

Technologie fonctionnelle de l'automobile

TOME 1

Technologie fonctionnelle de l'automobile

8^e édition

TOME 1

**Le moteur et
ses auxiliaires**

Hubert **MÈMETEAU**
Bruno **COLLOMB**


DUNOD

Couverture :

jimmyan8511/fotolia.com, Atsushi Tada/fotolia.com, greenoline/fotolia.com, Wellnhofer Designs/fotolia.com

Réalisation des illustrations : Philippe Mèmeteau

<p>Ce pictogramme mérite une explication. Son objet est d'alerter le lecteur sur la menace que représente pour l'avenir de l'écrit, particulièrement dans le domaine de l'édition technique et universitaire, le développement massif du photocopillage.</p> <p>Le Code de la propriété intellectuelle du 1^{er} juillet 1992 interdit en effet expressément la photocopie à usage collectif sans autorisation des ayants droit. Or, cette pratique s'est généralisée dans les</p>	<p>établissements d'enseignement supérieur, provoquant une baisse brutale des achats de livres et de revues, au point que la possibilité même pour les auteurs de créer des œuvres nouvelles et de les faire éditer correctement est aujourd'hui menacée.</p> <p>Nous rappelons donc que toute reproduction, partielle ou totale, de la présente publication est interdite sans autorisation du Centre français d'exploitation du droit de copie (CFC, 20 rue des Grands-Augustins, 75006 Paris).</p>
---	--



© Dunod, 1981, 1993, 1996, 2002, 2006, 2009, 2014, 2019

11 rue Paul Bert, 92240 Malakoff
www.dunod.com

ISBN 978-2-10-079476-8

Le Code de la propriété intellectuelle n'autorisant, aux termes de l'article L. 122-5, 2^e et 3^e a), d'une part, que les « copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective » et, d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration, « toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite » (art. L. 122-4).

Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par les articles L. 335-2 et suivants du Code de la propriété intellectuelle.

Table des matières

Avant-propos	IX
L'étude technologique dans la démarche de maintenance	XI
Bref historique de l'automobile	XIII
Partie 1	
Approche et découverte de l'automobile	1
Chapitre 1 : Connaissance de l'automobile	3
Chapitre 2 : Les sous-ensembles de l'automobile	9
2.1 Le système de motorisation.....	10
2.2 Le système d'alimentation en air et en carburant.....	11
2.3 Le système d'allumage.....	12
2.4 Le système de charge.....	13
2.5 Le système de démarrage.....	14
2.6 Le système de transmission.....	15
2.7 Le système de freinage.....	16
2.8 Le système de suspension.....	17
2.9 Le système de direction.....	18
Chapitre 3 : Le châssis-carrosserie	23
3.1 La carrosserie.....	24
3.2 La sécurité des automobiles.....	28
3.3 Les effets d'un choc.....	29

Partie 2

Le système de motorisation	33
Chapitre 4 : Classification des moteurs	35
4.1 Mise en situation	35
4.2 Le système de motorisation dans son ensemble	38
Chapitre 5 : Constitution des moteurs	43
5.1 Les éléments fixes	44
5.2 Les éléments mobiles	46
5.3 Les éléments de la distribution	59
Chapitre 6 : Les caractéristiques des moteurs	69
Chapitre 7 : Le fonctionnement des moteurs	77
7.1 Le cycle à quatre temps	77
7.2 Les différences de fonctionnement et de conception entre un moteur essence et un moteur Diesel	82
7.3 Particularités du moteur 3 cylindres	85
Chapitre 8 : La distribution	93
8.1 Le système de distribution	95
8.2 La distribution variable	96
8.3 La levée variable des soupapes	102
Chapitre 9 : La suralimentation des moteurs thermiques	107
9.1 Mise en situation	107
9.2 Analyse structurelle	108
9.3 Analyse fonctionnelle	111

Partie 3

Les circuits complémentaires	119
Chapitre 10 : Le circuit de graissage	121
10.1 Mise en situation	121
10.2 Analyse structurelle	124
10.3 Analyse fonctionnelle	127

Chapitre 11 : Le circuit de refroidissement	135
11.1 Mise en situation.....	135
11.2 Analyse structurelle.....	136
11.3 Analyse fonctionnelle.....	142

Partie 4

La combustion et l'alimentation en carburant	147
---	-----

Chapitre 12 : Les combustibles et la combustion	149
12.1 Les combustibles.....	149
12.2 Les biocarburants.....	152
12.3 La combustion.....	156

Chapitre 13 : Le mélange combustible	163
---	-----

Chapitre 14 : Les systèmes d'injection	167
14.1 L'injection indirecte essence.....	167
14.2 L'injection directe essence.....	179
14.3 L'injection Diesel.....	185
14.4 L'injection gaz.....	204

Chapitre 15 : Les systèmes antipollution	211
15.1 Mise en situation.....	211
15.2 Analyse structurelle.....	213
15.3 Analyse fonctionnelle.....	224

Partie 5

Le système d'allumage	229
------------------------------------	-----

Chapitre 16 : Principe de l'allumage	231
16.1 Mise en situation.....	231
16.2 Analyse structurelle.....	233
16.3 Analyse fonctionnelle.....	238

Partie 6

Les véhicules électriques et hybrides 245

Chapitre 17 : **Le véhicule électrique** 247

17.1 Mise en situation..... 247

17.2 Analyse structurelle..... 249

17.3 La charge du véhicule 251

17.4 Analyse fonctionnelle..... 254

17.5 Le véhicule à pile à combustible..... 259

Chapitre 18 : **Le véhicule hybride**..... 263

18.1 Mise en situation..... 263

18.2 Analyse structurelle..... 269

18.3 Analyse fonctionnelle..... 274

VIII

Partie 7

Les principaux documents liés à l'entreprise automobile 281

Chapitre 19 : **L'ordre de réparation** 283

Chapitre 20 : **Le devis** 287

Chapitre 21 : **La facture**..... 289

21.1 Le contenu..... 289

21.2 Les obligations du garagiste..... 290

21.3 Les réductions 291

21.4 Les majorations 291

Chapitre 22 : **Corrigés des tests d'auto-évaluation** 293

Chapitre 23 : **Unités et schématisation** 295

Grandeurs et unités du Système international (SI)..... 295

Principe de l'analyse descendante dite « systémique » 297

Index 299

Avant-propos

La technologie automobile évoluant très vite, il est très difficile actuellement d'acquérir des connaissances sur tous les systèmes existants. C'est pourquoi il était important de faire une mise à jour et donc une 8^e édition de cet ouvrage, créé par Hubert Mèmeteau, qui comporte deux tomes :

- » tome 1 : Le moteur et ses auxiliaires ;
- » tome 2 : La transmission, le freinage, la tenue de route et l'équipement électrique.

Ils restent une référence pour les élèves et les enseignants de la maintenance automobile.

Cet ouvrage, conçu spécialement pour le milieu scolaire est composé de plusieurs séquences qui permettent à l'apprenant d'étudier le fonctionnement de base d'un système jusqu'à son évolution récente.

À la fin de chaque séquence se trouve un résumé fait d'une synthèse concise et une rubrique « testez vos connaissances » permet à l'élève de s'auto-évaluer. Pour effectuer des recherches personnelles, un encadré intitulé « Entraînez-vous » vient compléter tout cela.

S'il utilise la méthode inductive, l'enseignant pourra amener l'élève à utiliser cet ouvrage comme document ressource lorsqu'il devra passer à la partie pratique.

Les photos des systèmes étudiés ne sont données qu'à titre d'exemple car chaque constructeur a sa technique qui lui est propre. Il appartient à l'élève de rechercher le système sur la revue technique de son choix.

Ces manuels qui couvrent la formation en maintenance des véhicules du CAP au BAC PRO (3 ans) sont construits de la même manière pour chaque chapitre et apportent ainsi un confort de lecture et d'étude pour tous les utilisateurs.

Trois grands titres composent chaque chapitre :

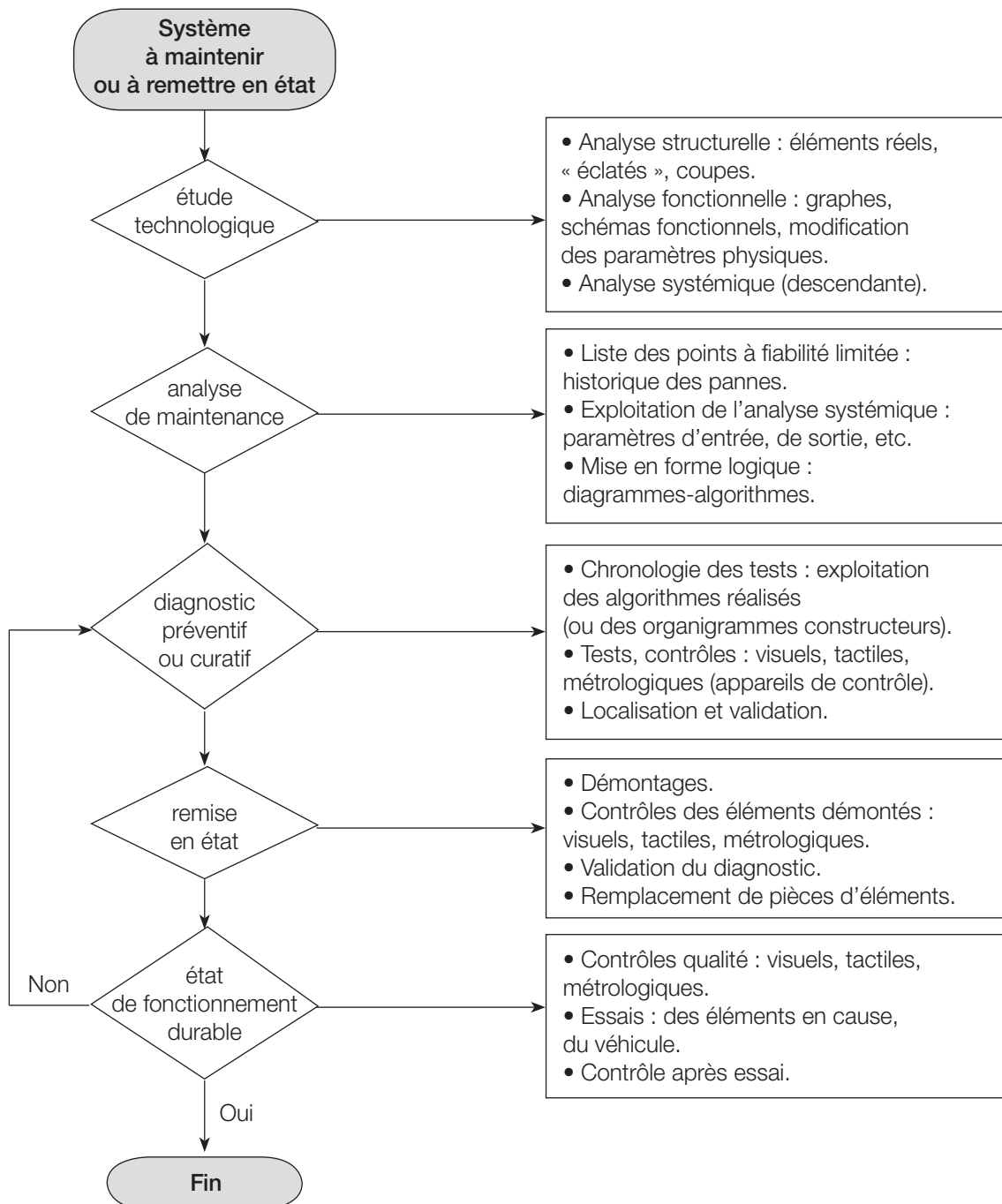
- » **Une mise en situation** qui localise le système étudié, donne sa fonction principale et sa nécessité,
- » **Une analyse structurelle** qui liste les éléments constitutifs du système et leur fonction,
- » **Une analyse fonctionnelle** qui développe le fonctionnement des systèmes et les lois physiques qui le régissent.

En conclusion, les deux tomes de cet ouvrage favorisent l'ouverture d'esprit de l'élève tant sur la découverte que sur les connaissances plus pointues en matière de technologie automobile. Ainsi chaque élève pourra se l'approprier selon ses propres besoins.

L'enseignant, quant à lui, y trouvera un support pédagogique et technique directement utilisable en atelier et un outil de travail sur lequel s'appuyer.

Bruno Collomb
Enseignant

L'étude technologique dans la démarche de maintenance



Bref historique de l'automobile

1769 : L'ingénieur militaire français Cugnot construit le premier véhicule automobile « Le Fardier ». Véhicule à 3 roues (dont une est directrice), utilisant la vapeur d'eau comme force motrice.

1820 : Apparition des premières diligences à vapeur en Angleterre.

1851 : Découverte de la bobine de Ruhmkorff utilisée pour produire une étincelle électrique.

1859 : Premier accumulateur construit par Plante.

1860 : Premier moteur à explosion (deux temps), mis au point par le Belge Étienne Lenoir, utilisant le gaz de ville sans compression avant l'allumage.

1862 : Brevet du Français Alphonse Beau de Rochas sur le cycle théorique d'un moteur à explosion à quatre temps, fondement de tous les moteurs modernes.

1873 : Amédée et Léon Bollée construisent un véhicule à vapeur qui effectue le trajet Le Mans-Paris. Ils inventent la direction par deux roues pivotant aux extrémités d'un essieu fixe plus perfectionné que l'essieu mobile ou la roue directrice. Ils améliorent la transmission et le freinage.

1876 : Fabrication et commercialisation du moteur à quatre temps (souvent appelé cycle Otto), avec soupapes d'admission commandées par came et leviers, mis au point par l'Allemand Nikolaus August Otto (brevet de 1863 qui sera contesté et annulé en 1888 après quatre ans de procédures, l'antériorité du brevet de Beau de Rochas étant reconnue).

1883-1908 : Les 1^{ers} moteurs à essence sont créés par les Allemands Benz et Daimler. Les nouvelles automobiles sont des produits de luxe très chers et très inconfortables. Seuls les gens les plus riches peuvent se les offrir. Le démarrage des moteurs est difficile.

XIII

Bref historique de l'automobile

Figure 1 *Le Fardier à vapeur de Cugnot, l'ancêtre de l'automobile*

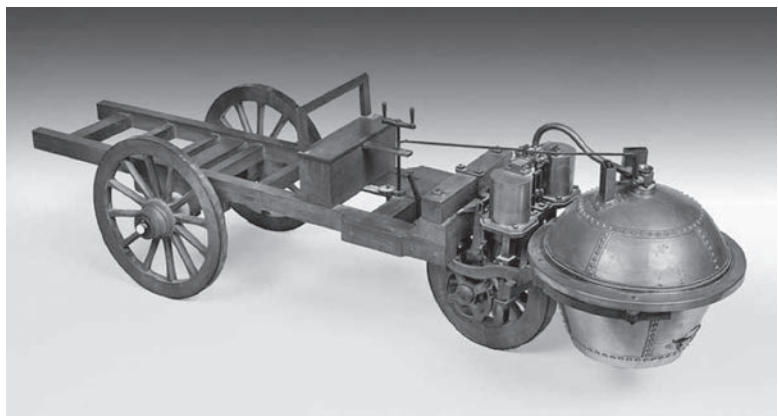
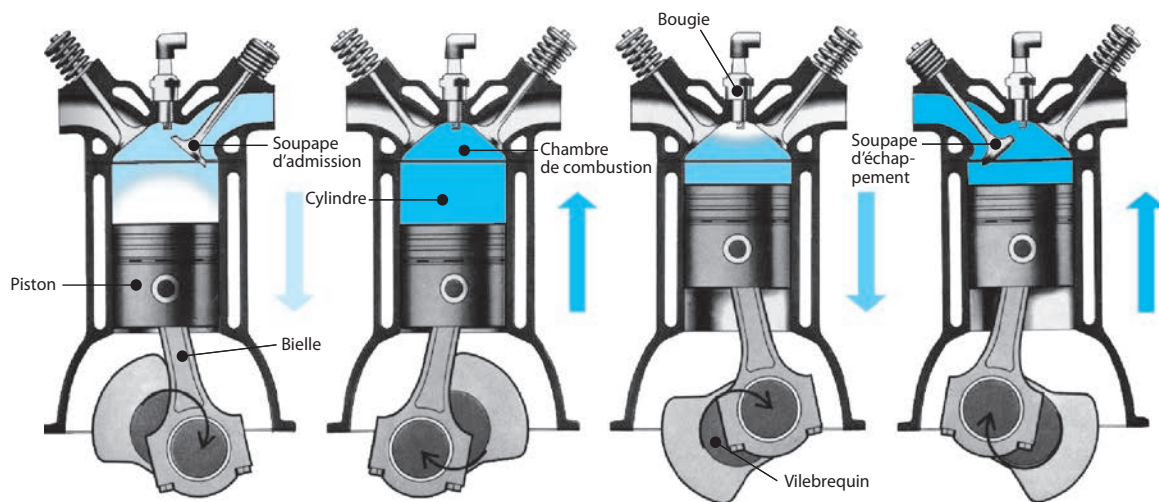


Figure 2 Principe du moteur à quatre temps



1889 : Invention du pneumatique John Boyd Dunlop.

1891 : Forest construit un moteur à quatre cylindres, à soupapes commandées.

1892 : Diesel prend son premier brevet : moteur devant fonctionner au charbon pulvérisé.

1897 : Premières expositions d'automobiles.

1898 : Pellegrin équipe une voiture avec un moteur du type Diesel.

1908-1945 : L'Américain Henry Ford lance la Ford T, la première voiture économique construite à la chaîne. En France, la Traction avant (les deux roues avant entraînent la voiture) de Citroën remporte un vif succès dans la société aisée, mais reste inaccessible aux gens modestes. Les villes et la campagne commencent à s'adapter (routes goudronnées, feux tricolores...).

1922 : Première réglementation de la circulation routière, création du Code de la route.

1945-1973 : La voiture est reine. Les modèles très économiques (Citroën 2 CV, Renault 4 CV, Austin Mini...) permettent à tout le monde de se l'offrir. L'essence est peu chère, les autoroutes commencent à relier les grandes villes. Mais il y a de plus en plus d'accidents et d'embouteillages.

1973-1985 : Une guerre au Moyen-Orient provoque la hausse brutale des prix du pétrole. L'essence devient chère. Les gouvernements prennent des mesures pour améliorer la sécurité (ceinture de sécurité, alcootests...) et réduire la pollution. Les constructeurs réfléchissent à des modèles ne fonctionnant pas au pétrole.

Depuis 1985 : Apparus dans les années 1980, les monospaces (comme l'Espace de Renault, ou la 806 de Peugeot) sont de grosses et hautes voitures pour les familles nombreuses. Leurs formes compactes ont depuis influencé les voitures plus petites (Citroën Xsara Picasso, Renault Mégane Scénic...).

Et demain l'hydrogène ? Les ressources en pétrole ne sont pas éternelles (au rythme où nous les consomons, il n'y en aura plus beaucoup dans 100 ans). Les constructeurs réfléchissent depuis longtemps aux moteurs qui peuvent fonctionner avec un autre carburant. L'électricité n'étant pas très pratique, c'est pour l'instant l'hydrogène qui a leur faveur.

Partie 1

Approche et découverte de l'automobile

Connaissance de l'automobile

chapitre 1



Figure 1.1 Concept car
(Document Citroën).

Le terme « automobile » qualifie tout engin capable de se déplacer par ses propres moyens, et qui transporte l'énergie nécessaire à son fonctionnement (figure 1.1).

Dans un ensemble appelé « châssis-carrosserie », on trouve les trois parties principales d'une automobile (figure 1.2) :

- » un compartiment renfermant le système de motorisation, lié mécaniquement aux roues motrices ;
- » une cellule recevant le conducteur et les passagers, appelée « habitacle » ;
- » un compartiment à bagages.

Il existe trois principaux types de véhicules routiers

1. Les **véhicules de tourisme** (figure 1.2) : voitures destinées au transport des passagers, qui seules ont conservé le nom usuel d'automobiles ;

2. Les **véhicules utilitaires** (figure 1.3) :

- » transports en commun (autobus, autocars) ;
- » transports de marchandises (camionnettes, camions porteurs, tracteurs et semi-remorques) ;
- » véhicules spéciaux : engins de travaux, véhicules de pompiers, etc. ;

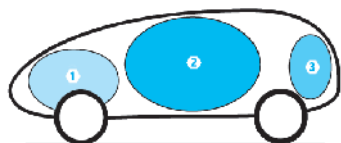


Figure 1.2 Véhicule de tourisme.

- ❶ Compartiment motorisation.
- ❷ Cellule passagers (habitacle).
- ❸ Compartiment à bagages.

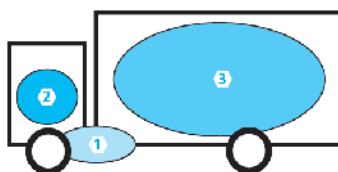


Figure 1.3 Véhicule utilitaire
(camion porteur).

- ❶ Motorisation
- ❷ Châssis-cabine.
- ❸ Cellule spécifique au besoin d'usage : benne, bétailère, frigorifique, citerne, etc.

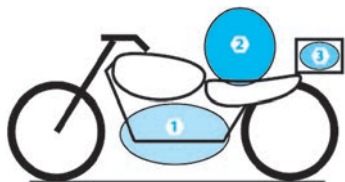


Figure 1.4 Véhicule léger : motocycle.

- 1 Motorisation.
- 2 Pilote et passager.
- 3 Bagages.

3. Les véhicules légers (figure 1.4) :

- » deux-roues : cyclomoteurs, motocycles,
- » trois-roues : triporteurs, ATC,
- » quatre-roues : voiturettes, quads.

Nous constatons que ces trois catégories de véhicules sont constituées des trois mêmes sous-ensembles.

Seule change leur disposition en fonction de l'usage auquel ils sont destinés.

Remarque

Cet ouvrage traite uniquement de la catégorie des véhicules de tourisme.

Conditions à remplir par une automobile

Parmi les conditions à remplir, on peut citer :

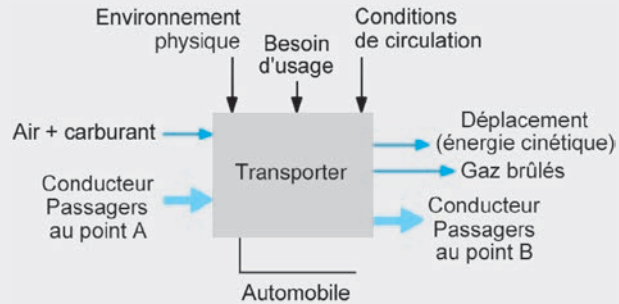
- » transporter les passagers et les marchandises avec un confort suffisant afin de limiter leur fatigue ;
- » protéger au mieux les occupants en cas de choc ;
- » atteindre des vitesses et accélérations suffisantes dans les limites du Code de la route ;
- » s'arrêter si besoin dans la distance la plus courte possible ;
- » conserver la trajectoire désirée par le conducteur quelles que soient les conditions atmosphériques (pluie, vent, etc.), de roulage (revêtement, profil de route) et de circulation (dangers à éviter) ;
- » rester fiable dans le temps ;
- » consommer peu d'énergie ;
- » polluer l'atmosphère le moins possible ;
- » posséder une ligne qui prenne en compte l'esthétique contemporaine et les critères de consommation et de rapport masse/puissance.

Figure 1.5
(Document Peugeot).



Fonction globale de l'automobile

Figure 1.6 Fonction globale :
point de vue de l'utilisateur.

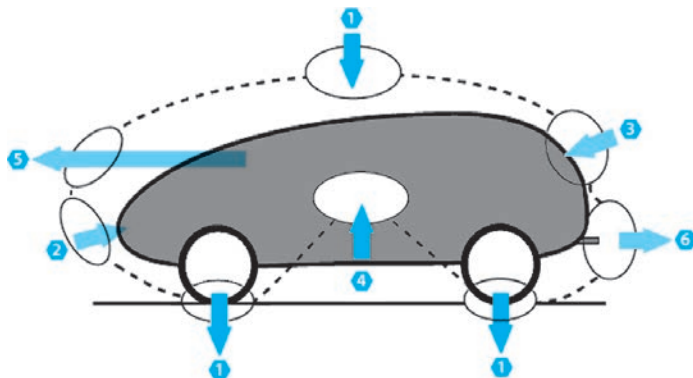


La figure 1.7 décrit les différentes interactions entre le véhicule et l'extérieur.

- » Le véhicule est en appui sur le sol par ses quatre roues sous l'action de la pesanteur ❶ et son poids $\vec{P} = M \cdot \vec{g}$ exerce une force pressante au sol.
- » Le poids réel ou apparent de chaque roue sur le sol ❶, donc son adhérence, est fonction de nombreux paramètres.
- » Les roues motrices transmettent leur énergie au sol grâce à leur adhérence avec celui-ci. Elles reçoivent leur énergie du moteur.
- » Le moteur a besoin pour fonctionner de recevoir :
 - une énergie potentielle ❸ (carburant stocké dans le véhicule),
 - de l'air ❷, disponible dans son environnement.
- » Si le véhicule est équipé d'un moteur thermique, il rejette des gaz brûlés ❹.
- » Le conducteur communique ses intentions en agissant sur les commandes à sa disposition ❺ : volant, levier, pédales, interrupteurs, etc.
- » Dès que le véhicule se déplace, il acquiert une énergie cinétique ❻.

Figure 1.7 Frontière d'étude
du système.

- ❶ Action de la pesanteur.
- ❷ Action de l'air.
- ❸ Stockage de l'énergie potentielle.
- ❹ Action du conducteur sur les commandes.
- ❺ Énergie cinétique.
- ❻ Gaz brûlés (chaleur perdue).

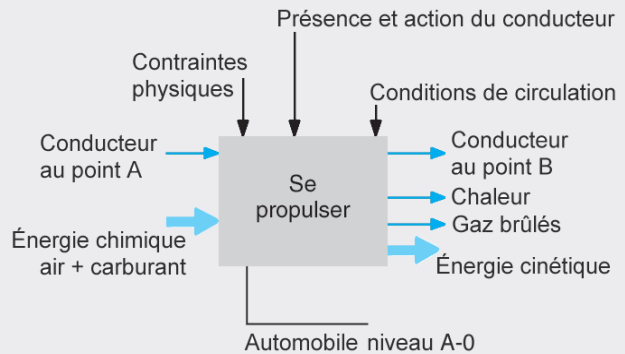


Fonction globale du point de vue de la maintenance

Figure 1.8 Fonction globale.

Point de vue de la maintenance.

ASD : Analyse systémique descendante.



Résumé

Définition

Une automobile est un véhicule qui progresse grâce à un moteur.

Parties principales

Les véhicules comportent trois parties :

- » l'habitacle qui protège les passagers,
- » le compartiment moteur qui reçoit le système de motorisation lié mécaniquement aux roues motrices,
- » le compartiment à bagages ou à marchandises.

Différents types de véhicules

- » véhicules de tourisme,
- » véhicules utilitaires,
- » véhicules légers.

Fonction d'usage

Transporter le conducteur et ses passagers d'un point à un autre.

Fonction globale

Transformer l'énergie potentielle du carburant en énergie cinétique, grâce au moteur et aux roues motrices.

Conditions à remplir

- » offrir un confort suffisant pour limiter la fatigue,
- » protéger les occupants en cas de choc,
- » avoir une puissance adaptée à toutes les conditions de circulation,
- » s'arrêter dans la distance la plus courte possible,
- » conserver la trajectoire désirée.



Testez vos connaissances



1. Dans une automobile, l'habitacle est :

- a le compartiment moteur
- b l'espace des passagers
- c le compartiment des bagages

2. Après enquête, vous constatez que la majorité des véhicules de tourisme sont :

- a à traction avant
- b à propulsion arrière
- c à quatre roues motrices

3. La fonction globale de l'automobile du point de vue de la maintenance est de :

- a transporter
- b se propulser
- c être esthétique

4. Si l'on charge le coffre arrière d'un véhicule, son centre de gravité :

- a se déplace vers l'avant
- b se déplace vers l'arrière
- c reste inchangé

5. Quel est le phénomène qui maintient les roues en contact avec le sol (à l'arrêt) ?

- a le sol sec ou mouillé
- b la température
- c la pesanteur

Entraînez-vous

1. Recherchez trois véhicules dont la disposition des éléments principaux (moteur, boîte de vitesses et roues motrices) est différente.
2. Pour chacun d'eux, citez la marque et le type et effectuez un schéma représentant la disposition des éléments.

Les sous-ensembles de l'automobile

chapitre 2

Les sous-ensembles d'une automobile, que l'on nomme également « systèmes », sont (figure 2.1) :

- 1 la motorisation, qui comprend :
 - » le moteur thermique proprement dit ;
 - » l'injection (moteurs essence) ;
 - » l'allumage (moteurs essence) ;
 - » l'injection Diesel (moteurs Diesel) ;
 - » la charge (électrique) ;
 - » le démarrage (électrique).
- 2 la transmission.
- 3 le freinage.
- 4 la suspension.
- 5 la direction.
- 6 l'équipement électrique.

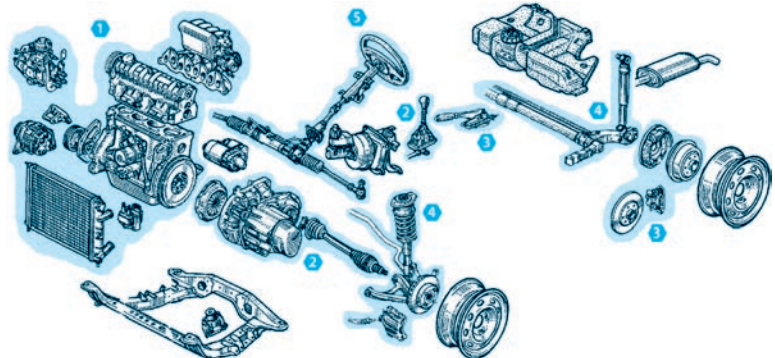


Figure 2.1 Les sous-ensembles de l'automobile (Document Renault).

2.1 Le système de motorisation

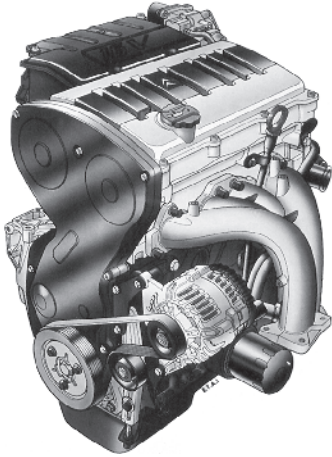


Figure 2.2 Moteur thermique
(Document Citroën/ETA).

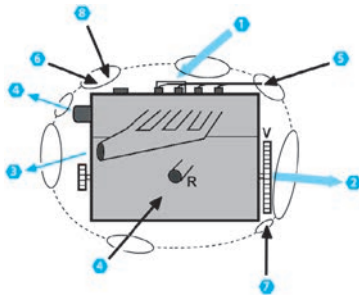


Figure 2.3 Frontière d'étude
du moteur.

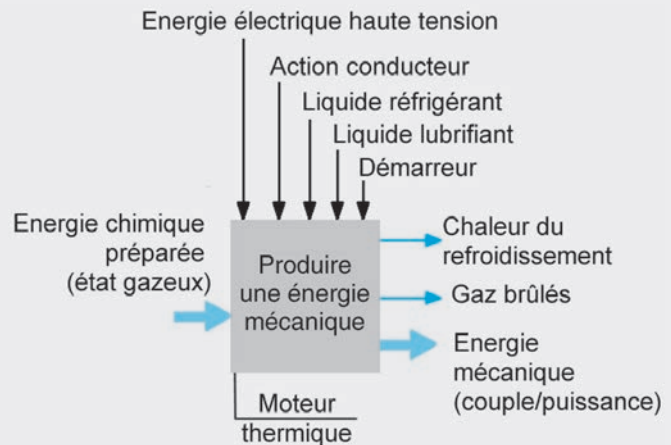
R. Canalisations internes de refroidissement.
V. Volant moteur.

- 1 Le moteur thermique reçoit un mélange préparé, combustible du système d'alimentation. Il réalise une combustion grâce à une compression. Cette combustion est déclenchée par le système d'allumage pour le moteur essence.
- 2 Il produit une énergie mécanique disponible au volant moteur.
- 3 Il rejette des gaz brûlés (perte d'énergie et pollution).
- 4 Il évacue les calories en excédent par son système de refroidissement (présence de liquide).
- 5 Il reçoit le courant électrique haute tension nécessaire à l'allumage.
- 6 Le conducteur a une action sur l'accélérateur.
- 7 Le moteur reçoit du démarreur l'énergie mécanique nécessaire à son lancement.
- 8 Il reçoit aussi le lubrifiant nécessaire au fonctionnement de son système de graissage.

10

Fonction

Figure 2.4 Fonction globale
du moteur thermique

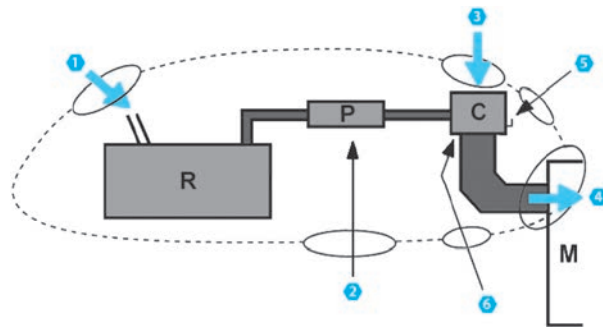


2.2 Le système d'alimentation en air et en carburant

- ❶ Le carburant est stocké dans le réservoir (R), aspiré et mis sous pression par la pompe d'alimentation (P).
- ❷ La pompe commandée électriquement refoule le carburant sous pression vers le système d'injection.
- ❸ L'air ambiant pénètre également dans le système d'injection : un mélange précis d'air et d'essence est réalisé.
- ❹ Le moteur (M) admet le mélange carburé.
- ❺ Le conducteur a une action sur l'accélérateur (volume de gaz admis).
- ❻ Les données moteur (fréquence de rotation, charge, etc.) ont une action sur les dosages.

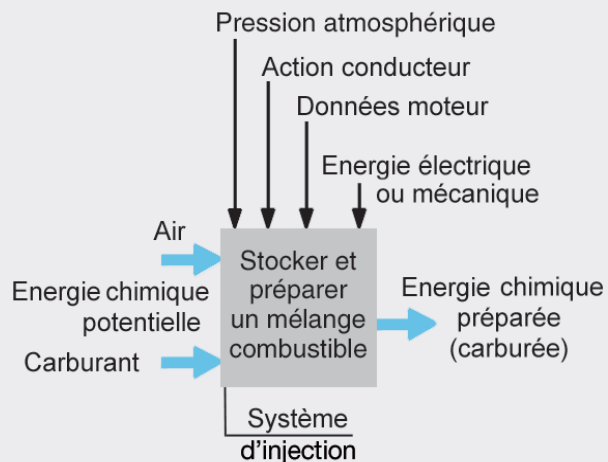
Figure 2.5 *Frontière d'étude du système d'alimentation – injection.*

- ❶ Carburant
- ❷ Energie mécanique ou électrique
- ❸ Air
- ❹ Mélange carburé
- ❺ Accélérateur
- ❻ Paramètres moteur
- Ⓡ Réservoir à carburant
- Ⓟ Pompe d'alimentation
- Ⓢ Système d'injection
- Ⓜ Moteur : chapelle d'admission dans la culasse



Fonction

Figure 2.6 *Fonction globale du système d'alimentation – injection.*



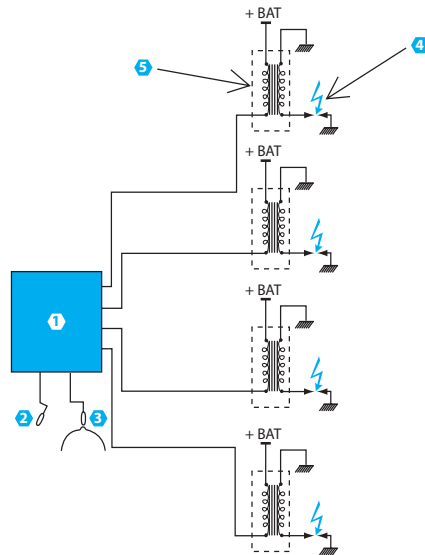
2.3 Le système d'allumage

Le système d'allumage reçoit un courant électrique basse tension (12 à 14 V) en ❶.

Il produit des étincelles dont la chaleur permet le déclenchement de la combustion en ❷.

Le système de commande de la bobine d'allumage ❸ reçoit des informations :

- » sur la position du piston ❹ (par la position du volant moteur),
- » sur la fréquence de rotation du moteur ❺,
- » sur la pression dans la tubulure d'admission.



12

Figure 2.7 Système d'étude du système d'allumage.

Fonction

Figure 2.8 Fonction globale du système d'allumage.

