.

De plus, le graissage du moteur est moins performant (à isopérimètre) car il y a des pertes de charges dues à la circulation dans le radiateur d'huile.

## **5.4. Architecture des moteurs à explosion**



**Figure V.3:** Moteur en double étoile à 14 cylindres

- Cylindres en ligne
- Cylindres en V
- Cylindres en W
- Cylindres opposés horizontalement (Boxer) (flat)
- Cylindres en H
- Cylindres en étoile
- Moteurs complexes (moteurs en carré, etc.)

### **5.4.1. Monocylindre**

#### **Historique**

Le premier brevet concernant un moteur à explosion a été déposé par le Suisse François Isaac de Rivaz le 30 janvier 1807.

Le premier moteur à deux temps fut imaginé et réalisé par Jean-Joseph Étienne Lenoir en 1860. Il fonctionne selon le cycle de Lenoir.

Vers 1862, les Allemands Otto et Langen, constatant le faible rendement du moteur à deux temps de Lenoir (1860), entreprirent une série d'améliorations : la plus décisive consista à synchroniser les mouvements dans la phase de compression.

## 5.4.2. Quatre cylindres

Panhard et Levassor, dès 1896, engagent un « quatre cylindres en ligne » sur l'épreuve Paris-Marseille-Paris.

Deux ans plus tard, les multicylindres (à quatre cylindres) gagnent les grosses voitures et, progressivement, se généralisent à l'ensemble de la gamme, devenant, en quelque sorte, l'archétype mondial pour les voitures courantes de moyennes et basses gammes.

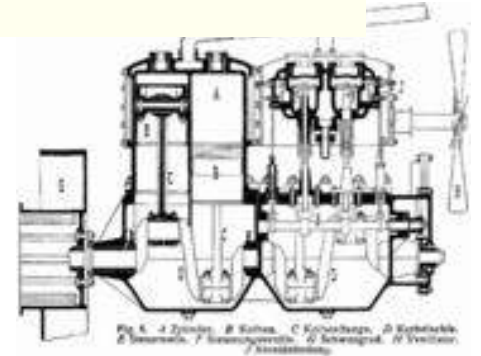


Schéma d'un moteur 4 cylindres vers 1900

### 04 cylindres en V

Il fait son apparition en course à la charnière des deux siècles, sur des modèles Mors et Ader.

Quelques années plus tard, cette solution séduit Peugeot et Ariès pour leurs modèles courants d'avant 1914.

Beaucoup plus tard, à partir de 1962, Ford en fera une large utilisation, mais aussi Matra et SAAB.

### 04 cylindres (en ligne) couché

Que l'on trouve en compétition chez Amédée Bollée (1898/99) (premier moteur à quatre cylindre monobloc (les autres moteurs quatre cylindres à l'époque étaient des bicylindres ou des monocylindres accouplés)) et chez Wolseley et Winton (1903, voir Wolseley Motor Company et Winton Motor Carriage Company)).

On l'a trouvée sur les motocyclettes BMW série K et sur les Peugeot 104 - 205, mais aussi sur les véhicules utilitaires ou monospace optant pour la solution « moteur sous le plancher ».

### 04 cylindres à plat *boxer*

C'est un quatre cylindres en V ouvert à 180°.

Emblématique, dans sa version refroidissement à air, des « coccinelles » de Volkswagen.

Cette architecture a le grand avantage de faire bénéficier le véhicule qu'il motorise d'un centre de gravité assez bas.

Une version musclée et turbocompressée équipe actuellement les Subaru *Impreza* qui sont de redoutables concurrentes du championnat du monde des rallyes WRC.

En 2009U Subaru compte particulièrement sur le 2.0 D pour faire décoller les ventes de sa berline compacte en Europe.

Une grande première également, puisque aucun constructeur n'avait jusqu'à aujourd'hui exploré la voie du diesel Boxer (4 cylindres à plat opposés deux à deux) et ses grands avantages que sont la vivacité, un centre de gravité abaissé et surtout un grand silence de fonctionnement.

Subaru aura mis sept ans à développer son inédit moteur, mais le résultat est particulièrement convaincant.

- Pas de claquement à froid,
- une quasi absence de vibration,
- il est bien difficile de faire la différence entre un moteur essence et cet étonnant diesel.

Si les 350 Nm de couple disponibles dès 1 800 tr/mn et les 150 Cv, offrent un réel dynamisme à la première accélération venue, cela s'effectue de manière linéaire.



**Subaru 2.0 Diesel 150 Cv (2009)**

### 5.4.3. Six cylindres

Mais la course — où l'on recherche la vitesse — est exigeante en matière de puissance, surtout quand il s'agit de courses de côte. D'où la tentation d'augmenter le nombre de cylindres.



**Figure V.5: Moteur V6 moderne (Mercedes)**

La marque néerlandaise Spyker avait présenté un modèle 6 cylindres en 1903<sup>2</sup>.

Un modèle Chadwick aux États-Unis franchit le pas en 1907 pour la course de côte de Fairmont.



L'année suivante, cette fois en Europe, Rolls-Royce fait de même pour la course Londres-Édimbourg, en faisant appel à des six cylindres.

La transposition aux modèles courants est quasi-immédiate pour les voitures de sport et de luxe.

En Europe, c'est le cas pour Delaunay-Belleville, Napier, Mercedes, aux États-Unis pour Marmon.

Plus tard, à partir de 1927, on trouvera des six cylindres (presque toujours en ligne) sur un grand nombre de modèles non sportifs, même pour des cylindrées modestes.

L'atout principal de cette solution étant la souplesse de fonctionnement du moteur.

Dans le monde de la motocyclette, le 6 cylindres restera rare.

On le trouve en compétition, en particulier chez Honda dans les années 1960 (moteur en ligne) ou chez Laverda en endurance (moteur en V).

Les moteurs de plus de 4 cylindres seront interdits en compétition.

Sur les véhicules de tourisme, on trouvera essentiellement :

- Honda 1000 CBX (moteur à 24 soupapes refroidi par air)
- Kawasaki Z 1300 (moteur à 12 soupapes refroidi par eau),
- Benelli avec une 750, puis une 900.

En 2006, Honda propose toujours à son catalogue un modèle 6 cylindres à plat, la GoldWing.

#### 5.4.4. Huit cylindres et plus



**Figure V.6:** Moteur W16 de la Bugatti Veyron

Une nouvelle étape est franchie quand on passe au « huit cylindres ».

Ader (France) ouvre la voie en 1903 pour le Paris-Madrid, avec une unité à huit cylindres en V.

La même année, apparaissent, toujours pour la compétition, des huit cylindres en ligne.

Les moteurs d'avion des années 1930 et 1940 répondent à la demande sans cesse croissante de puissance.

Les moteurs courants sont des V12 ou des moteurs en étoile de une à quatre rangées de 7 à 9 cylindres, soit 28 cylindres à la fin de la guerre pour les Whright développant 3 500 ch, remplacés par les réacteurs.

Les américains, amateurs de grandes automobiles et sans souci du prix de l'essence, démocratisèrent les gros V8 au couple très élevé et aux vitesses de rotation assez lentes.

Les constructeurs des monoplaces de Formule 1 utilisèrent pendant longtemps des V8 de 3 litres de cylindrée, dont le fameux *Ford Cosworth*.

Dans les années 1990, c'est la structure V10 qui aura la faveur des motoristes de F1.

Même l'écurie Ferrari, très attachée aux 12 cylindres en V, se pliera aux lois de cette formule.

Depuis l'année 2004 les instances sportives (FIA) ont imposé un retour au V8 avec des contraintes de fiabilité plus importantes que par le passé.

En 2006, les structures en V de 10 ou 12 cylindres et W16 sont réservées aux véhicules à tendance sportive.

# **Puissance d'un véhicule**

# 1. Calculs de la pesanteur

## 1.1. Déclivité

Calculons la déclivité d'une route longue L pour un dénivelé H :

$$\alpha = H / L$$

- $\alpha$  : déclivité, grandeur sans dimension ;
- H : dénivelé, exprimé en m
- L : longueur de la route, exprimée en m cohérence des unités :

## 1.2. Poids du véhicule

Calculons le poids d'un véhicule :

$$P = M \cdot g$$

- P : poids, exprimé en N
- M : masse, exprimée en kg
- g : accélération gravitationnelle, exprimée en  $m/s^2$  ( $g = 9,81 m/s^2$ )

## 1.3. Composante du poids

Calculons la composante du poids parallèle à la route de la voiture:

$$F = M \cdot g \cdot \alpha$$

Avec

- F : composante du poids parallèle à la route, exprimée en N
- M : masse, exprimée en kg g : accélération gravitationnelle terrestre, exprimée en  $m.s^{-2}$
- $\alpha$  : déclivité, grandeur sans dimension ;

## 1.4. Travail de la force de traction

Calculons le travail d'une force de traction qui s'est déplacée sur une distance D:

$$E = F \cdot D$$

- E : travail, exprimé en J
- F : composante du poids parallèle à la route, exprimée en N
- D : distance parcourue, exprimée en m

## 1.5. Energie

Calculons l'énergie nécessaire pour lever une voiture de masse M à une hauteur H:

$$E = M \cdot g \cdot H$$

Avec

- E : énergie absorbée (montée) ou accumulée (descente), exprimée en J
- M : masse, exprimée en kg g : accélération gravitationnelle, exprimée en m.s<sup>-2</sup>
- H : dénivellé, exprimé en m

## 1.5. Puissance absorbée

Calculons la puissance absorbée par une ascension effectuée à la vitesse V.

$$B = F \cdot V$$

Avec :

- B : puissance absorbée par une ascension, exprimée en W
- F : composante du poids parallèle à la route, exprimée en N
- V : vitesse, exprimée en m/s.

En réalité, une puissance bien supérieure est nécessaire à cause de la résistance au roulement et de la résistance de l'air, cette dernière étant proportionnelle au carré de la vitesse.

## 1.6. puissance absorbée par une ascension

L'ascension d'une masse M à une hauteur H en un temps T :

$$B = M \cdot g \cdot H / T$$

Avec

- B : puissance absorbée par une ascension, exprimée en W



- $M$  : masse, exprimée en kg  $g$  : accélération gravitationnelle terrestre, exprimée en m.s<sup>-2</sup>
- $H$  : dénivelé, exprimé en m
- $T$  : temps, exprimé en s

## 2. Calculs Aérodynamiques

### 2.1. Surface frontale

Surface d'une coupe transversale perpendiculaire à l'axe de symétrie du véhicule (effectuée à l'endroit le plus large et le plus haut), la surface frontale est approximativement égale au produit de la largeur par la hauteur :

- camion maxi-code :  $2,6 \text{ m} \times 3,9 \text{ m} = 10 \text{ m}^2$
- autocar :  $2,5 \text{ m} \times 3,2 \text{ m} = 8 \text{ m}^2$
- voiture :  $1,8 \text{ m} \times 1,4 \text{ m} = 2,5 \text{ m}^2$
- motocyclette :  $1 \text{ m} \times 1,5 \text{ m} = 1,5 \text{ m}^2$

### 2.2. Coefficient de pénétration dans l'air

Le  $C_x$  est calculé à partir:

$$C_x = 2 F / (S \cdot M_{air} \cdot V^2)$$

- $C_x$  : coefficient de traînée, grandeur sans dimension ,
- $F$  : force exercée par le flux d'air, exprimée en N.
- $S$  : surface frontale, exprimée en m<sup>2</sup> ,
- $M_{air}$  : masse volumique de l'air, exprimée en kg/m<sup>3</sup> ( $M = 1,2$ ) ,
- $V$  : vitesse air, exprimée en m/s.

### 2.3. Résistance de l'air

$$R = \frac{1}{2} S \cdot C_x \cdot M_{air} \cdot V^2$$

- $R$  : résistance de l'air, exprimée en N.
- $S$  : surface frontale, exprimée en m<sup>2</sup>.
- $C_x$  : coefficient de traînée, grandeur sans dimension.
- $M_{air}$  : masse volumique de l'air, exprimée en kg/m<sup>3</sup> ( $M = 1,2$ ).
- $V$  : vitesse, exprimée en m/s.

## 2.4. SCx

Le SCx Grandeur essentiellement destinée à comparer différents modèles de voitures, le SCx est le produit de la surface frontale par le Cx.

$$SCx = S \cdot Cx$$

Le Cx étant une grandeur sans dimension, le SCx s'exprime en mètre carré.

## 2.5. Constante aérodynamique

La constante aérodynamique est une caractéristique aérodynamique des véhicules

$$A = S \cdot Cx \cdot M$$

Avec :

- A : constante aérodynamique, [kg/m]
- S : surface frontale, [m<sup>2</sup>]
- Cx : coefficient de traînée, grandeur sans dimension ;
- M<sub>air</sub> : masse volumique de l'air, [kg/m<sup>3</sup>].

## 2.6. Puissance absorbée

Calculons la puissance absorbée pour vaincre la résistance de l'air

$$B = F \times V$$

- F : force aérodynamique résistante [N]
- V : vitesse du véhicule [m/s]

# 3. Calculs thermiques

## 3.1. Calcul de la cylindrée

$$V = \pi \cdot \frac{D^2}{4} \cdot L \cdot N$$

Avec

- D : alésage du cylindre.
- L : course du piston.
- N : nombre de cylindre.

### 3.2. Calcul du PCI des combustibles

Le pouvoir calorifique ou chaleur de combustion (en anglais : Heating value ou Heat of combustion) d'une matière combustible, noté  $\Delta cH_0$ ,

C'est l'enthalpie de réaction de combustion par unité de masse dans les conditions normales de température et de pression.

C'est l'énergie dégagée sous forme de chaleur par la réaction de combustion par le dioxygène (autrement dit la quantité de chaleur).

Le plus souvent, on considère un hydrocarbure réagissant avec le dioxygène de l'air pour donner du dioxyde de carbone, de l'eau et de la chaleur.

#### 3.2.1. Calculer le PCI du gas-oil (Mazout)?

Le gazole est un alcane en C16 appelé *cétane* soit une formule brute moyenne de :



Soit une masse molaire moyenne de **219 g/mole**

#### Combustion

Une combustion est la réaction chimique complète ou partielle du carbone et de l'hydrogène des combustibles usuels par oxydation de l'oxygène.

La combustion vive donne naissance à une flamme par réaction en chaîne, entretenue d'une manière plus ou moins limitée par l'apport de combustible ou de comburant.

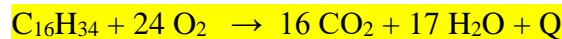
Cette réaction produit une combustion exothermique c'est-à-dire :

- qui dégage de la chaleur,
- elle produit du CO<sub>2</sub>,
- de l'eau,
- d'autres composés plus ou moins agressif.

La **stœchiométrie** (du grec “stoikheion”, élément, et “metron”, mesure) désigne l'étude des **proportions idéales** d'éléments qui autorisent une réaction chimique complète, “propre” et sans gaspillage.

Equations stœchiométriques des combustions complètes :

Pour le gazole



- 219 gr de gazole consomment 532 litres d'oxygène,
- à 21 % d'O<sub>2</sub> dans l'air donc 2533 litres d'air
- Donc 1 kg de gazole consomme 11,6 m<sup>3</sup> d'air à 29 kg au m<sup>3</sup>.
- La masse du mélange est donc de 337,4 kg

Le carburant le plus utilisé est du gasoil d'indice de cétane.

La composition élémentaire de **1 kg de gas-oil** est :

Carbone : C = 0.87

Hydrogène : H = 0.126

Oxygène : O = 0.004

Azote : N, Soufre : S, vapeur d'eau : W en faible quantité.

Pouvoir calorifique inférieur P.C.I. :

$$PCI = 8140.C + 30\,000.H + 2600(S - O) - 600(9H + W) [kcal/kg]$$

$$PCI = 33,91.C + 125,6.H - 10,89(S - O) - 2,51(9H + W) [MJ/kg]$$

### 3.3. Quantité théorique d'air a la combustion du gas-oil

Les lois de la **stœchiométrie** appliquées à la **combustion des hydrocarbures** nous montrent **que pour bruler:**

- **1 kg de gazole**, il faut disposer d'environ **14,6 kg d'air** soit environ :
  - 11,2 kg d'N<sub>2</sub>,
  - 3,4 kg d'O<sub>2</sub>.

La réaction produit environ :

- 11,2 kg d' $N_2$  (inerte n'ayant pas participé à la combustion),
- 3,2 kg  $CO_2$ ,
- 1,2 kg d' $H_2O$ .

• **1 kg d'essence**, il faut disposer d'environ **15,3 kg d'air** soit environ :

- 11,8 kg d' $N_2$ ,
- 03,5 kg d' $O_2$ .

La réaction produit environ :

- 11,8 kg d' $N_2$  (inerte, n'ayant pas participé à la combustion)
- 3,1 kg de  $CO_2$ ,
- 1,4 kg d' $H_2O$ .

• **1 kg de GPL**, il faut disposer d'environ **15,6 kilogrammes d'air** soit environ :

- 12 kg d' $N_2$ ,
- 03,6 kg d' $O_2$ .

La réaction produit environ :

- 12 kg d' $N_2$  (inerte, n'ayant pas participé à la combustion),
- 3 kg de  $CO_2$ ,
- 1,6 kg d' $H_2O$ .

La quantité théorique d'air nécessaire pour assurer la combustion complète du gasoil il faut avoir :

[kg d'air/kg]

$$L_0 = \left( \frac{1}{0.23} \right) \times \left[ \left( \frac{8}{3} \right) C + 8H - O \right]$$

[kmol d'air/kg]

$$L_0 = \left( \frac{1}{0.21} \right) \times \left[ \left( \frac{C}{12} \right) + \left( \frac{H}{4} \right) - \left( \frac{O}{32} \right) \right]$$

### 3.4. Quantité réelle d'air nécessaire a la combustion du gasoil

Une stœchiométrie parfaite est toujours difficile à garantir, même en laboratoire, notamment à cause de la contamination de l'air ou des composants utilisés dans les expériences, mais on peut s'en approcher.

Il en va tout autrement s'agissant de la combustion des carburants dans le cadre du fonctionnement d'un moteur.

En effet, non seulement le carburant peut présenter des différences de composition selon les pays et les distributeurs, mais en plus, la masse d'air introduite dans le moteur varie en permanence en fonction de la température ambiante et de la pression atmosphérique.

À cela il faut ajouter le fait que les moteurs ne fonctionnent jamais à des régimes, températures et charges de travail constants et idéals, ce qui signifie qu'il faut modifier en temps réel la quantité de carburant injectée dans les cylindres.

Pour y remédier on modifie la richesse ou l'excès d'air.

Pour les moteurs Diesels, l'excès d'air du mélange combustible doit être toujours supérieur à la limite d'apparition des fumées déterminée par  $\lambda \cong 1,8$  soit  $r = 0,55$ .

$$Lr = \lambda Lo \text{ [kmole d'air/kg combustible]}$$

### 3.5. Quantité des produits produit de combustion

Les **produits de combustion** sont les produits issus de la réaction chimique entre un carburant et un comburant, ils s'appellent aussi **gaz brûlés** ou **fumées**.

Lorsque les lois de la stœchiométrie sont respectées, les gaz d'échappement ne contiennent que de l'azote gazeux ( $N_2$ ), du dioxyde de carbone ( $CO_2$ ) et de l'eau à l'état de vapeur ( $H_2O$ ).

Ces corps existent en grandes quantités dans la nature, ils sont chimiquement stables et sont indispensables au maintien des équilibres naturels, ce ne sont donc pas des polluants.

Mais que se passe-t-il lorsque les lois de la stœchiométrie ne sont plus respectées ? Pour simplifier le problème, considérons deux configurations opposées :

- **mélange riche** (trop de carburant, pas assez d'air) : dans cette configuration, certains atomes qui constituent la molécule d'hydrocarbure ne trouvent pas de "partenaire oxygène" en nombre suffisant puisque l'air manque, ils ne sont donc pas oxydés complètement et se retrouvent dans les gaz d'échappement sous forme de particules carbonées, d'hydrocarbures imbrûlés (symbole chimique HC) ou de monoxyde de carbone (symbole chimique CO), gaz qu'il ne faut surtout pas confondre avec le  $CO_2$  : l'un est très toxique, l'autre pas du tout.
- **mélange pauvre** (peu de carburant, trop d'air) : dans cette configuration, un excès d'air (c'est toujours le cas lorsque le moteur est suralimenté) fortement comprimé à haute température (c'est particulièrement le cas des moteurs diesel) peut entraîner la



formation de monoxyde d'azote (symbole chimique NO), suite à une réaction entre l'oxygène (O<sub>2</sub>) et l'azote (N<sub>2</sub>). Une fois expulsé, le monoxyde d'azote présente la particularité de se transformer spontanément en dioxyde d'azote (symbole chimique NO<sub>2</sub>) au contact de l'air, générant au passage une mutation de l'oxygène atmosphérique en ozone (symbole chimique O<sub>3</sub>). Ces deux gaz sont très toxiques pour les organismes vivants.

$$n_{CO_2} = \frac{C}{12} \text{ [kmole/kg]}$$

$$n_{HO_2} = \frac{H}{2} \text{ [kmole/kg]}$$

$$n_{O_2} = 0,21 \times (\lambda - 1) \times L_o \text{ [kmole/kg]}$$

$$n_{N_2} = 0,79 \times \lambda \times L_o \text{ [kmole/kg]}$$

### 3.6. Quantité totale des produits de combustion

$$n_{Total} = n_{CO_2} + n_{HO_2} + n_{O_2} + n_{N_2} \text{ [kmole/kg]}$$

### 3.7. Puissance nominale

Vous avez sûrement déjà feuilleté le catalogue d'un grand constructeur automobile.

Chaque modèle y est décliné en plusieurs versions, les différences portant essentiellement sur la puissance du moteur.

Le choix est vaste et on s'y perd :

80 ch, 100 ch, 120 ch, 150 ch...

- Que signifient réellement ces chiffres ?
- À quoi sert la puissance ?
- Comment la mesure-t-on ?
- Quelle est la relation entre la puissance et la vitesse ?

Voici quelques éléments de réponses...

D'une manière générale, la puissance désigne la production, la consommation ou la transformation d'énergie par unité de temps.

Pour une automobile, cette énergie est d'abord de nature chimique (combustion du carburant), puis de nature cinétique (accélération et vitesse sur route horizontale) ou gravitationnelle (route en déclivité).

La puissance d'un moteur thermique se rapporte donc à l'énergie délivrée par unité de temps, mais aussi à l'énergie consommée sous forme de carburant dans le même temps.

On ne peut jamais mesurer la puissance, on ne peut que la calculer, en combinant les valeurs de la charge moteur et de la vitesse de rotation relevées sur un banc de puissance.



Banc d'essai moteur

Passer un moteur au banc consiste d'abord à l'accoupler à un disque équipé d'un :

- frein,
- compte-tours.

Une fois le moteur lancé à plein régime, l'opération consiste à actionner progressivement le frein jusqu'à ce que la vitesse de rotation du moteur soit stabilisée, la commande des gaz restant grande ouverte.

En effet, une vitesse stabilisée signifie que le couple moteur est alors exactement égal au couple de freinage.

il suffit donc de mesurer l'intensité de la force de freinage pour en déduire la valeur du couple moteur.

Autrement dit, ce qu'on appelle à tort un 'banc de puissance' ne sert qu'à mesurer le couple moteur et la manière dont il évolue en fonction de la vitesse de rotation.

In fine, la puissance résulte d'un calcul, c'est le produit de ces deux grandeurs.

$$P_f = \frac{F \cdot N}{10\,000}$$

Où :

F : charge [N].

N = régime de rotation [tr/mn].

### 3.8. Puissance corrigée

$$P_{fc} = P_f \cdot f$$

Avec :

- f : Facteur de correction tenant compte de la température et de la pression ambiante : f = 1.085

T<sub>amb</sub> = 27 [°C]

Diagramme de conversion

f = 1.085

P<sub>amb</sub> = 719 [mmHg]

### 3.9. Consommation spécifique

La consommation spécifique du moteur est la quantité de carburant (C<sub>s</sub>) utilisée pour produire un travail T donné:

$$C_s = \frac{(3600 \cdot v \cdot P_s)}{(t \cdot P_f)} \quad [\text{g/kWh}]$$

Ou :

- v : volume du gas-oil à consommer [cm<sup>3</sup>].
- P<sub>s</sub> : poids spécifique du gasoil [gr/cm<sup>3</sup>].
- t : temps de consommation [s].
- P<sub>f</sub> : puissance au frein [kW].
- 

### 3.10. Consommation spécifique corrigée

$$C_{sc} = (3600 \cdot v \cdot P_s) / (t \cdot P_{fc})$$

Ou :

- $P_{fc}$  : puissance corrigée.

### 3.11. Couple moteur

Quelles sont les caractéristiques essentielles d'un véhicule à moteur ?

Les services marketing le savent, c'est la puissance et la vitesse maximale qui, au premier abord, focalisent l'attention du public car ce sont les données les plus valorisantes pour l'acheteur.

Mais pour le technicien comme pour le conducteur avisé, c'est :

- la masse de la voiture,
- son couple moteur,
- le régime auquel il est disponible

qui sont les données essentielles, car elles conditionnent le comportement du véhicule en situation réelle, le service qu'il peut rendre et son prix de revient.

Le terme de "**couple**" vient de ce qu'il associe deux grandeurs :

- une **force** : c'est la pression que les gaz exercent sur les pistons
- un **bras de levier** : c'est la longueur des manetons du vilebrequin.

On utilise pour cela un "**banc de puissance**" qui est un appareil équipé d'un compte-tours et d'un frein.

La valeur du couple moteur dépend de l'aptitude d'un moteur à introduire dans les cylindres un mélange air-carburant parfaitement homogène, et surtout de sa capacité à en tirer le maximum d'énergie au moment de la combustion.

Le couple moteur est toujours relativement modeste à bas régime, il atteint sa valeur maximale aux régimes intermédiaires pour décroître ensuite inexorablement au fur et à mesure que la vitesse de rotation augmente, comme si le moteur finissait par s'asphyxier...

Tant que le moteur fonctionne dans sa plage de régime de couple maximum, la consommation de carburant, la pollution de l'environnement et donc le prix de revient du kilomètre parcouru se maintiennent aux valeurs les plus basses dont le véhicule est capable.

Pour toutes ces raisons, il est préférable que le couple maximum soit délivré à un régime pas trop élevé...

$$C_N = \frac{30 \cdot P_N \cdot 1000}{N \cdot \pi} \quad [\text{Nm}]$$

Ou:

- $P_N$  : Puissance nominale [kW].
- $N$  : Vitesse de rotation [tr/mn].

### 3.12. Couple corrigée

$$C_c = \frac{30 * P_{fc} * 1000}{N * \pi} \text{ [Nm]}$$

Ou :

- $P_f$  : Puissance corrigée : [kW]

## 4. Bilan thermique des moteurs

Que devient l'énergie libérée par la combustion ?

Elle apparaît sous deux formes distinctes :

- **Chaleur** : c'est la même que celle qu'on peut ressentir devant n'importe quel brasier. L'échauffement d'un moteur dit "thermique" est donc un phénomène normal. Hélas, cette chaleur ne sert à rien, sinon à chauffer l'habitacle, elle est donc vouée à se disperser dans l'environnement.
- **Mouvement** : c'est ce dont on a besoin pour faire avancer la voiture. Dans le cas d'un moteur d'automobile, la pression des gaz dans la chambre de combustion provoque le mouvement des pistons et la rotation du vilebrequin, signe tangible qu'une autre partie de l'énergie libérée s'est manifestée sous forme de mouvement (4) .

Comment distinguer ces deux formes d'énergie ?

En calculant le rendement du moteur ou plus exactement son bilan thermique.

En effet, le rendement se définit comme :

$$\text{Rendement} = \frac{\text{énergie récupérée}}{\text{énergie consommée}}$$

Dans le cas d'un moteur:

- **l'énergie récupérée** est celle mesurée en bout de vilebrequin sur un banc de puissance exprimée en kilowattheure [kW] ;
- **l'énergie consommée** correspond à la masse de carburant brûlée (exprimée d'abord en kilogrammes, puis convertie en joules).

Le résultat est une grandeur sans dimension.

Si on fait un bilan thermique dans un moteur de combustion interne:

$$Q_T = Q_e + Q_r + Q_{ra} + Q_a + Q_{res} + Q_{ge}$$

- $Q_T$ : Flux de chaleur dégagé si on brûle tout le combustible.
- $Q_e$ : Flux de chaleur transformée en puissance effective.
- $Q_r$ : Flux de chaleur évacué au liquide de refroidissement.
- $Q_{ge}$ : Flux de chaleur perdu avec les gaz d'échappement.
- $Q_P$ : Flux de chaleur perdu (par rayonnement, vers l'huile, à cause de la combustion incomplète, frottements, etc.).

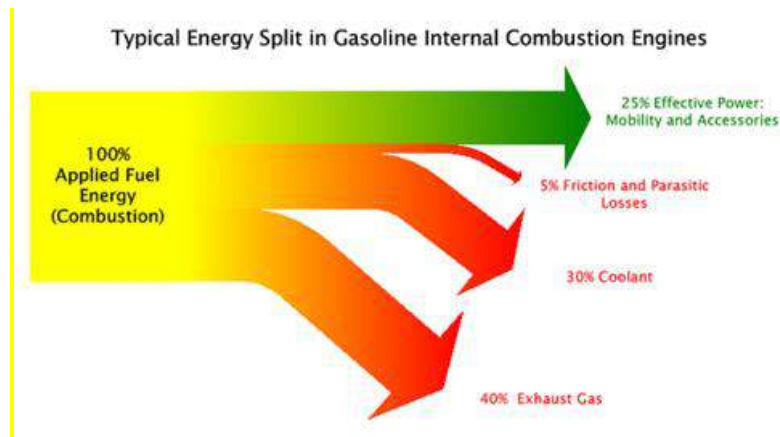


Schéma de la conversion et des pertes thermique dans un moteur

Si on fait un bilan des pertes de chaleur pour prendre en compte où elles se produisent, on trouve :

#### 4.1. Chaleur totale introduite dans le moteur par la combustion

**Énergie brute** libérée par la combustion du carburant :

- Gazole : 44,3 MJ.kg-1 (37,4 MJ.l-1 )
- Essence : 46,9 MJ.kg-1 (35,6 MJ.l-1 )
- GPL : 48,7 MJ.kg-1 (26,8 MJ.l-1 )



**Énergie nette** libérée par la combustion du carburant :

- Gazole : 41,7 MJ.kg-1 (35,2 MJ.l-1 )
- Essence : 43,7 MJ.kg-1 (33,2 MJ.l-1 )
- GPL : 45,1 MJ.kg-1 (24,8 MJ.l-1 )

$$Q_T = \frac{(PCI * C_{sh})}{3.6}$$

**Calcul de la consommation horaire**

- PCI : pouvoir calorifique inférieur [kJ/kg]
- Csh : consommation spécifique horaire [kg/h].

## 4.2. Chaleur équivalente au travail effectif par unité de temps

$$Q_e = 1000 * P_f \text{ [J/s]}$$

Sachant que:

- P<sub>f</sub> : puissance au frein [W]

## 4.3. Chaleur transmise au système de refroidissement

Cette chaleur est donnée par la formule suivante:

$$Q_r = \frac{C * i * D^{(1+2m)} * N^m}{\lambda} \text{ [J/s]}$$

Avec:

- C : Coefficient de proportionnalité dont la valeur pour les moteurs à 4 temps varie dans la plage. [0,45 ÷ 0 53]
- i: Nombre de cylindres.
- D : Alésage du cylindre.
- N : fréquence de rotation du vilebrequin.

- $m$ : Exposant empirique dont la valeur pour les moteur à 4 temps est limitée par l'intervalle [0.6 ÷ 0.7 ].
- $\lambda$ : Coefficient d'excès d'air.

#### 4.4. Chaleur emportée par les gaz d'échappement

$$Q_{ge} = \frac{C_{sh}}{3.6} [n_t(mcp)^{tr} (Tr-273) - Lr(mcp)^{t2} (T_2- 273)]$$

Avec :

- $L$ : Quantité réelle d'air nécessaire a la combustion du gasoil [kmole d'air/kg de combustible].
- $n_t$ : Quantité totale des produits de combustion [kmole/kg].
- $Tr$ : Température des gaz d'échappement [K].
- $T_2$ : Température de l'air a l'entrée du moteur [K].
- $C_{sh}$ : Consommation massique de gas-oil horaire [kg/h].
- $(mcp)^{tr}$ ;  $(mcp)^{t2}$ , sont respectivement la capacité calorifique molaire moyenne à pression constante des gaz résiduels et de l'air admis .

#### 4.5. Autres pertes de chaleur

$$Q_P = Q_T - (Q_e + Q_r + Q_{ge})$$

# **Chapitre 8**

## **Identification du véhicule**

# Vehicle Identification Number

Le **code VIN - Vehicle Identification Number** - est un code alphanumérique unique qui est donné à chaque véhicule automobile depuis 1950.

Il apparaît sur le châssis du véhicule ainsi que sur le moteur et dans l'ordinateur de bord.

Lancé dans une forme simplifiée en 1950 par les constructeurs américains, ce code passera aux **17 caractères** actuels en 1980

Le numéro inscrit sur la carte grise dans la zone « **numéro dans la série du type** » correspond bien à celui figurant sur la voiture.

Passat IV B – 2000 (=B5.5 ou =Typ 3BG ou = VI) D'après le VIN c'est une 3B et le E correspond à la version Sport. 212130 serait le numéro de série du châssis.



Ce numéro dans la série du type est parfois appelé **numéro de série** ou **numéro de châssis** mais son appellation officielle est :

## Numéro d'Identification du Véhicule

(N.I.V ou Vehicle Identification Number, V.I.N, en anglais) et regroupe

« **Type** » et « **N dans la série du type** ».

Cette normalisation prévoit, entre autres, que le N.I.V doit avoir une :

### Longueur de 17 caractères

et peut être divisé en 3 sections :

- **Les 3 premiers caractères** sont réservés à :

### Identification Mondiale du Constructeur

W.M.I, World Manufacturer Identification (anglais)

Suivant cette codification, chaque constructeur est identifié mondialement avec parfois des variations suivant le pays où se trouve l'usine de fabrication.

A titre d'exemple la codification de :

- Renault est VF1,
- Peugeot est VF3,
- Citroën est VF7.



Les **03 premiers** caractères d'identification du constructeur (WMI).

On distingue les constructeurs qui fabriquent plus de 500 exemplaires par an des autres.

Un constructeur dont la production est inférieure à 500 véhicules par an utilise 9 caractères, les autres 14.

Certains constructeurs utilisent le 3ème caractère pour une catégorie de véhicules comme les bus ou les camions comme par exemple :

- le code Amérique du Nord 1G attribué à General Motors, se décompose en ;
  - 1G1 pour Chevrolet,
  - 1G2 pour Pontiac, et
  - 1GC pour Chevrolet camions.
- le code Italie F; attribué à Fiat, se décompose en :
  - FA pour Fiat Auto et
  - FC pour Fiat V.I..

Le premier caractère WMI correspond au code du pays dans lequel l'usine du constructeur est implantée. Exemple :

- ZFA : Fiat Auto Italie,
- SUF : Fiat Auto Pologne,
- 8AF : Fiat Auto Argentine,
- NRT : Tofas-Fiat Auto Turquie,
- 9BD : Fiat Automoveis Brésil.

- **Les 6 caractères suivants** sont consacrés à la

### **Section de Description du Véhicule**

**V.D.S, Vehicle Description Section (anglais)**

où l'on va trouver une codification du type élaborée par le constructeur. P.S.A et Renault utilisent dans cette zone ce que l'on appelait autrefois le type mines.

- Enfin, les 8 derniers caractères constituent la

### Section d'Identification du Véhicule

V.I.S, Vehicle Identification Section en anglais

Il s'agit d'un numéro séquentiel attribué au véhicule et ce dans le type et pour le constructeur concerné.

### Emplacement du V.I.N.

Afin de vérifier la concordance entre ce numéro se trouvant sur la carte grise et celui figurant sur la voiture\*,

il faut savoir que ce numéro peut être trouvé à 2 ou 3 endroits du véhicule suivant les cas sur :



châssis du véhicule

plaque constructeur

derrière le pare brise

Cette dernière option n'est pas obligatoire mais de plus en plus les constructeurs européens en équipent leurs modèles les plus récents. Pour connaître l'endroit où se trouve ce numéro reportez-vous au manuel d'utilisation du véhicule ou adressez-vous à un concessionnaire de la marque.

Le N.I.V se trouvant sur le châssis doit être :

- frappé à l'aide de poinçons ou,
- gravé sur une pièce essentielle de la voiture.

En général faisant partie de la caisse ou du châssis, de manière à ce qu'il ne puisse s'effacer accidentellement ou s'altérer.

Il doit être placé de manière visible sans qu'un démontage ne soit nécessaire.

Pour ce qui est de sa localisation, il doit impérativement se situer dans la partie droite du véhicule et l'expérience montre que dans 80 à 85% des cas ce N.I.V se trouve :

- dans la partie droite ou centrale du compartiment moteur,
- aux environs immédiats du siège passager avant droit



La **plaque constructeur** sur laquelle figure également le N.I.V est :

- soit une plaque aluminium de couleur argentée ou noire,
- soit une étiquette adhésive qui peut être noire, blanche ou translucide.

Cette **plaque constructeur** se trouve en général :

- dans le compartiment moteur,
- sur le pied de porte avant droit,
- dans le coffre.

Enfin, le N.I.V optionnel qui peut se trouver **derrière le pare-brise** est visible à travers une petite fenêtre en bas à gauche et donc coté conducteur.



## Evolution du code VIN en fonction des types

### Mercedes W201



### Mercedes W202



### Mercedes W203



### Mercedes W204



# Composition du code

Les véhicules modernes qui sont référencés avec des codes VIN sont identifiables par un système basé sur la norme ISO, Organisation internationale de normalisation :

- ISO 3779 de 1979 et
- ISO 3780 de 1980.

## Avant-propos

L'ISO (Organisation internationale de normalisation) est une fédération mondiale d'organismes nationaux de normalisation (comités membres de l'ISO).

### 1 Domaine d'application

La présente Norme internationale spécifie le contenu et la structure d'un numéro d'identification des véhicules (VIN) permettant d'assurer, à l'échelle mondiale, un système uniforme de numérotation pour l'identification des véhicules routiers.

La présente Norme internationale s'applique aux véhicules à moteur, aux véhicules tractés, aux motocycles et aux cyclomoteurs définis dans l'ISO 3833.

### 3 Termes et définitions

#### 3.1 Numéro d'identification d'un véhicule **VIN**

Combinaison structurée de caractères attribuée à un véhicule par son constructeur en vue de son identification

#### 3.2 Code d'identification mondiale du constructeur **WMI**

Première section du numéro d'identification d'un véhicule, qui désigne le constructeur du véhicule, et qui est assignée à un constructeur de véhicules afin de permettre l'identification dudit constructeur

#### 3.3 Descripteur **VDS**

Deuxième section du numéro d'identification d'un véhicule, qui donne une information sur les caractéristiques générales du véhicule

#### 3.4 Indicateur **VIS**

Troisième et dernière section du numéro d'identification d'un véhicule, qui constitue une combinaison de caractères attribués par le constructeur pour distinguer un véhicule d'un autre véhicule

### 3.5 Constructeur

Personne, entreprise ou société qui délivre le certificat de conformité, ou qui démontre la conformité et assume la responsabilité du produit pour un véhicule prêt à être mis en service, indépendante de l'emplacement de l'usine de montage

### 3.6 Année

Année calendaire pendant laquelle le véhicule est produit, ou année du modèle du véhicule déterminée par le constructeur

### 3.7 Séparation

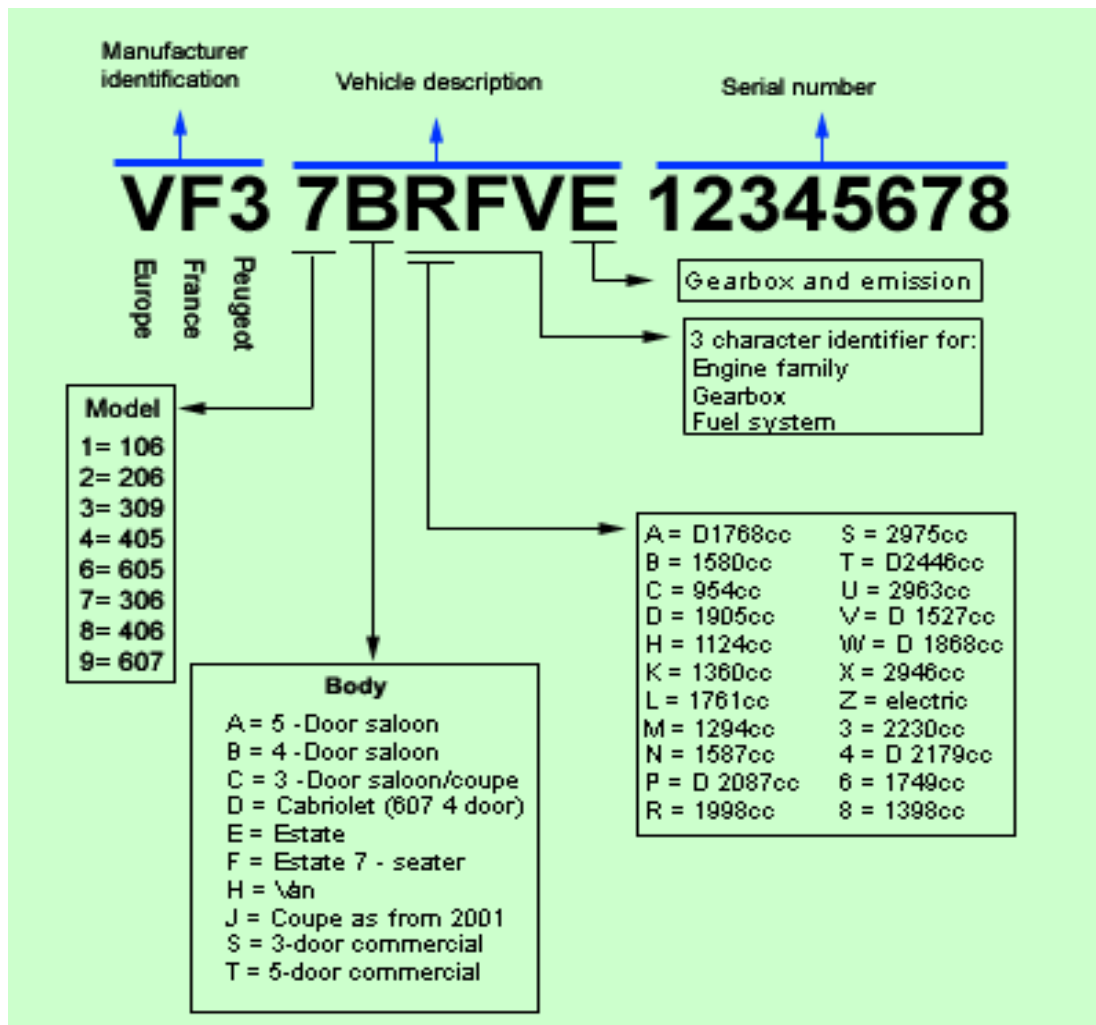
Symbole, caractère ou bordure matérielle qui peut être utilisé pour séparer les sections du numéro d'identification d'un véhicule, ou pour définir ses limites

Année	Code	Année	Code	Année	Code	Année	Code	Année	Code
1971	1	1980	A	1992	N	2001	1	2010	A
1972	2	1981	B	1993	P	2002	2	2011	B
1973	3	1982	C	1994	R	2003	3	2012	C
1974	4	1983	D	1995	S	2004	4	2013	D
1975	5	1984	E	1996	T	2005	5	2014	E
1976	6	1985	F	1997	V	2006	6	2015	F
1977	7	1986	G	1998	W	2007	7	2016	G
1978	8	1987	H	1999	X	2008	8	2017	H
1979	9	1988	J	2000	Y	2009	9	2018	J
		1989	K					2019	K
		1990	L					2020	L
		1991	M					2021	M

Quelques différences existent pour la codification des très petites séries.

Standard	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
<b>ISO 3779</b>	Code constructeur-WMI			Composition du véhicule					Code véhicule-VIS								
<b>Union Européenne &amp; Amérique du Nord</b>  plus de 500 véhicules/an	Code constructeur-WMI			Composition du véhicule		Code équipement du véhicule			Code Année Modèle		Code Véhicule		Numéro progressif série				
<b>Union Européenne &amp; Amérique du Nord</b>  moins de 500 véhicules/an	WMI			Composition du véhicule		Code équipement du véhicule			Code Année Modèle		Code Véhicule		Code constructeur-WMI		Numéro progressif série		





Le numéro VIN est composé de 3 sections : code WMI, code VDS et numéro VIS.

Pour le nouveau Peugeot 3008, cela donne:

Moteur\*

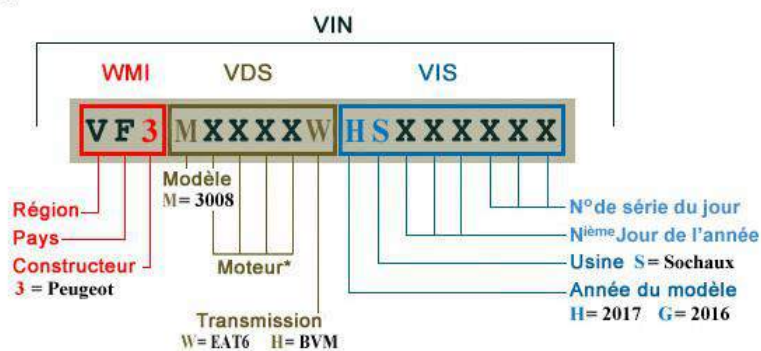
RHNY = 1.2 PureTech 130

4SGZ = 1.6 THP 165

CBHZ = 1.6 HDI 120

JAHX = 2.0 HDI 150

JAHW = 2.0 HDI 180





## Exemple de code VIN

Poinçon Peugeot VF3 741 A4 7F535G815 Poinçon Peugeot

- **Poinçon : Peugeot**
  - **Code constructeur WMI (03) :**
    - 1 : VF (Europe : S-Z, France VF-VR),
    - 3 : 3 (Peugeot),
  - **Type au mines (06) :**
    - 4-6 : 741 (Composition du véhicule)
      - 7 (306)
      - 4 (04 portes)
      - 1 ou A (Moteur D1768 cc)
    - 7-8 : A4 (type de véhicule : coupe, cabriolet, etc)
    - 9 : 7 (Code équipement du véhicule)
  - **Année modèle (01)**
    - 10 : F (1985)
  - **Code VIS (07)**
    - 11 : 5 (code usine, chiffre ou lettre selon les constructeur)
    - 12-17 : 35G815 (numéro dans la série du type)
- Poinçon : Peugeot**



WAUZZZ8GZPA001181

Decoded Audi VIN Results			
VIN: WAUZZZ8GZPA001181			
Digit(s)	Parameter	Code(s)	Meaning
1-2	Country	WA	Germany
3	Manufacturer	U	Audi
4-6	Blanks	ZZZ	---
7-8	Vehicle Type	8G	B4 Platform, Audi Cabriolet (1992 - 2000)
9	Check/Blank	Z	-
10	Model Year	P	1993
11	Factory	A	Built in Ingolstadt, Germany
12-17	Chassis Number	001181	Serial Number 001181

## Codes pays

<b>A-H = Afrique</b>	<b>J-R = Asie</b>	<b>S-Z = Europe</b>	<b>1-5 = Amérique du Nord</b>	<b>6-7 = Océanie</b>	<b>8-9 = Amérique du Sud</b>
<b>AA-AH</b> Afrique du Sud <b>AJ-AN</b> Côte d'Ivoire <b>AP-A0</b> non attribué <b>BA-BE</b> Angola <b>BF-BK</b> Kenya <b>BL-BR</b> Tanzanie <b>BR</b> : Algérie <b>BS-B0</b> non attribué <b>CA-CE</b> Benin <b>CF-CK</b> Madagascar <b>CL-CR</b> Tunisie <b>CS-C0</b> non attribué <b>DA-DE</b> Egypte <b>DF-DK</b> Maroc <b>DL-DR</b> Zambie <b>DS-D0</b> non attribué (probable Algerie) <b>EA-EE</b> Ethiopie <b>EF-EK</b> Mozambique <b>EL-E0</b> non attribué <b>FA-FE</b> Ghana <b>FF-FK</b> Nigeria <b>FF-FK</b> Madagascar <b>FL-F0</b> non attribué <b>GA-G0</b> non attribué <b>HA-H0</b> non attribué	<b>JA-J0</b> Japon <b>KA-KE</b> Sri Lanka <b>KF-KK</b> Israel <b>KL-KR</b> Corée du Sud <b>KS-K0</b> non attribué <b>LA-L0</b> Chine <b>MA-ME</b> Inde <b>MF-MK</b> Indonésie <b>ML-MR</b> Thaïlande <b>MS-M0</b> non attribué <b>NF-NK</b> Pakistan <b>NL-NR</b> Turquie <b>NS-N0</b> non attribué <b>PA-PE</b> Philippines <b>PF-PK</b> Singapour <b>PL-PR</b> Malaysie <b>PS-P0</b> non attribué <b>RA-RE</b> Emirat Arabes Unis <b>RF-RK</b> Taiwan <b>RL-RR</b> Vietnam <b>RS-R0</b> non attribué	<b>SA-SM</b> Grande Bretagne <b>SN-ST</b> Allemagne <b>SU-SZ</b> Pologne <b>S1-S0</b> non attribué <b>TA-TH</b> Suisse <b>TJ-TP</b> République Tchèque <b>TR-TV</b> Hongrie <b>TW-T1</b> Portugal <b>T2-T0</b> non attribué <b>UA-UG</b> non attribué <b>UH-UM</b> Danemark <b>UN-UT</b> Irlande <b>UU-UZ</b> Roumanie <b>U1-U4</b> non attribué <b>U5-U7</b> Slovaquie <b>U8-U0</b> non attribué <b>VA-VE</b> Autriche <b>VF-VR</b> France <b>VS-VW</b> Espagne <b>VX-V2</b> Yougoslavie <b>V3-V5</b> Croatie <b>V6-V0</b> Estonie <b>WA-W0</b>	<b>1A-10</b> Etats Unis <b>2A-20</b> Canada <b>3A-3W</b> Mexique <b>3X-37</b> Costa Rica <b>38-30</b> non attribué <b>4A-40</b> Etats Unis <b>5A-50</b> Etats Unis	<b>6A-6W</b> Australie <b>6X-60</b> non attribué <b>7A-7E</b> Nouvelle Zélande <b>7F-70</b> non attribué	<b>8A-8E</b> Argentine <b>8F-8K</b> Chili <b>8L-8R</b> Equateur <b>8S-8W</b> Pérou <b>8X-82</b> Vénézuéla <b>83-80</b> non attribué <b>9A-9E</b> Brésil <b>9F-9K</b> Colombie <b>9L-9R</b> Paraguay <b>9S-9W</b> Uruguay <b>9X-92</b> Trinidad & Tobago <b>93-99</b> Brésil <b>90</b> non attribué

		<p> <b>Allemagne</b>  <b>XA-XE</b>  <b>Bulgarie</b>  <b>XF-XK Grèce</b>  <b>XL-XR Pays</b>  <b>Bas</b>  <b>XS-XW Russie</b>  <b>XX-X2</b>  <b>Luxembourg</b>  <b>X3-X0 Russie</b>  <b>YA-YE</b>  <b>Belgique</b>  <b>YF-YK</b>  <b>Finlande</b>  <b>YL-YR Malte</b>  <b>YS-YW Suède</b>  <b>YX-Y2</b>  <b>Norvège</b>  <b>Y3-Y5</b>  <b>Bielorussie</b>  <b>Y6-Y0 Ukraine</b>  <b>ZA-ZR Italie</b>  <b>ZS-ZW non</b>  <b>attribué</b>  <b>ZX-Z2</b>  <b>Slovénie</b>  <b>Z3-Z5 Lituanie</b>  <b>Z6-Z0 non</b>  <b>attribué</b> </p>			
--	--	---	--	--	--

# **Chapitre 9**

# **Organisation du**

# **garage**

## 1 Introduction

Un atelier de réparation automobile, plus communément appelé :

**garage**

est une structure spécialisée dans l'entretien courant et la réparation des véhicules automobile.



Un petit atelier de garagiste en Nouvelle-Galles du Sud (Australie).

« Garagiste » est un terme générique désignant une personne travaillant dans un garage, et peut s'appliquer à tous les métiers de l'entretien automobile :

- mécanicien,
- carrossier,
- peintre en carrosserie,
- vendeur, etc...

Un garage peut faire office de station-service, tandis que bon nombre de ces dernières, principalement dédiées à la distribution de carburant, proposent un service basique de « garage » permettant l'entretien courant du véhicule et les réparations mineures.

Certains garages, en outre, proposent un service de vente de véhicules.



Garage Citroën à Constantine au début du XX siècle (Algérie)

Il existe des concessionnaires et des garagistes indépendants.

## 2. Histoire

Les ateliers de réparation ont fait leur apparition et se sont multipliés de par le monde en même temps que l'automobile a commencé à se banaliser, à compter du début du XX<sup>e</sup> siècle, passant du statut de curiosité très onéreuse à celui de bien de grande consommation - progressivement accessible au plus grand nombre ( FORD T).

L'augmentation du parc installé a constitué l'opportunité de créer un nouveau modèle économique axé sur ce nouveau mode de transport.

Tandis que les pays industrialisés s'adaptaient à l'automobile en :

- sécurisant et règlementant son emploi,
- développant un réseau de routes adapté,

le besoin en points d'entretien dédiés est allé croissant et les « garages » ont commencé à se multiplier au bord des routes et dans les agglomérations.

### 3 CHOIX DE L'IMPLANTATION

L'implantation d'un garage, en centre-ville ou en bordure de ville, implique avantages et inconvénients quelque soit le cas. Critères de choix:

- Trafic.
- Publicité.
- Facilité d'accès.
- Coût du terrain.
- Superficies possibles.
- Frais fixes.

### 4 RÉPARTITION DES SURFACES

La répartition idéale des surfaces est de :

- 1/3 bâti,
- 2/3 non-bâti.

**a) SURFACES NON-BATIES :** Elles sont essentiellement constituées

- Aires de stationnement : Clients magasin de P.R.,
- véhicules en attente de réparation,
- véhicules clients réparés,
- véhicules neufs et occasions,
- véhicules du personnel,
- véhicules visiteurs ex: représentants, dépanneuse, bennes à déchets.

**b) SURFACES BATIES :** Les locaux doivent être :

- spacieux,
- bien éclairés,
- ventilés,
- chauffés,
- d'accès facile.

Il faut prévoir :

➤ **Pièces à usage de bureau :**

- 6m<sup>2</sup> par personne.

➤ **Réception et d'accueil des clients :**

- sa localisation doit être évidente.



➤ **Salle d'attente clients :**

- spacieuse,
- confortable,
- agrémentée,
- documentée,
- équipée,
- éclairée,
- peinte toujours en blanc mat.

➤ **Magasin de Pièces de Rechange : plusieurs accès séparés :**

- clients,
- mécaniciens,
- agents.

➤ **Atelier de réparation plusieurs zones :**

- réparations rapides,
- interventions longues,
- carrosserie...,
- peinture,
- électricité,
- mise au point etc.

➤ **Pièces annexes**

- déchets,
- aire de lavage,
- compresseurs,
- vestiaires personnels,
- sanitaires etc.

## 5. LES MATÉRIELS

### a) GROS MATÉRIELS



Stations de lavage,



Stations de vidange graissage



Station de contrôle de géométrie des trains roulants



Montage et équilibrage de pneumatiques



Station de diagnostic



Station de contrôles Electricité



Matériels de manutention (grues, crics,...), ponts élévateurs,

## b) PETITS MATÉRIELS

### SERVANTE OUTILLAGE 012 30707

**CARACTÉRISTIQUES:**  
 Servante professionnelle pour une organisation optimale des outils.  
**Poids de base:** 170 kg  
 2 tiroirs profonds et 6 tiroirs.  
 Pour une utilisation avec un système de blocage interne.  
**PROFIL:**  
 Tiroir de 30 cm, 100 cm de profondeur et 1 roulement.  
 2 tiroirs profonds et 6 tiroirs.  
 Tiroir avec POVA, bloqué en 17° + 1,2°.  
 Jeu de roues de montage: 01230707A.  
 Jeu de pièces de montage: 01230707B.

**CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES:**  
**Mesure:** 600 x 472 x 820 mm  
**Mesure avec tiroir:** 600 x 472 x 1014 mm  
**2 tiroirs:** 150 x 600 x 115 mm  
**2 tiroirs:** 150 x 600 x 115 mm  
**Poids base:** 170 kg  
**Capacité de charge:**  
 2 tiroirs: 25 kg  
 2 tiroirs: 25 kg



### SERVANTE PROFESSIONNELLE 2 TIROIRS 012 30702

**CARACTÉRISTIQUES:**  
 Servante professionnelle pour une organisation optimale des outils.  
 2 tiroirs profonds et 2 tiroirs à glissement.  
 Profondeur de tiroir: 100 cm.  
 Profondeur de tiroir: 100 cm.  
 Pour une utilisation avec un système de blocage interne.  
**PROFIL:**  
 Les tiroirs ont une profondeur de 100 cm.  
 Les tiroirs ont une profondeur de 100 cm et une largeur de 100 cm.  
 Les tiroirs ont une profondeur de 100 cm et une largeur de 100 cm.  
 Les tiroirs ont une profondeur de 100 cm et une largeur de 100 cm.  
 Les tiroirs ont une profondeur de 100 cm et une largeur de 100 cm.

**CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES:**  
**Mesure:** 600 x 460 x 820 mm  
**Mesure avec tiroir:** 600 x 460 x 1014 mm  
**2 tiroirs:** 150 x 600 x 115 mm  
**Poids base:** 170 kg  
**Capacité de charge:**  
 2 tiroirs: 25 kg  
 2 tiroirs: 25 kg



Outillages spécialisés.

Outillages individuels

## 6. LES PERSONNELS

La hiérarchie se compose de 2 catégories :

### a) ENCADREMENT



Directeur général



Directeur commercial



Directeur technique



Directeur financier



**b) EXÉCUTION**



Secrétaires de direction



Secrétaires d'administration, de commerce et de gestion-finance.



Chef d'équipe,



Réceptionnaire



Préparateurs



Mécaniciens



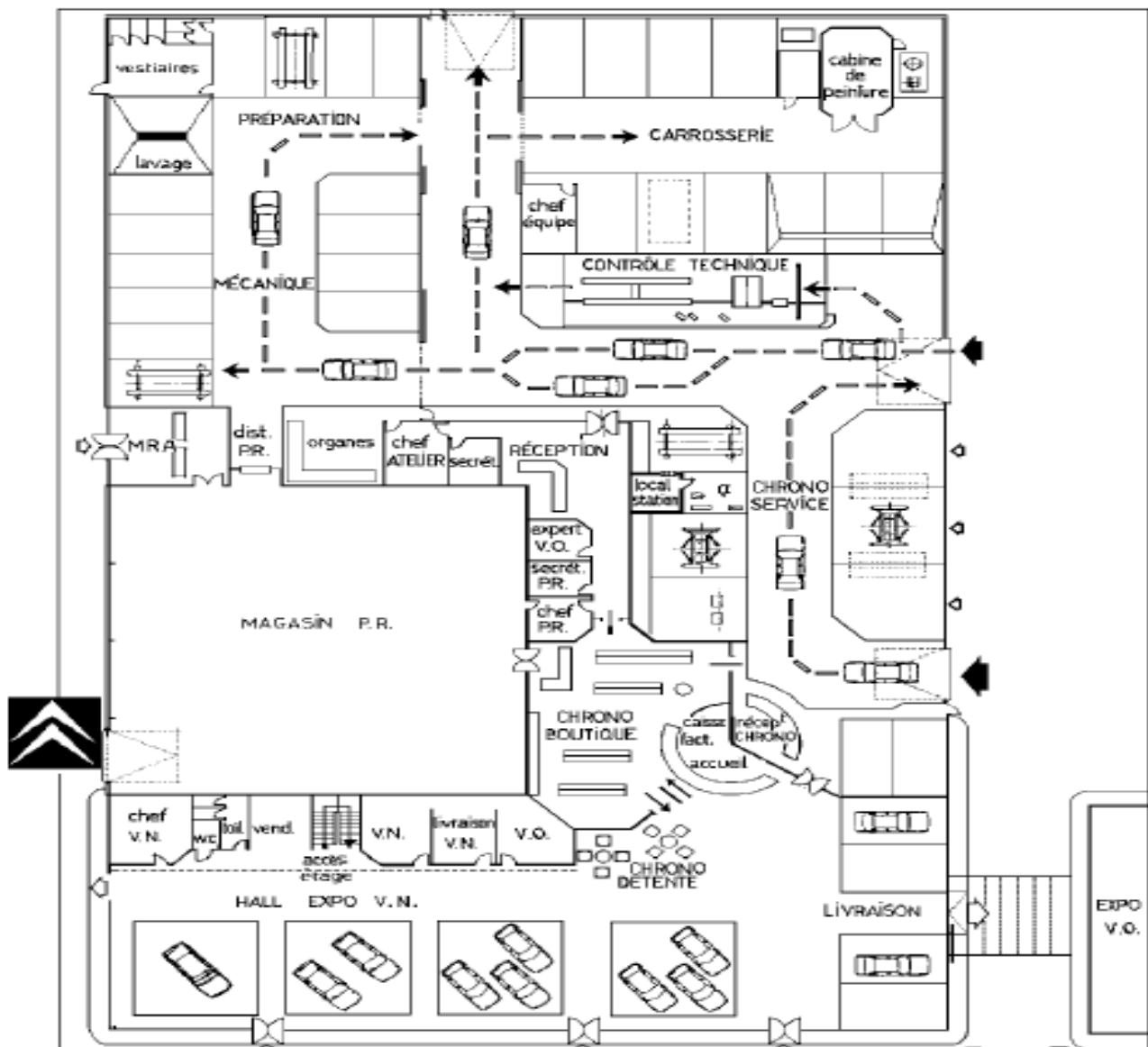
Magasiniers



Vendeurs

## a. EXEMPLE D'AMÉNAGEMENT D'UN GARAGE AUTOMOBILE

### a) RDC



### b) Etage : Bureaux et administration

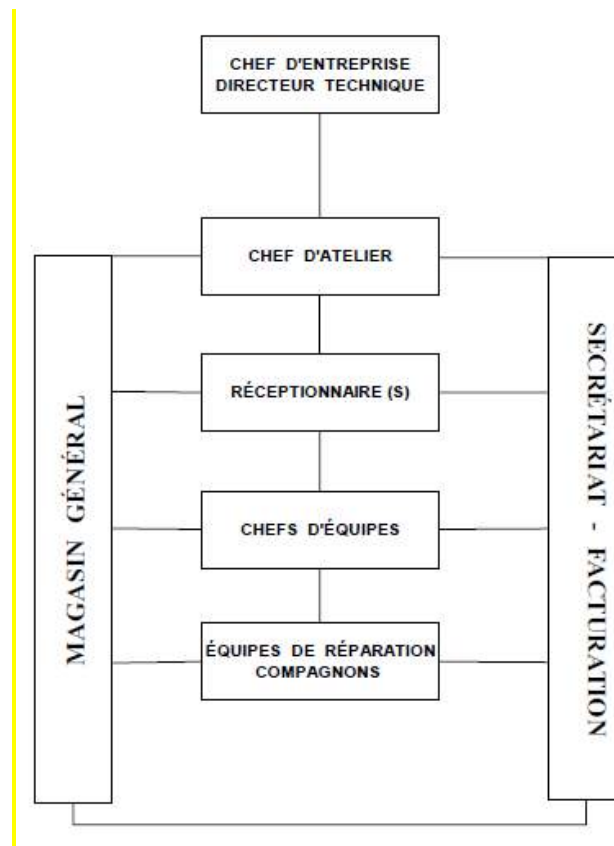
## b. ORGANISATION D'UNE ENTREPRISE DE RÉPARATION AUTOMOBILE

### a) OBJECTIF DE L'ENTREPRISE

#### Accroître la productivité

- en structurant les ateliers
- en définissant avec précision les tâches de chacun des personnels afin qu'elles ne se chevauchent pas.

## b) ORGANIGRAMME D'UNE ENTREPRISE STRUCTURÉE



- Un responsable par secteur assure la liaison avec le chef d'entreprise qui contrôle tous les secteurs.
- Chaque secteur est autonome.
- L'importance des activités de réparation permet de subdiviser le travail sous la responsabilité de plusieurs réceptionnaires ainsi que plusieurs chefs d'équipe.

### c. FONCTIONS DES DIFFÉRENTS PERSONNELS AU SEIN DE L'ENTREPRISE

#### a) LE CHEF D'ENTREPRISE :

Il définit les objectifs et les priorités de l'entreprise en assurant le contrôle de tous les secteurs.

#### b) LE CHEF D'ATELIER :

- Il est responsable du fonctionnement des ateliers et de la formation des employés.
- Il coordonne tous les services.



**c) LE RÉCEPTIONNAIRE :**

- accueil le client,
- définit la nature des travaux à effectuer,
- établit éventuellement un devis
- précise les délais de réparation.

Si le client est d'accord :

- rédige et fait signer L'O.R., qu'il remplit avec rigueur (ex: état du véhicule, carburant, accessoires).
- charge le planning de l'atelier.

Après les travaux :

- rend le véhicule après paiement de la facture.

**d) LE CHEF D'ÉQUIPE**

Il répartit le travail et prend les décisions au niveau de la réparation.

**e) LES COMPAGNONS**

Ce sont les exécutants des réparations.

**f) LE MAGASINIER**

Il approvisionne l'atelier en pièces de rechange et assure le service clientèle.

**g) SERVICE FACTURATION**

Rédaction des factures d'après l'OR pointé par le chef d'équipe.

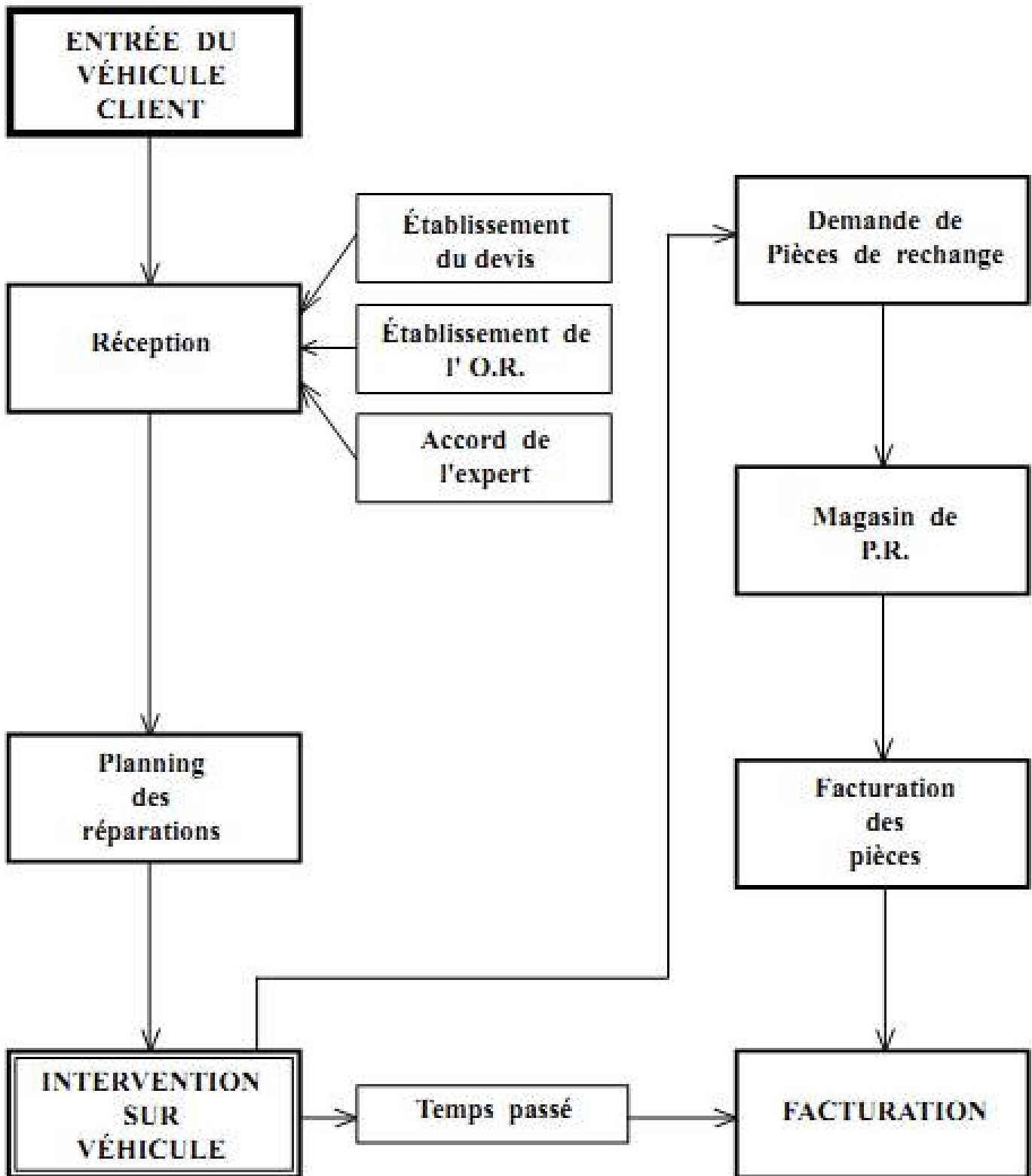
**h) SERVICE COMPTABILITÉ**

Il gère et réalise les bilans d'exploitation.

# **Chapitre 10**

## **Devis**

## 1. ORGANIGRAMME D'UNE INTERVENTION



## 2 Définition

Un **devis** est une **estimation** des prix réalisée avant l'exécution de **travaux**, ou avant l'achat d'un bien.

Le **DEVIS** est une évaluation la plus précise possible du coût d'une réparation.

Dans le cadre de son **DEVOIR** d'information, et dans le souci permanent de conserver des relations claires avec le client, le devis est devenu une démarche indispensable.

## 3 Enjeux d'un devis

Lorsqu'un particulier ou une société demande des devis auprès de plusieurs entreprises, cela permet de comparer les prix et les prestations fournies.

### Les Destinataires :

- un client
- une compagnie d'assurance ou cabinet d'expertise.
- **Le Client** : Le devis permet d'informer le client. Il est généralement établi sans démontage mécanique. Par conséquent, le devis reste approximatif sachant qu'une erreur supérieure à 10% n'est pas tolérable.
- **Assurances – Experts**: Le devis est établi de manière précise pour permettre à l'assureur de prendre une décision sur l'opportunité de la réparation: remise en état ou mise en épave lorsque la réparation dépasse la valeur vénale du véhicule.



Généralement les devis sont gratuits.

## 4 Démarche d'utilisation des devis

### a) Ce que doit comporter un devis

Identification du prestataire qui rédige le devis

- nom et raison sociale
- adresse complète
- téléphone
- télécopie
- email et site internet

Identification de la personne qui a demandé le devis

- nom, prénom
- adresse
- téléphone

Le mot devis doit être écrit en gros

La date du devis

La liste des prix et le total

### b) Ce qu'il faut préciser dans un devis

- La durée de la validité de l'offre par exemple ce devis est valable entre 1 et 3 mois selon le projet

## 5) Estimation

- L'estimation consiste à évaluer par prédiction les coûts et délais des tâches qui constituent un projet, à partir d'estimations d'autres grandeurs comme la taille, la puissance ou la capacité. Le terme estimation décrit aussi bien la fonction, l'opération, que le résultat.

## 6) Quelles sont les règles d'un bon devis ?

- Un prix ferme,
- une trace écrite en cas de litige...

**Tel est l'intérêt de disposer d'un "bon" devis avant le début des travaux !**

Le "bon" devis doit comporter un certain nombre de mentions obligatoires, notamment :

- la somme globale à payer,
- le décompte détaillé des prestations et des produits utilisés,
- le nom et l'adresse de l'entreprise,

- la durée de validité de l'offre et l'indication du caractère gratuit ou payant du devis.

Ces règles protègent de façon satisfaisante le client.

### **Des mentions supplémentaires**

Pour autant, rien ne l'empêche de demander au professionnel d'ajouter sur le devis d'autres mentions non obligatoires comme, par exemple :

- les modalités de règlement avec un échéancier précis des paiements
- la date limite prévue pour la fin des travaux,
- une pénalité de retard par jour dépassé.

Le client disposera ainsi de moyens de pression supplémentaires en cas de complication...

### **Si la facture est plus élevée...**

Il arrive que le montant de la facture soit supérieur à celui du devis, alors que le client n'avait pas donné son accord préalable...

#### **Que faire ?**

Commencer par vérifier si le devis ne comporte pas une clause de révision du prix dans certains cas expressément prévus (ex. : hausse du coût de la main-d'œuvre ou des matières premières) :

si c'est le cas, le professionnel a le droit de répercuter cette hausse sur la facture.

À défaut, le client peut refuser de payer la différence.

Une simple lettre de réclamation adressée au professionnel en recommandé avec accusé de réception devrait suffire. En cas d'échec, le client doit saisir la direction de la concurrence, de la consommation et de la répression des fraudes du département du professionnel.



# ETKA - Bon de matériel

Bon de matériel: DEVIS

17:29

17.12.2008

GARAGE AUDI/VW

Agent :

Réf. pièce Désignation	Remarque	Info. Modèle	Quantité	EUR	GR
1K0 853 101 A GRU cadre-moulure couche de fond			1	82,19	3
1K5 853 600 MQH sigle vw chrome brillant/anthracite Emplace. : ?????? stocks : 000000			1	18,24	6
1K5 853 651 P GRU grille de calandre couche de fond			1	215,51	3
1K0 853 665 AD 9B9 grille d'aeration noir satin Emplace. : ?????? stocks : 000000			1	6,14	4
1K0 853 666 R 9B9 grille d'aeration noir satin Emplace. : ?????? stocks : 000000			1	6,14	4
1K0 853 677 C 9B9 grille d'aeration noir satin			1	40,14	4
				----- 368,36 +19.6% TVA 72,20 440,56 -----	EUR



# **Chapitre 11**

## **Bon de commande**

# Commande

Dans le commerce, une **commande** est une intention, soit

- verbale
- écrite,

d'engager une transaction commerciale pour des produits ou services particuliers.

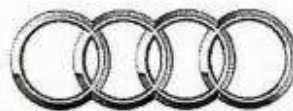
Du point de vue de l'acheteur, elle exprime l'intention d'acheter et est appelée une **commande d'achat**.

Du point de vue du vendeur, elle exprime l'intention de vendre et elle se réfère à une **commande de vente**.

Dans beaucoup d'entreprises, les commandes sont utilisées pour rassembler et rendre compte des coûts et des revenus selon des objectifs bien définis.

Ensuite, il est possible de montrer pour quels objectifs les dépenses ont été engagées.

# Bon de commande



**Audi**

## Vos options (suite)

Rétroviseurs Pack 2	Rétroviseurs extérieurs à réglage et dégivrage électriques. Rétroviseurs rabattables électriquement Inclinable vers le bord du trottoir pour le rétroviseur côté passager
Roue de réserve mini	Roue de réserve à dimension réduites et cric (suppression Tyre Mobility System)
Alu look	Eléments décoratifs façon aluminium à l'intérieur du véhicule : - poignée d'ouverture de la boîte à gants - interrupteur des vitres électriques - tirelire - moulure décorative au niveau des ouïes d'aération - interrupteur du frein électromécanique
Contours de fenêtres chromés	Contours de fenêtres chromés, montant B noir brillant.
Vitres assombries	Vitres latérales (à partir du montant B) et vitre hayon teintées grises (26%).
Volant sport multif partie basse applati	Volant airbag sport multifonctions gainé de cuir, partie basse aplatie
Advanced Key	Système d'authentification, intégré à la clé, permettant l'accès et la mise en marche du véhicule sans utiliser la clé (mise en marche via la touche start/stop).
Suspension non sport	
Module "éclairage"	- lampes de lecture à l'avant et à l'arrière - éclairage d'ambiance - éclairage des ouvreurs intérieurs de porte - éclairage de l'espace-pieds - éclairage du vide-poches de la console centrale - balises d'embarquement sous les portes - catadioptrés actifs dans les portes Miroirs de courtoisie éclairés
Ciel de toit en tissu Noir	
Tapis complémentaires arrière	

## Étapes dans les commandes commerciales

Commerce	Action de l'acheteur	Action du vendeur
Acheteur qui désire le produit et vendeur qui vend le produit	Recherche des vendeurs du produit	Marketing et publicité
Vérification du pricing du produit, disponibilité, spécifications, coûts de livraison	Demande de devis ou demande d'offre	Devis ou offre créés
Accord de transaction entre acheteur et vendeur	Enregistrement de la commande d'achat	Enregistrement de la commande de vente
Le produit est expédié du vendeur à l'acheteur		Fiche d'emballage, facture <i>pro forma</i> pour certaines expéditions internationales
L'acheteur reçoit le produit du vendeur	La fiche d'emballage et le produit sont comparés avec la commande d'achat ; on vérifie le bon conditionnement du produit	
Le vendeur envoie la facture (comptabilité) à l'acheteur	On fait correspondre la fiche d'emballage avec la commande d'achat et la facture ; on enregistre l'achat dans les comptes financiers dans la comptabilité fournisseurs	On enregistre la vente dans les comptes financiers dans la comptabilité clients
L'acheteur paie le vendeur	Paiement en espèces, par chèque ou paiement électronique ; enregistrement du paiement sur la commande d'achat	Réception des espèces, du chèque ou du paiement électronique ; enregistrement du paiement sur la commande de vente

