

TECHNOLOGIE FONCTIONNELLE de L'AUTOMOBILE

9^e édition

TOME 2

**Transmission, freinage, tenue de route
et équipement électrique**

Hubert MÈMETEAU
Bruno COLLOMB

DUNOD

Réalisation des illustrations : Philippe Mèmeteau

NOUS NOUS ENGAGEONS EN FAVEUR DE L'ENVIRONNEMENT :



Nos livres sont imprimés sur des papiers certifiés pour réduire notre impact sur l'environnement.



Le format de nos ouvrages est pensé afin d'optimiser l'utilisation du papier.



Depuis plus de 30 ans, nous imprimons 70 % de nos livres en France et 25 % en Europe et nous mettons tout en œuvre pour augmenter cet engagement auprès des imprimeurs français.



Nous limitons l'utilisation du plastique sur nos ouvrages (film sur les couvertures et les livres).

© Dunod, 1981, 1993, 1996, 2002, 2006, 2009, 2014, 2019, 2024

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

ISBN 978-2-10-086122-4

Table des matières

Avant-propos	VII
Partie 1	
La transmission	1
Chapitre 1 : Le système de transmission	2
1.1 Mise en situation	2
1.2 Analyse structurelle	5
1.3 Analyse fonctionnelle	6
Chapitre 2 : L'embrayage	11
2.1 Mise en situation	11
2.2 Analyse structurelle	12
2.3 Analyse fonctionnelle	17
Chapitre 3 : La boîte de vitesses mécanique	24
3.1 Mise en situation	24
3.2 Analyse structurelle	27
3.3 Analyse fonctionnelle	30
Chapitre 4 : Caractéristiques principales des engrenages	39
Chapitre 5 : La boîte de vitesses automatique	47
5.1 Mise en situation	47
5.2 Analyse structurelle	50
5.3 Analyse fonctionnelle	59
Chapitre 6 : La motricité en virage et en tout terrain	73
6.1 Mise en situation	73
6.2 Analyse structurelle	75
6.3 Analyse fonctionnelle	76



Chapitre 7 : Les arbres de transmission	84
7.1 Mise en situation	84
7.2 Analyse structurelle	85
7.3 Analyse fonctionnelle	85

Partie 2

Le freinage..... 87

Chapitre 8 : Le freinage : généralités	88
8.1 Force motrice et énergie cinétique	88
8.2 Frottements et freinage	90
8.3 Décélération et distance parcourue	91

Chapitre 9 : Le frein à tambour	97
9.1 Mise en situation	97
9.2 Analyse structurelle	97
9.3 Analyse fonctionnelle	99

Chapitre 10 : Le frein à disques	103
10.1 Mise en situation.....	103
10.2 Analyse structurelle.....	103
10.3 Analyse fonctionnelle.....	104

Chapitre 11 : Les systèmes de commande de freinage	108
11.1 Mise en situation.....	108
11.2 Analyse structurelle.....	109
11.3 Analyse fonctionnelle.....	114

Chapitre 12 : L'assistance de freinage	128
12.1 Mise en situation.....	128
12.2 Analyse structurelle.....	129
12.3 Analyse fonctionnelle.....	130

Chapitre 13 : Les correcteurs de freinage	139
13.1 Mise en situation.....	139
13.2 Analyse structurelle.....	141
13.3 Analyse fonctionnelle.....	141

Chapitre 14 : Le système antiblocage de roue et de stabilisation	146
14.1 Mise en situation.....	146
14.2 Analyse structurelle.....	148
14.3 Analyse fonctionnelle.....	151

Partie 3

La sécurité passive	173
Chapitre 15 : La sécurité passive	174
15.1 Mise en situation.....	174
15.2 Analyse structurelle.....	175
15.3 Analyse fonctionnelle.....	178

Partie 4

La tenue de route	185
Chapitre 16 : La suspension	186
16.1 Mise en situation.....	186
16.2 Analyse structurelle.....	187
16.3 Analyse fonctionnelle.....	190
Chapitre 17 : L'amortissement de la suspension	196
17.1 Mise en situation.....	196
17.2 Analyse structurelle.....	198
17.3 Analyse fonctionnelle.....	199
Chapitre 18 : La suspension pilotée	206
18.1 Mise en situation.....	206
18.2 Analyse structurelle.....	207
18.3 Analyse fonctionnelle.....	208
Chapitre 19 : La direction	217
19.1 Mise en situation.....	217
19.2 Analyse structurelle.....	218
19.3 Analyse fonctionnelle.....	219
Chapitre 20 : La géométrie du train avant	232
20.1 Mise en situation.....	232
20.2 Analyse structurelle.....	233
20.3 Analyse fonctionnelle.....	234
Chapitre 21 : Le pneumatique et la roue	245
21.1 Mise en situation.....	245
21.2 Analyse structurelle.....	245
21.3 Analyse fonctionnelle.....	246

Partie 5

L'équipement électrique et de confort	259
Chapitre 22 : Les bases de l'électricité automobile	260
22.1 Le courant électrique.....	260
22.2 Les grandeurs électriques usuelles.....	261
22.3 La loi d'Ohm.....	262
22.4 Les montages électriques	262
Chapitre 23 : Le multiplexage	267
23.1 Mise en situation.....	267
23.2 Analyse structurale	268
23.3 Analyse fonctionnelle.....	270
Chapitre 24 : L'éclairage et la signalisation	277
24.1 Mise en situation.....	277
24.2 Analyse structurale	279
24.3 Analyse fonctionnelle.....	282
Chapitre 25 : Les batteries d'accumulateurs	293
25.1 Mise en situation.....	293
25.2 Analyse structurale	294
25.3 Analyse fonctionnelle.....	295
Chapitre 26 : Le système de charge	304
26.1 Mise en situation.....	304
26.2 Analyse structurale	305
26.3 Analyse fonctionnelle.....	307
Chapitre 27 : Le système de démarrage	317
27.1 Mise en situation.....	317
27.2 Analyse structurale	318
27.3 Analyse fonctionnelle.....	320
Chapitre 28 : La climatisation	327
28.1 Mise en situation.....	327
28.2 Analyse structurale	328
28.3 Analyse fonctionnelle.....	330
Chapitre 29 : Unités, symboles et schématisation	337
1. Grandeurs et unités du Système international (SI).....	337
2. Sélection de symboles électriques.....	338
3. Sélection de symboles hydrauliques	340
Index	342

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 9^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.

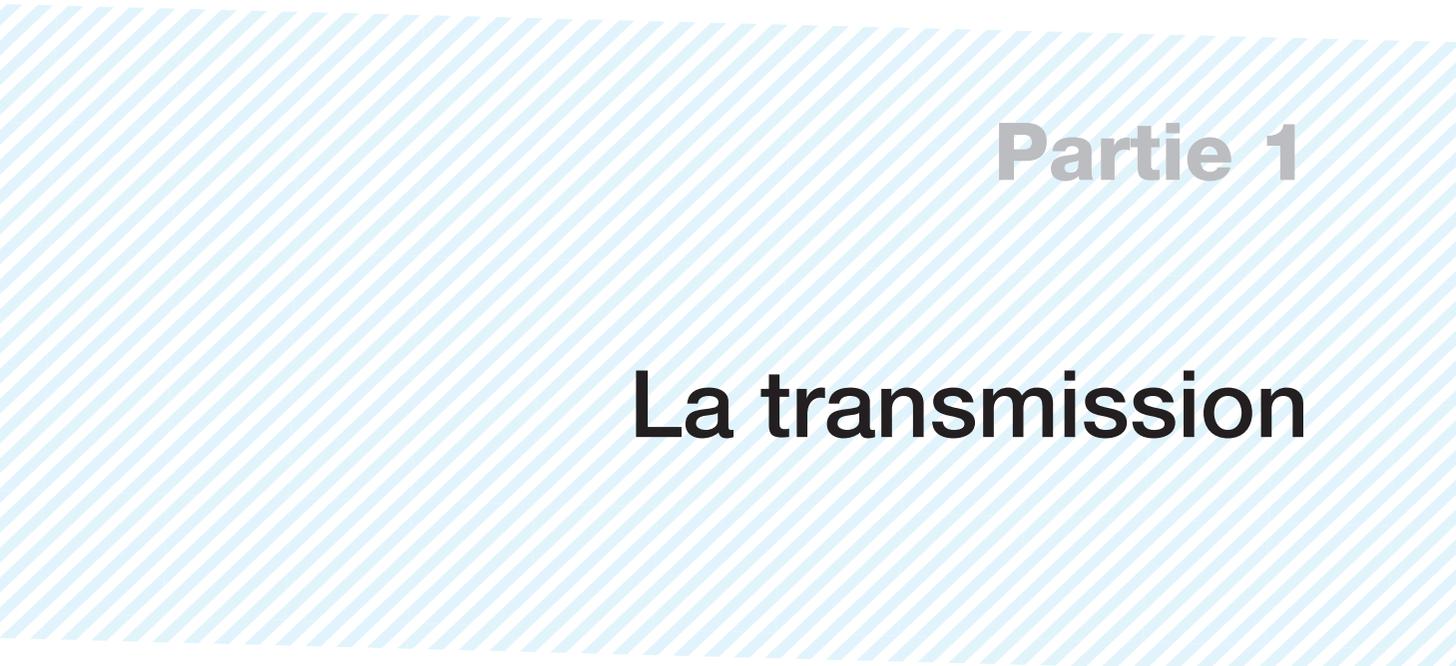
Trois grands titres composent chaque chapitre :

- » **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



Partie 1

La transmission

Le système de transmission

chapitre 1

1.1 Mise en situation

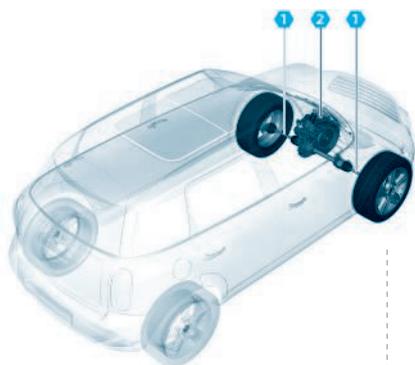


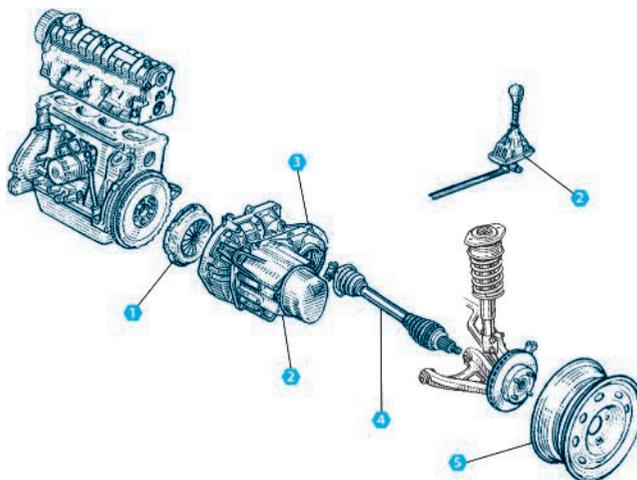
Figure 1.1 Le système de transmission.

- 1 Arbres de sortie avant.
- 2 Boîte de vitesses manuelle ou automatique.

Figure 1.2 Les éléments de la transmission.

- 1 Embrayage.
- 2 Boîte de vitesses et sélecteur.
- 3 Pont différentiel.
- 4 Arbre de transmission.
- 5 Roue motrice.

Le système de transmission comprend l'ensemble des mécanismes situés entre le moteur et les roues motrices. Observons le système de transmission (figures 1.2 et 1.3).



Rappel : Le couple moteur est le produit de la force à la bielle par la longueur du bras de maneton de vilebrequin (figure 1.4) :

$$\mathcal{C}_m = \mathcal{M}_o(\vec{F}_1) = F_1 r$$

La puissance est le produit du couple moteur (en N.m) par la vitesse angulaire du vilebrequin (en rad/s) :

$$P = \mathcal{C}_m \omega$$

Figure 1.3 Boîte/pont pour moteur transversal (documents Peugeot et Citroën).

- ① Emplacement de l'embrayage.
- ② Partie boîte de vitesses.
- ③ Partie pont et différentiel.

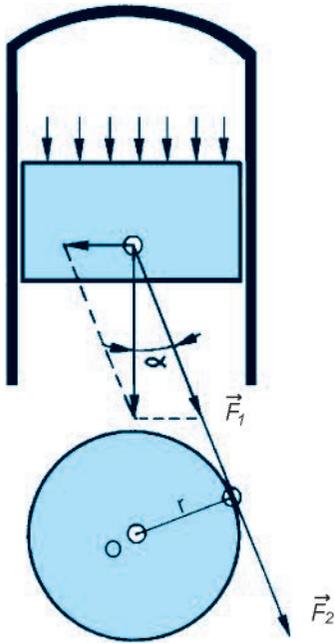
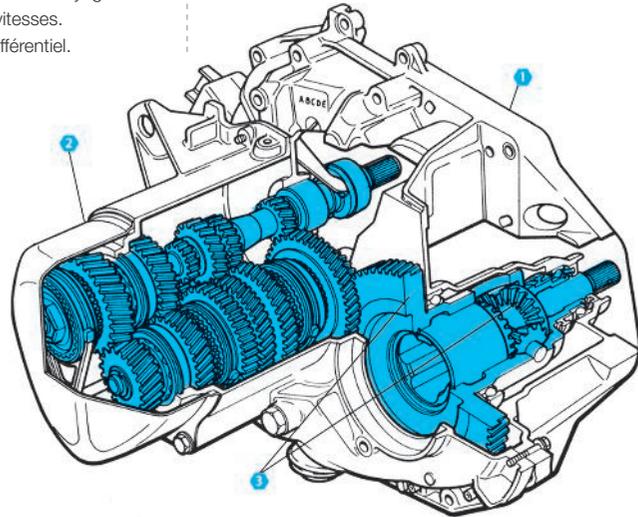


Figure 1.4 Le couple moteur est égal à : $M_o(\vec{F}_1) = F_1 r$.

L'utilisateur a le choix entre deux allures de conduite (figure 1.5) :

- » recherche du meilleur rendement en maintenant le moteur à son régime de couple maximal ;
- » recherche de puissance (conduite sportive) en maintenant le moteur à son régime de puissance maximale.

À l'arrêt, la mise en mouvement d'un véhicule arrêté nécessite une force plus importante que celle nécessaire pour entretenir son mouvement.

En vitesse uniforme sur sol plat, nous constatons (figure 1.6) :

- » une résistance au frottement (f) provenant des engrenages et roulements de la transmission ;
- » une résistance au roulement (d) des roues provenant de la nature des pneus et de celle du sol, accentuée par la charge supportée par ces roues ;
- » une résistance de l'air, dont la pression (p), exercée sur les surfaces plus ou moins verticales de l'avant du véhicule, crée une force antagoniste.

Cette force dépend de la vitesse et de la forme du véhicule (C_x)* et croît avec le carré de la vitesse.

En montée, l'action de la pesanteur crée une force opposée à la force motrice (figure 1.7). Elle est proportionnelle à l'angle de la pente et à la masse du véhicule.

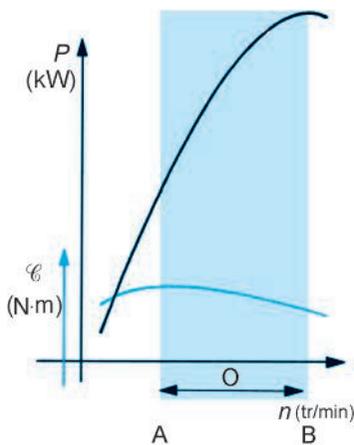


Figure 1.5 Utilisation optimale du couple et de la puissance du moteur.

- P : puissance.
- C : couple.
- A : régime de couple maximal.
- B : régime de puissance maximale.
- O : plage d'utilisation du moteur.

Remarque

* C_x : coefficient de pénétration dans l'air.

En descente, la pesanteur s'ajoute à la force motrice.

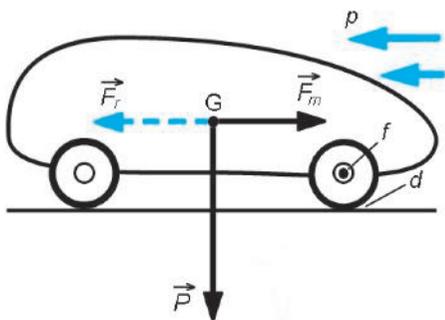


Figure 1.6 Résistance à l'avancement.

- p : résistance de l'air.
- f : résistance au frottement.
- d : résistance au roulement.
- F_m : force motrice.
- F_r : force résistante.
- P : poids du véhicule.

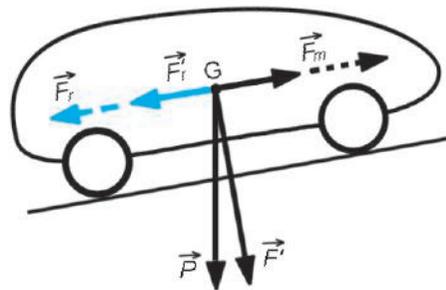


Figure 1.7 En côte, la force résistante augmente.

- \vec{P} : poids du véhicule (mg).
- \vec{F}_r' : force résistante provenant de la pente.

Ces divers phénomènes opposent aux roues motrices un couple résistant dont le moment peut être défini par (figure 1.8) :

$$M_o(\vec{F}_r) = F_r R$$

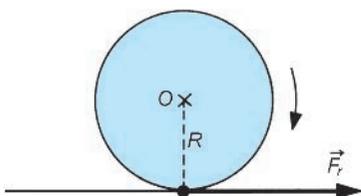


Figure 1.8 Couple résistant : $M_o(\vec{F}_r) = F_r R$.

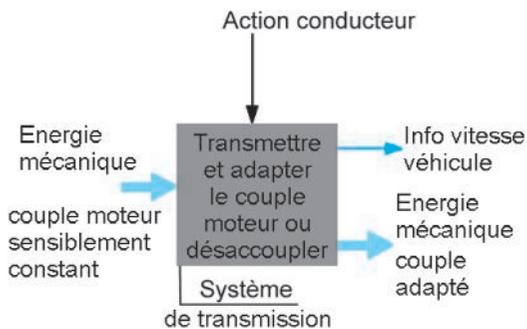


Figure 1.9 Fonction globale (rappel), analyse systémique niveau AO.

1.2 Analyse structurelle

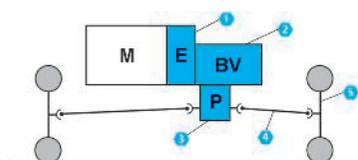


Figure 1.10 Transmission pour moteur transversal (véhicule vu de face).

Exemple de disposition des éléments :

- ① Embrayage.
- ② Boîte de vitesses.
- ③ Pont différentiel.
- ④ Arbres de transmission articulés (par cardans).
- ⑤ Roues motrices (traction avant).

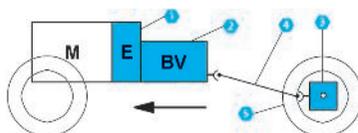


Figure 1.11 Transmission pour moteur disposé longitudinalement (véhicule vu de profil).

Exemple de disposition des éléments :

- ① Embrayage.
- ② Boîte de vitesses.
- ③ Pont différentiel arrière.
- ④ Arbre de transmission articulé.
Dans le plan transversal, ce véhicule comporte deux arbres de roues rigides.
- ⑤ Roues motrices (propulsion arrière).

1. L'énergie mécanique en rotation – couple et puissance – est transmise à l'embrayage dont le rôle est d'accoupler progressivement la transmission ou de la désaccoupler, suivant les besoins.

2. L'embrayage transmet cette énergie à la boîte de vitesses dont le rôle est de démultiplier la vitesse lorsque les efforts résistants reçus par les roues sont importants (démarrage, côtes). La boîte de vitesses dispose donc de plusieurs rapports de démultiplication.

3. La boîte de vitesses transmet cette énergie au pont qui comporte un engrenage dont le rôle est de démultiplier la vitesse de rotation du moteur de façon permanente.

Le pont comporte en outre un mécanisme appelé « différentiel » qui permet à chaque roue motrice de tourner à des vitesses différentes, notamment dans les virages.

4. Le pont transmet le mouvement aux arbres de transmission et/ou aux arbres de roues selon le montage du véhicule.

5. Ces derniers entraînent les roues motrices. Celles-ci transforment le couple transmis en force tangentielle au sol, donnant ainsi le mouvement de translation au véhicule.

Remarques

L'embrayage peut être actionné par le conducteur ou automatisé. Il en est de même de la boîte de vitesses. Les ponts peuvent comporter un blocage de différentiel à commande manuelle ou automatique.

Les dispositions de la transmission sont multiples selon que le moteur est :

- » avant, arrière ou central,
- » longitudinal ou transversal,

et que la boîte de vitesses se trouve placée à côté, dessous ou éloignée du moteur.

1.3 Analyse fonctionnelle

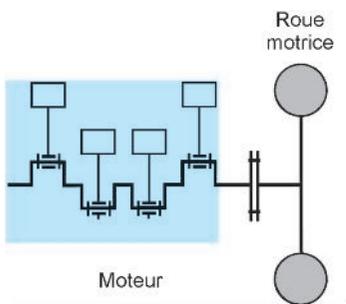


Figure 1.12 Transmission directe (hypothèse).

Soit un moteur à transmission directe (figure 1.12) dont le couple maximal se situe à 3 000 tr/min (50 tr/s). Sachant qu'une roue de diamètre moyen possède un développement d'environ 2 m, nous obtenons :

$$\frac{50 \times 2 \times 3\,600}{1\,000} = 360 \text{ km/h}$$

Les forces résistantes à cette vitesse appliquent à la transmission des couples résistants extrêmement élevés.

Pour conserver cette transmission directe et vaincre ces forces, il serait nécessaire d'augmenter le couple et la puissance du moteur dans des proportions considérables (véhicules pour records du monde).

Remarque

À vitesse de croisière courante (90 km/h par exemple) le couple résistant reste encore supérieur au couple moteur.

En conclusion, nous constatons qu'en vitesse de croisière sur sol plat :

- » le couple du moteur est inférieur au couple résistant,
- » la vitesse de rotation souhaitée pour les roues ne permet pas au moteur de tourner à un régime suffisant.

Il est nécessaire d'interposer entre le moteur et les roues motrices un mécanisme démultiplicateur dont le rapport se situe entre 1/3 et 1/7, ce qui a pour effet :

- » de diviser par 3 à 7 la vitesse de rotation des roues motrices par rapport à celle du moteur ;
- » de multiplier le couple moteur transmis aux roues motrices dans les mêmes proportions.

L'organe qui réalise cette réduction permanente se présente sous la forme de deux pignons de diamètre différent et se situe dans le pont avant ou arrière du véhicule. C'est le couple démultiplicateur (figure 1.13).

À l'arrêt : le moteur doit pouvoir tourner au ralenti afin d'éviter son redémarrage après chaque arrêt. Ce désaccouplement est réalisé soit par :

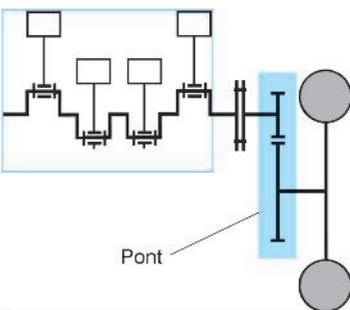


Figure 1.13 Réducteur permanent appelé « pont ».

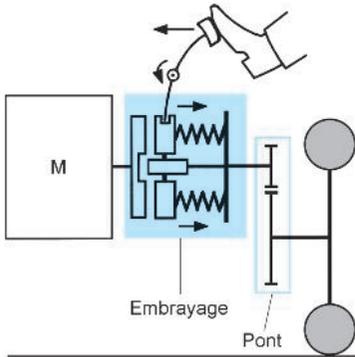


Figure 1.14 Principe de l'embrayage (en position « débrayée »).

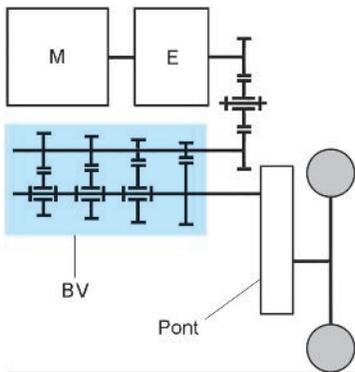


Figure 1.15 Principe de la boîte de vitesses (en position de première vitesse).

Figure 1.16 Principe de la transmission, analyse descendante niveau AO.

- » l'embrayage dans sa phase « débrayée » (figure 1.14) ;
- » la boîte de vitesses dans sa position « point mort ».

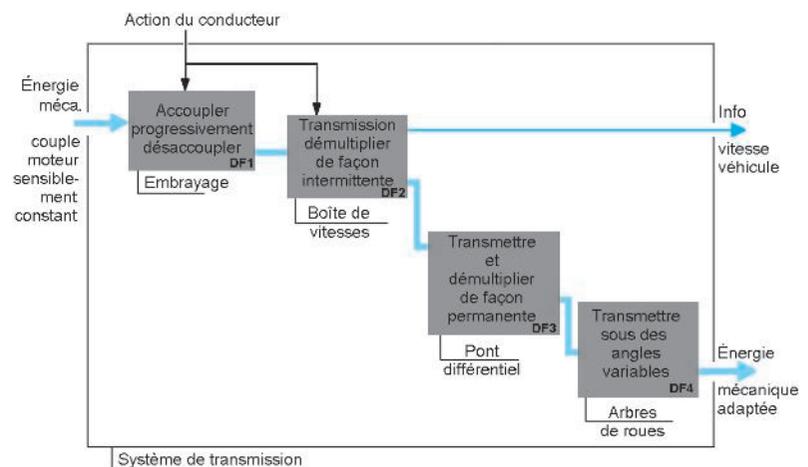
Au démarrage : le moteur tourne à son régime de meilleur couple, les roues sont arrêtées. Un accouplement progressif par glissement est nécessaire. Cette fonction est réalisée par l'embrayage dans sa position « embrayée ».

En accélération ou en côte : la vitesse aux roues est faible et le couple résistant élevé. Le moteur tourne toujours à son régime de meilleur couple.

Les grandes plages de vitesse et de couple résistant aux roues en phase d'accélération et en côte nécessitent l'utilisation de plusieurs possibilités de démultiplication. Ces possibilités sont offertes par les boîtes de vitesses à commande manuelle ou automatique à trois, quatre, cinq ou six rapports dans le cas des véhicules de tourisme courants (figure 1.15).

Remarque

La boîte de vitesses permet également de réaliser la marche arrière.



Résumé

Fonction du système de transmission

Transmettre l'énergie motrice aux roues.

Conditions à remplir

- » Permettre un démarrage progressif.
- » Permettre de désaccoupler la transmission.
- » Adapter la puissance et le couple du moteur aux variations des efforts résistants (couple résistant).

Éléments constitutifs d'une transmission

L'embrayage réalise un accouplement progressif et permet le désaccouplement.

La boîte de vitesses assure, par des démultiplications étagées, l'adaptation du couple moteur au couple résistant.

Par le point mort, elle permet de désaccoupler la transmission. Elle réalise la marche arrière.

Le couple démultiplicateur du pont assure une réduction permanente permettant une utilisation rationnelle de la puissance et du couple moteur ; son différentiel permet aux roues motrices de tourner à des vitesses différentes.

Les arbres de transmission terminent la liaison avec les roues motrices.

Variation du couple résistant

Le couple résistant varie suivant l'importance de :

- » la charge (masse du véhicule) ;
- » l'accélération au démarrage et en mouvement (inertie) ;
- » la pente de la route (pesanteur) ;
- » la résistance de l'air (C_x et vitesse) ;
- » la résistance au frottement des organes de transmission ;
- » la résistance au roulement des roues sur le sol.

Entraînez-vous

QCM EN LIGNE

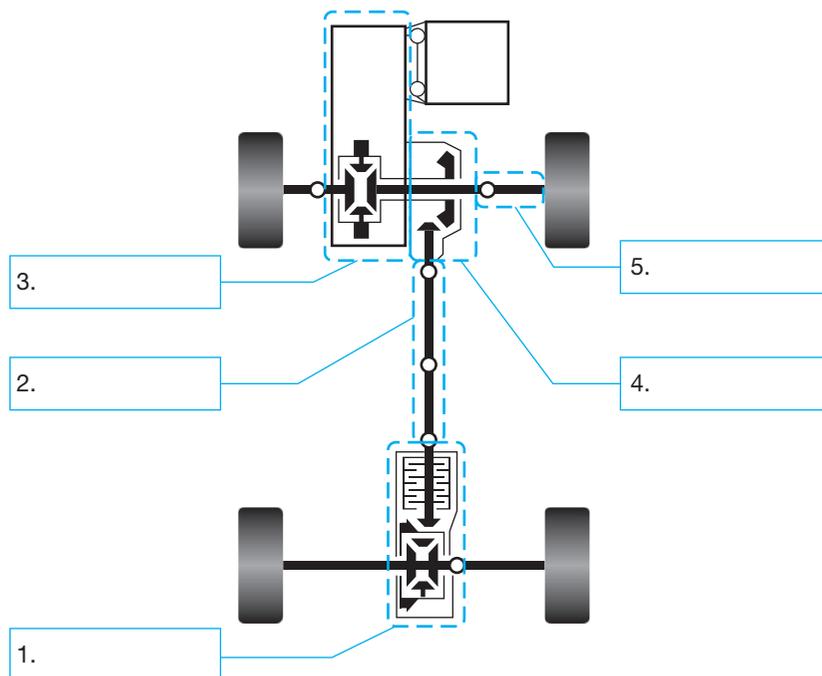
Scannez le QR CODE ci-contre pour accéder à un questionnaire portant sur les thèmes essentiels du chapitre directement accessible via votre téléphone.



<http://dunod.link/techauto-t2c01>

EXERCICES

1. Recherchez les éléments qui composent la transmission sur un véhicule de votre choix. Donnez les caractéristiques de chacun d'eux.
2. Indiquez le nom des éléments ci-dessous :



3. Quelles différences y a-t-il entre le type d'engrenage d'un pont pour moteur transversal et celui d'un pont pour moteur longitudinal ?
4. Qu'entend-on par démultiplication courte et démultiplication longue ? Expliquez les avantages et les inconvénients des deux systèmes.

SOLUTIONS COMMENTÉES

1. Peugeot 207 1.4i 95 16V (70 kW) -8FP/8F01 / EP3C- M5 :

- Embrayage monodisque à sec à commande hydraulique.
- La commande hydraulique est constituée d'un cylindre émetteur, d'un cylindre récepteur et d'un réservoir de compensation communs au circuit de freinage.
- Mécanisme à diaphragme, disque rigide et butée à billes, de type « poussé ».
- Boîte de vitesse : type MA5/N. Diamètre du boîtier différentiel : 77 mm.
- Arbre de transmission : la transmission du mouvement aux roues avant est assurée par deux arbres tubulaires de longueurs inégales, comportant un joint homocinétique à chacune de leurs extrémités (tripode côté boîte de vitesses et à billes côté roues).

2. 1 : Pont arrière ● 2 : Arbre de transmission longitudinal ● 3 : Boîte de vitesses, différentiel ● 4 : Boîte de transfert ● 5 : Arbre de transmission.

3. Cas du moteur transversal : L'axe de rotation du vilebrequin est parallèle à l'axe de rotation des roues. Dans ce cas, les arbres de transmission sont aussi parallèles aux roues. La démultiplication finale est obtenue par deux pignons droits à taille hélicoïdale. Le couple réducteur est constitué d'un petit pignon appelé pignon d'attaque et d'un grand pignon appelé couronne.

Cas du moteur placé longitudinalement : Dans ce cas l'arbre secondaire de la boîte de vitesse est longitudinal. L'essieu moteur (roues motrices) est transversal à l'axe du véhicule. Pour pouvoir transmettre le mouvement aux roues, il faut renvoyer le mouvement de 90° : c'est le rôle du renvoi d'angle qui fera aussi office de couple réducteur. Le renvoi d'angle peut être à pignons coniques (axes de rotation concourants) ou à pignons hélicoïdaux (axes de rotation non concourants).

4. Un rapport de vitesse ou de boîte « court » signifie que le véhicule ira lentement mais sera très démultiplié. Cela signifie une excellente transmission de la puissance aux roues mais une vitesse de pointe peu élevée. À l'inverse, un rapport de vitesses ou de boîte « long » donne plus de vitesse au véhicule, mais a besoin de plus de puissance pour être entraîné. Raccourcir un rapport, c'est augmenter la démultiplication entre le moteur et les roues, et c'est par conséquent augmenter le couple à la roue. L'accélération est plus forte, les montées en régime sont plus vives, le gain de temps est évident.

L'embrayage

chapitre 2

2.1 Mise en situation

Figure 2.1 Éléments d'un système d'embrayage (document Renault).

- 1 Butée d'embrayage.
- 2 Diaphragme.
- 3 Boîtier du mécanisme.
- 4 Garniture du disque.
- 5 Voile du disque.
- 6 Ressort d'amortissement.
- 7 Liaison glissière avec l'arbre primaire de boîte de vitesses.
- 8 Volant moteur.
- 9 Fourchette d'embrayage.
- 10 Commande mécanique.

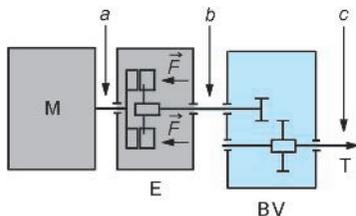
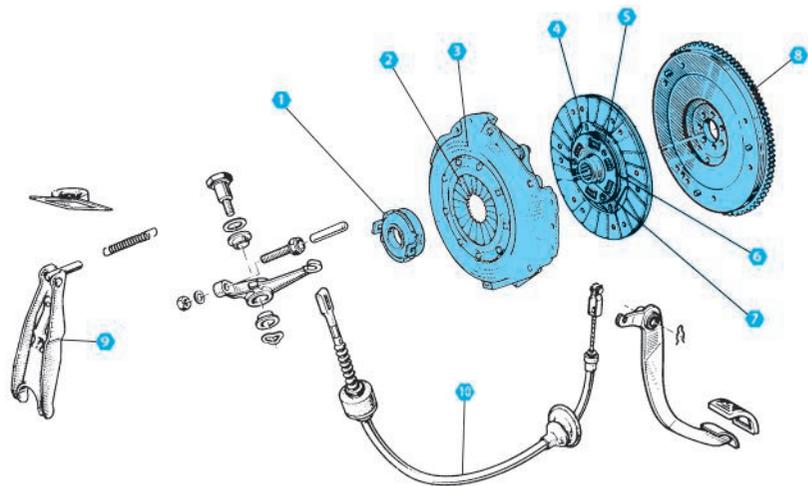


Figure 2.2 Arrêt du véhicule.

- **a** tourne au ralenti.
- **b** tourne au ralenti.
- **c** ne tourne pas.
- M.** Moteur.
- E.** Embrayage.
- BV.** Boîte de vitesses.
- T.** Transmission.
- \vec{F} : force motrice.

Les manœuvres à effectuer lors du démarrage d'un véhicule sont les suivantes :

Arrêt du véhicule (figure 2.2) :

- » le moteur tourne au ralenti (arbres a et b) ;
- » la transmission ne tourne pas (arbre c).

Préparation au démarrage (figure 2.3). Le premier rapport de démultiplication doit être engagé. Cette manœuvre ne peut être réalisée sans désaccoupler temporairement le moteur de la boîte de vitesses car :

- » les vitesses de rotation des pignons à engrener sont différentes (vitesse transmission nulle) ;
- » le couple résistant est supérieur au couple moteur.

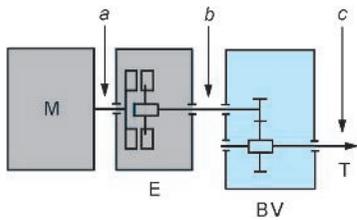


Figure 2.3 Préparation au démarrage :

- **a** tourne au ralenti.
- **b** ne tourne pas.
- **c** ne tourne pas.

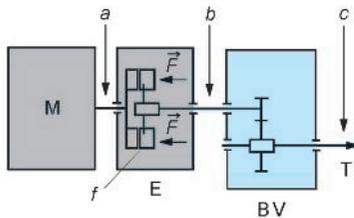


Figure 2.4 Démarrage :

- **a** tourne à vitesse élevée (meilleur couple).
- **b** augmente progressivement de régime.
- **c** idem.

f : frottement.

\vec{F} augmente progressivement.

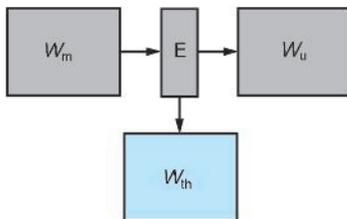


Figure 2.5 Transmission de l'énergie.

W_m : énergie motrice.

W_{th} : énergie thermique.

W_u : énergie utile à la transmission.

Le conducteur engage une vitesse.

Démarrage du véhicule (figure 2.4). Le conducteur accélère, le couple moteur augmente ; un accouplement instantané est impossible sans choc car :

- » le couple moteur devient supérieur au couple résistant ;
- » la vitesse de rotation du moteur est élevée, celle des éléments de la transmission est nulle.

Nous comprenons la nécessité d'adopter un type d'accouplement progressif à frottement variable. Cette disposition permet d'obtenir :

- » pour un régime constant du moteur, l'entraînement progressif de la transmission jusqu'à l'égalité des vitesses ;
- » un équilibre progressif du couple moteur et du couple résistant.

Remarque

Dans ce type de transmission, l'évolution des couples n'est pas inversement proportionnelle aux vitesses de rotation, comme dans les transmissions par engrenages.

La part d'énergie qui n'est pas transmise est transformée, par frottement, en énergie calorifique ou thermique (figure 2.5).

Le rendement de cet organe est donc proportionnel à la progressivité de l'accouplement (augmentation de \vec{F}).

2.2 Analyse structurelle

Il existe deux systèmes d'embrayage :

- » L'embrayage commandé : dans ce cas, c'est un accouplement mécanique par embrayage à disques.
- » L'embrayage automatique :
 - par accouplement mécanique : embrayage centrifuge, embrayage électromagnétique, embrayage piloté ;
 - par accouplement hydrocinétique : convertisseur de couple.

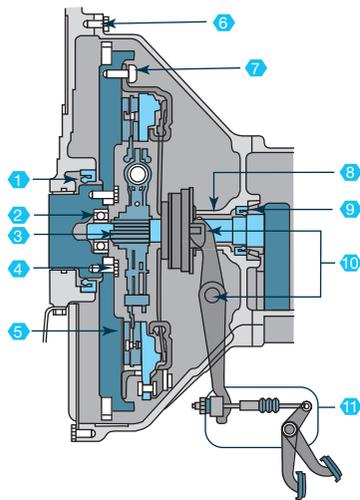


Figure 2.6 Embrayage à disque
(dessin Rachid Marai).

- 1 Joint annulaire d'étanchéité retenant l'huile moteur.
- 2 Roulement pilote.
- 3 Arbre primaire de boîte à vitesses.
- 4 Vis de fixation du volant sur le vilebrequin.
- 5 Volant moteur.
- 6 Vis de fixation du carter d'embrayage (ou cloche) sur le bloc-moteur.
- 7 Vis de fixation du mécanisme d'embrayage sur le volant.
- 8 Nez de boîte / guide de butée.
- 9 Joint annulaire d'étanchéité retenant l'huile de boîte à vitesses.
- 10 Articulations de la fourchette de commande.
- 11 Commande (tringlerie, câble ou système hydraulique).

L'embrayage commandé à diaphragme et disques

L'embrayage à disques doit permettre :

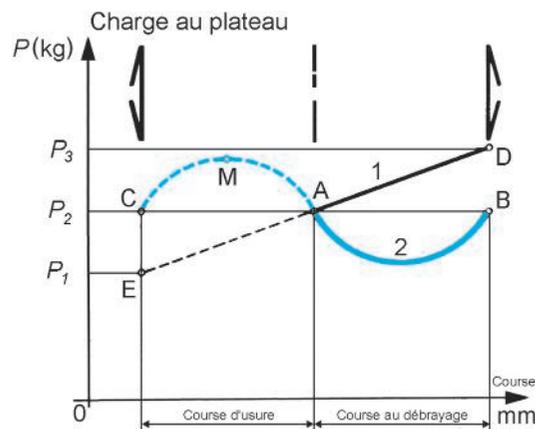
- » un accouplement progressif par friction sans usure rapide des surfaces ;
- » une progressivité de l'accouplement sans à-coups dans la transmission ;
- » une évacuation rapide de l'énergie calorifique dégagée pendant l'accouplement ;
- » une transmission intégrale (sans glissement), dans sa phase « embrayée », quels que soient les couples à transmettre ;
- » une manœuvre facile et un effort réduit de la part du conducteur.

Un disque d'embrayage est garni, sur ses deux faces, d'une matière dont le coefficient de frottement est élevé et qui résiste bien à la chaleur. Il est lié en rotation avec l'arbre primaire (arbre d'entrée) de la boîte de vitesses et libre en translation sur celui-ci. Serré entre le volant et le plateau presseur par des ressorts de pression, il est entraîné par adhérence.

Les avantages de l'embrayage à diaphragme sont les suivants :

- » grande progressivité au démarrage,
- » faible effort à exercer sur la pédale,
- » force pressante sur le disque peu variable, malgré l'usure des garnitures (figure 2.7),
- » meilleure ventilation et bon équilibrage dynamique de l'ensemble.

Figure 2.7 Comparaison de la force pressante exercée sur le disque dans un embrayage à diaphragme (document Renault).



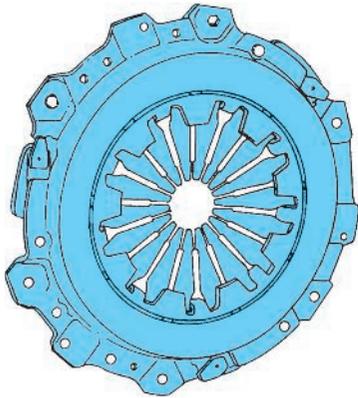


Figure 2.8 Mécanisme d'embrayage à diaphragme.



Figure 2.9 Un disque d'embrayage.



Figure 2.10 La butée.

Les principaux éléments

Le diaphragme

Le diaphragme est une sorte de rondelle Belleville, qui se comporte comme un ressort unique.

La partie active du diaphragme est comprimée entre le plateau mobile et la cloche. Des joncs servent d'appui et d'articulation.

Pour débrayer, la butée agit au centre du diaphragme.

Le disque d'embrayage

Les garnitures sont en matériaux composite et procurent un haut coefficient de frottement et une bonne résistance aux températures élevées.

Les ressorts amortissent les à-coups lors des manœuvres d'embrayage et les variations de couple du moteur.

Le moyeu cannelé coulisse sur les cannelures de l'arbre d'embrayage.

La butée

La butée, disposée autour de l'arbre d'entrée de boîte, reçoit la poussée de la pédale lors d'un débrayage pour la transmettre aux leviers ou au centre du diaphragme. Elle se compose d'une bague tournant avec le mécanisme et d'une autre bague coaxiale non rotative reliée à la pédale par l'intermédiaire de la fourchette et du système de commande.

Remarque

La plupart des butées sont en contact permanent avec le diaphragme.

La commande de l'embrayage

La commande reliant la pédale à la fourchette était autrefois mécanique par tringlerie. De nos jours, le lien entre la pédale et l'embrayage dans des voitures de tourisme et de petits véhicules utilitaires à transmission manuelle est presque exclusivement hydraulique.

Les commandes par câble ont, elles aussi, presque totalement disparu. La commande hydraulique s'est largement répandue parce

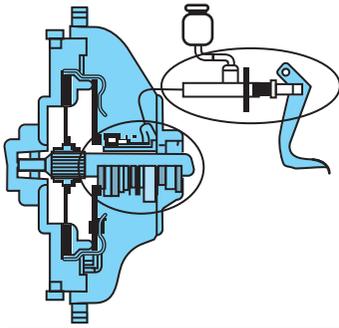


Figure 2.11 Commande hydraulique
(dessin Rachid Marai).

qu'elle est aisée à installer dans des compartiments moteurs de plus en plus encombrés. De plus grâce à l'utilisation des cylindres récepteurs concentriques une grande simplification a été réalisée.

L'embrayage automatique

Les embrayages automatiques doivent permettre :

- » une désolidarisation totale lorsque le moteur tourne au ralenti, à l'arrêt ;
- » un patinage plus ou moins important au démarrage en fonction des vitesses relatives et des couples (moteur/transmission) ;
- » un accouplement sans glissement après démarrage, le couple doit alors être transmis intégralement.

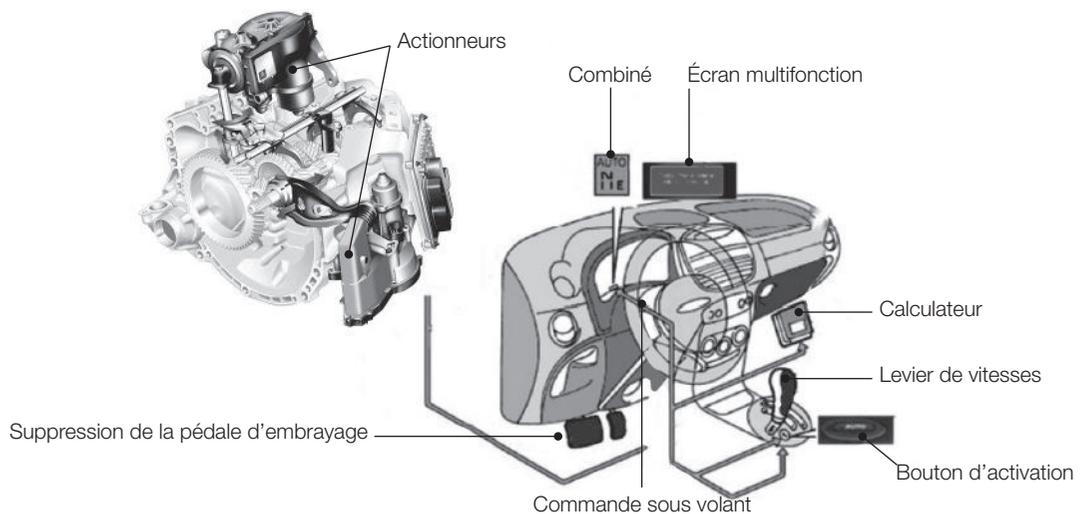
Ces opérations doivent se réaliser sans action extérieure du conducteur.

On distingue différents systèmes d'embrayage automatique :

- » l'embrayage classique couplé à un embrayage centrifuge semi-automatique ;
- » l'embrayage classique piloté électrohydrauliquement ;
- » le convertisseur hydraulique utilisé le plus souvent avec une boîte automatique, à trains épicycloïdaux.

Prenons l'exemple de la boîte de vitesses pilotée électrique où l'embrayage est automatisé et commandé par un actuateur :

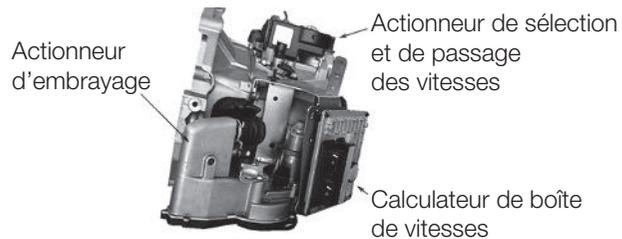
Figure 2.12 Boîte de vitesses pilotée
à commande électrique.

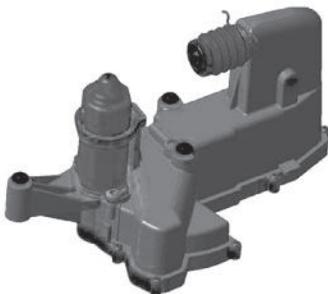
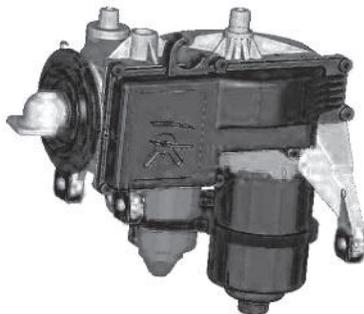


Sur ce système, les actionneurs sont des moteurs électriques à courant continu. Le conducteur ne dispose plus de la pédale d'embrayage ni du levier de vitesse standard.

Un calculateur de boîte de vitesses pilotée stocke les lois de passage (« Sport » et « Économie » par exemple) et commande les actionneurs de la boîte de vitesses pilotée.

Figure 2.13 Les composants du système.



Composant	Figure	Fonction
L'actionneur d'embrayage		Il remplace l'action du conducteur sur la pédale d'embrayage et permet trois états : – Accouplement du moteur à la transmission ; – Désaccouplement du moteur à la transmission ; – Glissement (démarrage, progressivité, à-coups). Deux capteurs de position d'embrayage intégrés à l'actionneur d'embrayage transmettent au calculateur de boîte de vitesses pilotée la course de l'embrayage. Cette information est utilisée pour éviter les calages ou les broutements de l'embrayage, pour améliorer le comportement du véhicule.
L'actionneur de passage de vitesses		Il remplace l'action du conducteur pour la sélection et l'engagement du rapport. Il est en fait composé de deux actionneurs : – un pour la sélection du rapport ; – l'autre pour l'engagement du rapport.

Le calculateur		Il gère le fonctionnement de la BVR (acquisition des infos capteurs et du réseau, commande des actionneurs, communique avec les autres calculateurs du véhicule (Inj., ABS ESP, Clim., BSI)).
Le capteur de régime d'arbre primaire		Il communique au calculateur l'image électrique du régime de rotation de l'arbre primaire afin qu'il la compare au régime moteur (info via l'injection) et connaisse ainsi le glissement de l'embrayage.
Le capteur de position		Les capteurs de position de passage et de sélection externes ou internes aux actionneurs de sélection et de passage informent le calculateur de boîte de vitesses pilotée électrique de la position de chaque moteur, ainsi le calculateur détermine le rapport engagé. Ils peuvent être de type « effet hall » ou potentiomètre simple piste.

2.3 Analyse fonctionnelle

Conditions à réaliser pour permettre la transmission d'un couple élevé sans glissement après embrayage

Exemple

Données :

- couple maximal à transmettre, $\mathcal{C} = 96 \text{ N} \cdot \text{m}$;
- rayon moyen du disque, $r_m = 0,1 \text{ m}$;
- coefficient d'adhérence des garnitures, $f = 0,4$;
- nombre de surfaces de contact, $n = 2$.

Nous cherchons F , la force totale des ressorts à appliquer.

Appliquons la formule (figure 2.14) $\mathcal{C} = r_m f n F$, de laquelle on tire :

$$F = \frac{\mathcal{C}}{r_m f n}$$

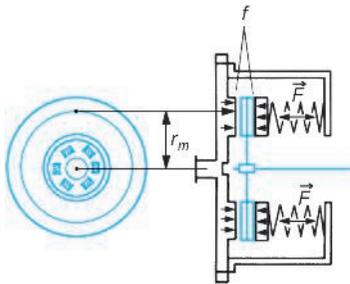


Figure 2.14 Transmission du couple moteur : $F = \frac{C_m}{r_m \cdot f_n}$

Pour un même couple à transmettre, si r_m est supérieur, l'intensité de la somme des forces F peut être inférieure.

donc :
$$F = \frac{96}{0,1 \times 0,4 \times 2} = 1\,200 \text{ N}$$

Cette valeur est l'intensité théorique de la force à appliquer. Pour tenir compte des aléas et de l'usure, l'intensité totale pratique devra être légèrement supérieure. Par exemple, $F = 1\,420 \text{ N}$. Si le mécanisme comporte six ressorts, l'intensité de la force de chacun d'eux sera de :

$$\frac{1\,420}{6} = 240 \text{ N}$$

En conclusion, pour permettre une transmission intégrale du couple moteur, on peut donc agir, en fabrication, sur les éléments suivants :

- » diamètre du disque,
- » matière des garnitures et conception,
- » nombre de surfaces frottantes (monodisque ou multidisques),
- » force du (ou des) ressort(s).

Principe de fonctionnement d'un embrayage à diaphragme

Débrayage : le conducteur agit, par la commande, sur la fourchette d'embrayage.

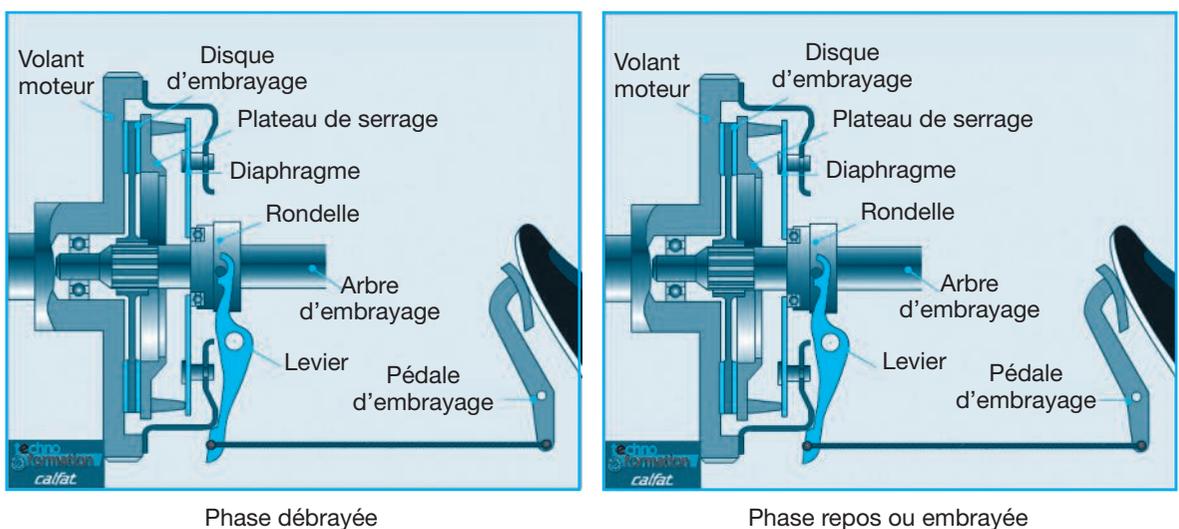


Figure 2.15 Fonctionnement d'un embrayage à diaphragme.