

Chapitre 1 : Généralités sur les boîtes de vitesses

1.1. Introduction

La boîte de vitesse est l'organe du véhicule qui permet de transmettre le couple du moteur à la roue. C'est un organe très complexe à mettre en œuvre et qui donne lieu à de nombreux endommagements selon les assemblages et les chargements considérés. La boîte de vitesse est constituée d'arbres dont les axes de rotation sont colinéaires aux axes de rotation des roues (en ligne droite). Cependant, pour tenir compte du comportement des roues en virage, un arbre supplémentaire est ajouté. Celui-ci sert à modifier la distance parcourue par chacune des roues selon leur angle par rapport à l'axe de rotation du moteur. C'est l'arbre différentiel. Il n'est pas considéré comme faisant partie intégrante de la boîte de vitesse. [4]

1.2. But de la boîte de vitesses

La boîte de vitesses, organe mécanique situé entre l'embrayage et l'arbre de transmission du mouvement à l'essieu moteur, a pour but :

- de permettre de modifier le rapport entre la vitesse de rotation du moteur et celle des roues lorsque l'effort résistant l'exige;
- de rendre possible la marche arrière du véhicule par inversion du sens de rotation des roues motrices ;
- de réaliser d'une façon permanente la séparation des roues et du moteur, complétant ainsi l'action de l'embrayage qui, au gré du conducteur, ne provoque qu'une séparation momentanée du moteur et des organes de transmission.

1.3. Nécessité du changement de vitesse

L'étude de la puissance développée par un moteur à explosion fait ressortir que celui-ci n'est pratiquement utilisable qu'entre deux vitesses de rotation extrêmes plus ou moins éloignées mais bien déterminées. Dans ces limites, le couple moteur maximum (accélérateur à fond : papillon des gaz ouvert en grand) varie peu. On peut donc admettre que le couple moteur maximum dont on dispose avec un moteur donné est sensiblement constant [5]

Au contraire, la résistance à vaincre pour assurer le déplacement du véhicule varie continuellement, très élevée lorsque la voiture part de l'arrêt, elle diminue en descente, augmente en côte, et varie en outre suivant la nature du sol, le vent, etc... Ces résistances créent aux roues un effort résistant qui est essentiellement variable. Or, pour qu'une voiture se déplace à une allure déterminée (mouvement uniforme de vitesse donnée) il faut que soit

réalisée l'égalité : puissance motrice = puissance résistance, c'est-à-dire : force motrice x espace parcouru par seconde Si on désigne par :

r : le rayon du bras de manivelle du moteur;

r' : le rayon des roues motrices;

N : le régime du moteur en tours par minute;

N' : le nombre de tours de roues par minute;

C : le couple moteur (F_r , F étant l'effort moteur);

R : le couple résistant (f_r , f étant l'effort résistant);

η : le rendement de la transmission.

la condition précédente peut s'écrire : $F \times 2 \times 3,14 \times r \times N / 60 = f \times 2 \times 3,14 \times r' \times N' / 60$

Où :

$$C \times 2 \times 3,14 \times N / 60 = R \times 2 \times 3,14 \times N' / 60$$

D'où :

$$C = 1 / \eta \times R \times N' / N$$

Si le rapport N'/N était invariable, lorsque le couple résistant augmente on aurait rapidement $C < 1 / \eta \times R \times N' / N$ et le véhicule ralentirait progressivement et s'arrêterait (réciproquement il accélérerait si on ne diminue pas le couple moteur en réduisant les gaz). Pour rétablir l'égalité il faut pour une valeur donnée de C , lorsque R croît, intercaler des rapports N'' / N' , N''' / N'' ... de plus en plus petits, donc augmenter la démultiplication entre la vitesse de rotation du moteur et celle des roues.

La boîte de vitesses constitue une succession de trains d'engrenages à cet effet. Le couple résistant R variant continuellement avec le profil de la route, il serait intéressant que le rapport N'/N en suive proportionnellement les fluctuations : ce serait avoir le changement de vitesses continu (qui n'a pu être pratiquement réalisé jusqu'ici dans la construction de série).

Il serait possible d'équiper une voiture d'un moteur ayant la puissance nécessaire pour gravir sans difficultés les rampes les plus fortes d'un circuit à l'allure désirée, mais alors en toutes autres circonstances, le moteur devrait fonctionner à charge très réduite ce qui en serait une mauvaise utilisation et entraînerait une consommation spécifique exagérée.

En fait, dans la pratique, on se borne à utiliser l'accélérateur pour faire varier le couple moteur et suivre dans une certaine mesure les variations du couple résistant. Dès que ce dernier varie dans des proportions incompatibles avec les variations du couple moteur obtenues par le jeu de l'accélérateur (qui fait varier la quantité de mélange gazeux absorbé par cylindrée) on utilise le changement de vitesse.

1.4. Les boîtes de vitesses classiques (Les boîtes de vitesses manuelles)

Organe existant pratiquement depuis le début de l'automobile, la boîte de vitesses manuelle est à l'automobile ce que le dérailleur est au vélo. Rôle, fonctionnement, disposition, calcul des rapports et toutes les variantes de la boîte de vitesses manuelle.

1.4.1. Principe de la boîte de vitesses à engrenages

Dans sa réalisation la plus simple la boîte de vitesses comprend :

- un arbre primaire P relié au moteur par l'intermédiaire de l'embrayage
- un arbre secondaire S relié à la transmission.

L'arbre primaire porte généralement des pignons coulissants (baladeur actionnés par le conducteur. L'arbre secondaire porte les roues dentées non coulissantes.

L'engrènement d'un baladeur et d'une roue dentée du secondaire permet de réaliser une combinaison de vitesse, la liaison entre le primaire et le secondaire et, par suite, la transmission aux roues du mouvement moteur démultiplication suivant les exigences

1.4.2. Démultiplication / vitesses

- Entre la boîte de vitesses et les roues interposé un renvoi d'angle qui démultiplie le mouvement du secondaire, cette démultiplication du pont arrière est toujours inférieure à l'unité et reste constante quelle que soit la combinaison utilisée dans la boîte de vitesses. La démultiplication totale N'/N indiquée au § 2 est le produit de la démultiplication de la boîte de vitesses par celle du renvoi d'angle. Chacune des combinaisons de pignons réalisant une démultiplication prend le nom de « vitesse ».

La première vitesse est la combinaison la plus démultipliée, c'est-à-dire celle qui, pour une même vitesse du moteur, donne aux roues la vitesse la plus faible.

La deuxième, la troisième, la quatrième, sont de moins en moins démultipliées. Généralement pour la dernière, le rapport de démultiplication est égal à l'unité (c'est la prise directe) ou parfois supérieur à l'unité (vitesse surmultipliée).

La boîte de vitesses est caractérisée par le nombre de combinaisons de marche avant qu'elle comporte - boîte à 3 vitesses et marche arrière, boîte à 4 vitesses et marche arrière, etc...

Pour les voitures de tourisme, on ne dépasse pas 4 vitesses en marche avant et une en marche arrière.

La boîte à 3 vitesses ne devrait être associée qu'à des moteurs possédant une grande réserve de puissance. La boîte à 4 vitesses mieux adaptée aux petites cylindrées, correspond à une meilleure utilisation de la puissance maximum développée par le moteur, et à une économie de marche appréciable.

Les véhicules de poids lourds comportent généralement 4 ou 5 vitesses en marche avant suivant leur destination. Souvent la 5e vitesse correspond à une multiplication (vitesse surmultipliée).

Enfin, sur certains poids lourds et la plupart des véhicules tous terrains (qui ont à vaincre une résistance à l'avancement variant dans des proportions beaucoup plus grandes que celles des véhicules de tourisme ordinaires) on introduit un organe (le réducteur) dont l'action a pour effet de doubler le nombre de vitesses données par la boîte, en démultipliant tous les rapports.

1- Boîte sans prise directe : Boîte à baladeur unique

Cette boîte représente la réalisation la plus simple pour obtenir un certain nombre de « rapports » et est à l'origine des boîtes modernes à baladeurs multiples.

Elle comprend un arbre primaire p portant par exemple quatre pignons dentés p_1 p_2 p_3 pour une boîte à 4 vitesses. Les quatre pignons sont solidaires d'un manchon coulissant K muni d'une gorge G . Le diamètre des roues est croissant progressivement. L'ensemble constitue le baladeur dont le déplacement longitudinal est assuré par une fourchette s'engageant dans la gorge circulaire G .

En regard de l'arbre primaire se trouve l'arbre secondaire S portant également 4 roues dentées s_1 s_2 s_3 s_4 de diamètre approprié à celui des roues dentées du primaire.

Au point mort aucun des pignons n'est en contact. Si « p » et « s » désignent le nombre de dents de deux pignons P et S mis en prise, la démultiplication obtenue est : p/s .

Cette boîte particulièrement simple et dont le déplacement simultané de tous les pignons mobiles peut être assuré à l'aide d'un coulisseau unique présente, sans dispositif spécial, une grande sécurité de fonctionnement : deux couples de pignons ne peuvent, par construction, être en prise en même temps.

Par contre ses inconvénients sont tels qu'elle n'est plus utilisée malgré son prix de fabrication peu élevé. Ce sont :

- l'encombrement considérable (il faut pour que deux pignons ne viennent simultanément en prise donner aux arbres une longueur égale à n_2l (1) (cf. figure);
- le poids élevé des arbres et, par conséquent, leur inertie : pour qu'ils puissent, malgré leur longueur, résister aux efforts de flexion;
- la grande amplitude d'oscillation du levier de manœuvre qu'on ne peut loger à l'intérieur de la carrosserie.

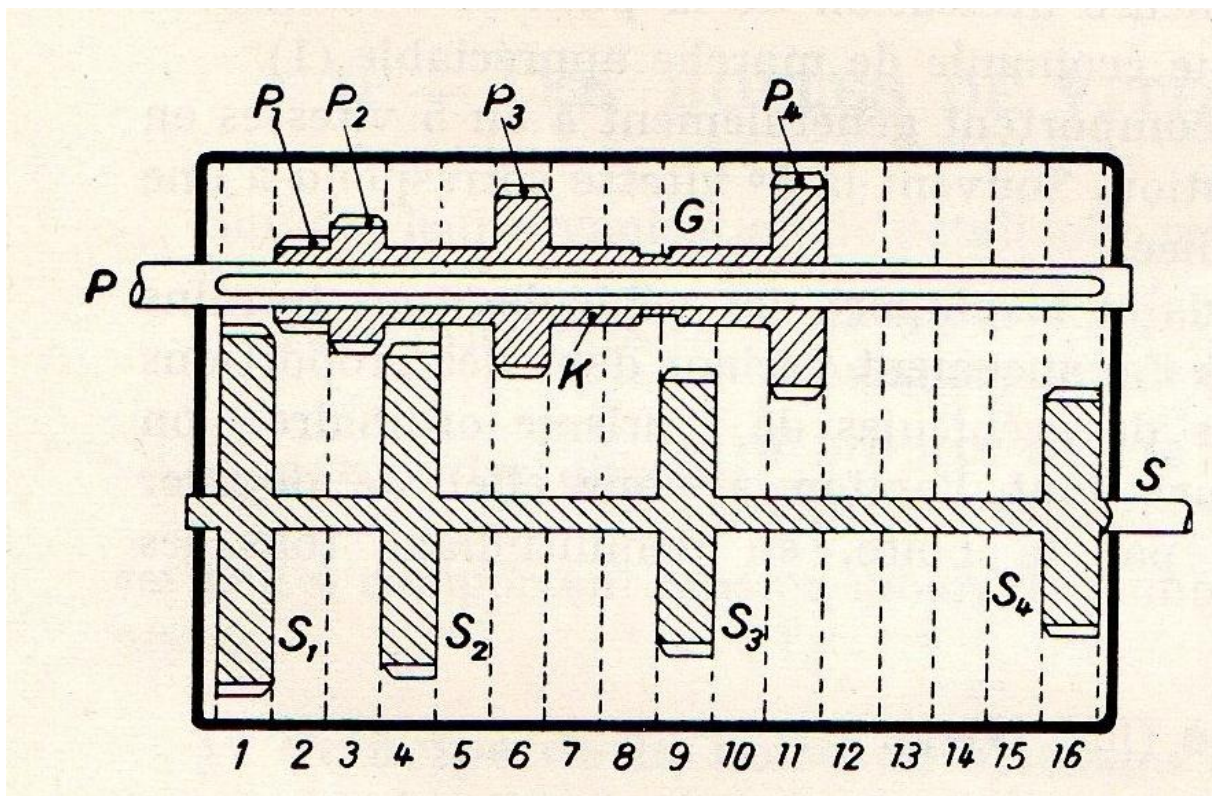


Figure I.1. Boîte de vitesses à baladeur unique

- a) Boîte à baladeurs multiples (figure I.2) : La boîte de vitesses à baladeurs multiples présente la même disposition générale avec cette différence que les pignons couissants sont groupés par deux, chaque paire constituant un baladeur k_1, k_2 , qui est commandé indépendamment par une fourchette et un coulisseau distinct ; on a dans ces conditions :

- pour une boîte à 4 vitesses : trois baladeurs, dont un de marche arrière (ce dernier n'est pas représenté sur la figure);

- pour une boîte de 3 vitesses : deux baladeurs, dont un, servant à la première et à la marche arrière. Le calcul des démultiplications obtenues est identique à celui qui est indiqué pour le type de boîte précédent, mais la boîte ne présente qu'un encombrement en longueur égal à $2n l$ (1).

La manœuvre pour passer de la plus grande vitesse à la plus petite est beaucoup plus facile.

Ce type de boîte de vitesses qui avait été abandonné est à nouveau utilisé sous une réalisation synchronisée sur certaines voitures à traction avant (BV à baladeurs multiples, sans prise directe, ni prise constante)

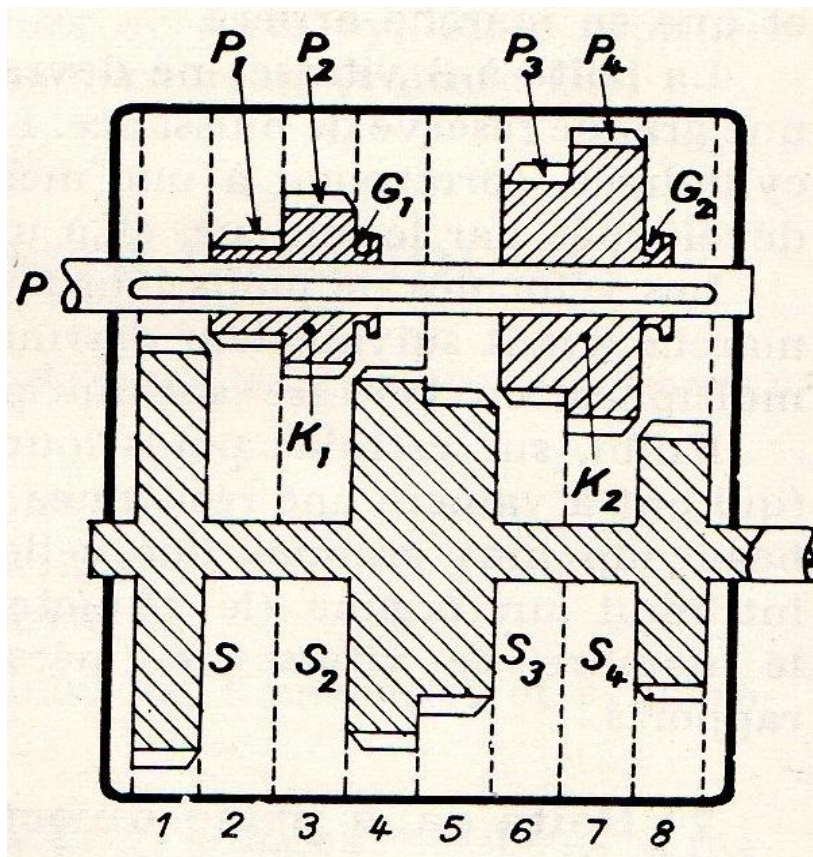


Figure I.2 Boîte de vitesses à baladeurs multiples

2- Boîte de vitesses à prise directe (figures I.3 et I.4).

- Dans la boîte de vitesses à prise directe, les arbres primaire et secondaire se trouvent dans le prolongement l'un de l'autre; ils peuvent être reliés l'un à l'autre, au gré du conducteur, sans interposition d'engrenages, ce qui leur donne, pour la combinaison ainsi réalisée, la même vitesse de rotation : c'est la « prise directe ».

L'un des deux arbres, le primaire P (fig. I.3) ou le secondaire S (fig. I.4) est relié constamment avec un troisième arbre (l'intermédiaire I) au moyen de deux pignons non coulissants A et B, appelés pignons de prise constante. La prise constante se trouve, suivant les dispositions, à l'avant ou à l'arrière et les pignons I1, I2... de diamètre décroissant sont clavetés sur l'arbre intermédiaire.

Les baladeurs de marche avant K1. et K2 sont montés à cannelures sur le deuxième arbre (secondaire S ou primaire P) sur lequel ils peuvent coulisser. Les pignons de ces baladeurs S1, S2, S3 (ou P1, P2, P3) dont les diamètres vont en croissant, peuvent engrener avec les pignons I1, I2, I3 de l'intermédiaire pour donner les différents rapports de vitesses, la prise directe s'obtenant en crabotant directement S3 (ou P3) avec A.

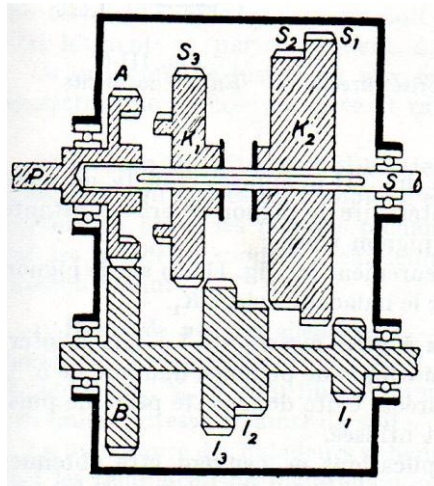


Figure I.3. Boîte de vitesses à prise constante avant (4 vitesses)

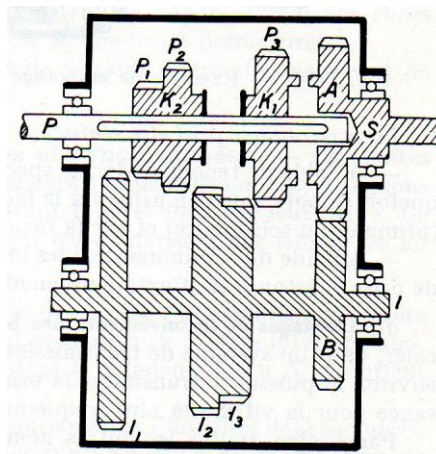


Figure I.4. Boîte de vitesses à prise constante arrière (4 vitesses)

Les dispositifs de prise directe et de prise constante (la position de la prise constante sert à différencier les deux types de boîte) sont placés à une même extrémité de la boîte.

Dans les boîtes à prise constante on a donc, sauf en prise (où l'arbre S tourne à la vitesse de l'arbre P), une double démultiplication, l'une d'elles étant celle des deux pignons de prise constante.

Si la démultiplication constante, placée à l'avant, comporte deux pignons de 10 et 40 dents (10 sur le primaire) et si les pignons en jeu ont 80 et 30 dents (30 sur le secondaire), la démultiplication obtenue sera de : $10/40 \times 80/30 = 2/3$

Dans le cas de la prise constante à l'arrière, pour avoir la même démultiplication, il faudrait que les pignons soient inversés, la démultiplication serait bien alors de :

$$80/30 \times 10/40 = 2/3$$

On remarque cette disposition dans les deux figures précédentes (petits pignons ou grands pignons sur l'arbre intermédiaire suivant la position de la prise constante).

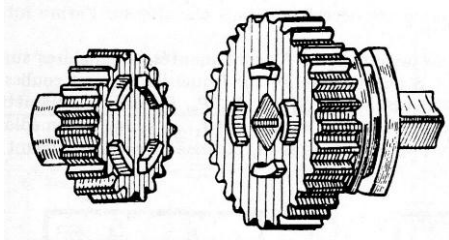


Figure I.5. Exemple de crabotage de prise directe

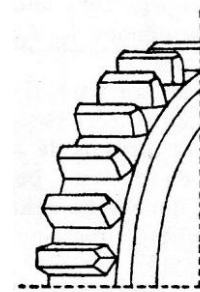


Figure I.6. Entrée des dents

La prise directe peut être réalisée :

- à l'aide de tenons de forme spéciale (fig. I.5) appelés crabots, ou quelquefois clabots, que l'on usine sur la face intérieure du pignon de prise constante (primaire ou secondaire) et sur la face du pignon voisin ;
- à l'aide de couronnes dentées intérieurement (cf. figure I.3) sur le pignon de prise constante A et extérieurement sur le baladeur voisin K1.

a) Avantages et inconvénients des boîtes à prise directe :

- Le fait d'intercaler, dans un système de transmission, un couple de pignons, diminue de 5 % environ la puissance transmise; la prise directe évite donc cette perte de puissance pour la vitesse la plus fréquemment utilisée. Par contre, toutes les autres démultiplications ne peuvent être obtenues que par l'intermédiaire de deux couples de roues dentées, qui limitent par conséquent, pour toutes ces combinaisons, le rendement maximum de la boîte à 90 % environ.

b) Comparaison entre les deux types de prise directe :

- Dans les boîtes à prise constante avant, l'arbre primaire entraîne l'arbre intermédiaire et le secondaire supporte les baladeurs ; il en résulte que :
- l'inertie du primaire, et par conséquent celle de l'embrayage, se trouve augmentée;
- l'intermédiaire tourne toujours moins vite que le primaire puisqu'il y a une première démultiplication dans la prise constante;
- l'intermédiaire, par contre, tourne dès que le moteur est en marche, même si la voiture est à l'arrêt; il en résulte un léger ronflement dû à l'engrènement constant des pignons de prise constante (qui peut être atténué par l'emploi de dentures hélicoïdales).

Dans les boîtes à prise constante à l'arrière, l'arbre primaire porte les baladeurs et l'arbre intermédiaire entraîne le secondaire. Par suite :

- l'arbre intermédiaire ne tourne que si la voiture est en marche;
- il tourne toujours plus vite que les deux autres arbres quand la boîte est en prise directe. Il nécessite un usinage plus précis et un graissage soigné.

NOTE : Dans les boîtes à engrenages droits, tous les pignons, sauf ceux de prise constante, ont leurs dents biseautées du côté où s'opère la prise de contact (entrées de dents), de façon à faciliter la manœuvre du conducteur.

c) Inconvénients des boîtes à engrenages droits :

Les boîtes de vitesses à engrenages droits présentent deux inconvénients :

- elles sont bruyantes, en particulier sur les combinaisons autres que celles de prise directe à crabot;
- elles présentent toujours, pour un conducteur non exercé, quelques difficultés pour le passage des vitesses.

Ce deuxième inconvénient est dû au fait qu'avant de mettre en prise deux pignons (ou deux crabots) il faut leur donner sensiblement la même vitesse circonférentielle (ou angulaire). Si la manœuvre est mal exécutée (elle exige une certaine habileté), il se produit au moment de l'engrènement des chocs entre les dents et, par conséquent, du bruit et une usure prématurée.

Or on demande justement aux boîtes de vitesses d'être silencieuses et de permettre une manœuvre aisée et rapide.

3- Boîtes de vitesses silencieuses et synchronisées :

Ces boîtes de vitesses sont basées sur l'emploi d'engrenages à taille hélicoïdale et à pignons toujours en prise, les pignons menants étant montés fous sur leur arbre. Ce sont les baladeurs montés à cannelures qui les solidarisent sur leur arbre au moment voulu.

a) Boîtes de vitesses silencieuses :

La figure I.7 schématise une boîte silencieuse. Les pignons B, 4, I2, I3 sont solidaires de l'arbre intermédiaire, les pignons S1, S2, S3 sont libres. En crabotant le baladeur K2 sur S1 on obtient la première vitesse et ainsi de suite. La manœuvre des baladeurs se heurte toutefois aux difficultés déjà signalées, aussi les remplace-t-on maintenant par des synchroniseurs du moins pour les rapports fréquemment utilisés (la 1^{re} et la marche arrière ne sont généralement pas synchronisées).

b) Boîtes synchronisées :

Ces boîtes, analogues à la précédente, comportent des baladeurs spéciaux (synchroniseurs) entraînant le pignon à craboter à la même vitesse angulaire, ce qui permet un engrenement aisé et silencieux. Synchroniseur. - Il existe plusieurs types de « synchroniseurs » (ou « dispositifs synchromesh »). La figure I.8 montre le principe de fonctionnement d'un dispositif courant. Les pignons A et Sa portent une roue dentée de crabotage C (ou D) et un cône d'embrayage mâle E (ou G) dont la grande base est d'un diamètre inférieur à celui de la roue, mais qui est disposé concentriquement par rapport à cette dernière.

Un manchon K solide de l'arbre S par un dispositif à cannelures et pouvant coulisser sur lui, porte sur chacune de ses faces un cône d'embrayage E' (ou G'); sa surface cylindrique externe porte une denture en tous points semblable aux dentures C et D et sur laquelle peut coulisser une couronne à denture intérieure X. Dans la gorge F vient s'engager la fourchette de commande du baladeur K. Couronne et manchon sont rendus solidaires l'un de l'autre par un verrouillage V à billes commandées par des ressorts ; les billes pouvant, dans certains cas, s'effacer dans le logement ménagé à l'intérieur du manchon et libérer ainsi la couronne X.

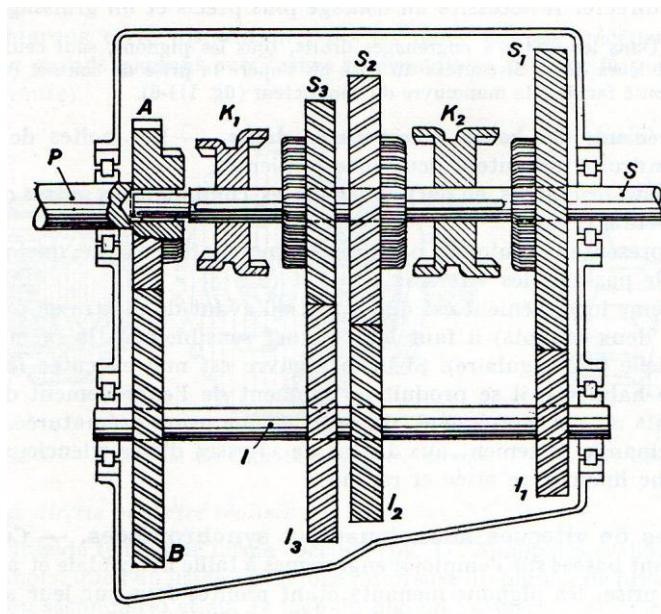


Figure I.7. Boîte de vitesses silencieuse (principe)

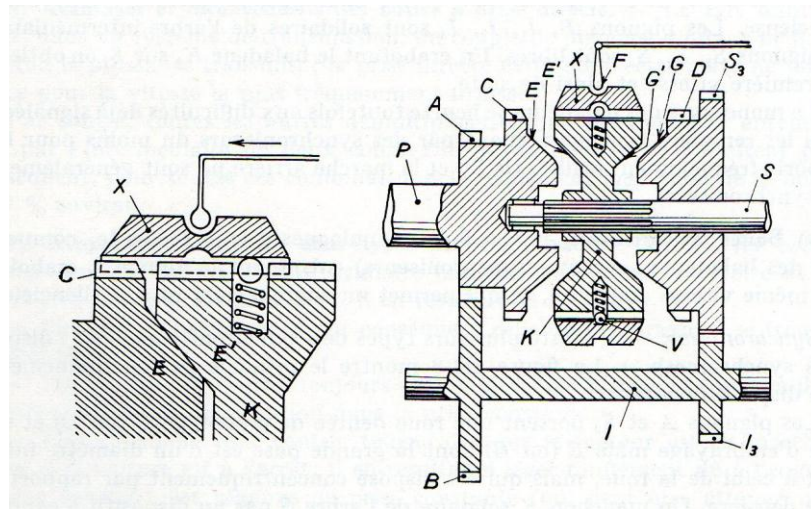


Figure I.8. Synchroniseur

Pour passer, par exemple, de troisième vitesse en prise directe, on déplace franchement, après débrayage, le baladeur vers la gauche; les cônes E et E' venant au contact, le pignon C se trouve entraîné à la vitesse de K, donc de S; l'effort qui assure le déplacement du manchon, est ensuite suffisant pour refouler les billes à l'intérieur de leur logement; ainsi déverrouillée la couronne X peut sans difficultés entrer en prise avec la roue C, les deux dentures ayant à cet instant la même vitesse périphérique.

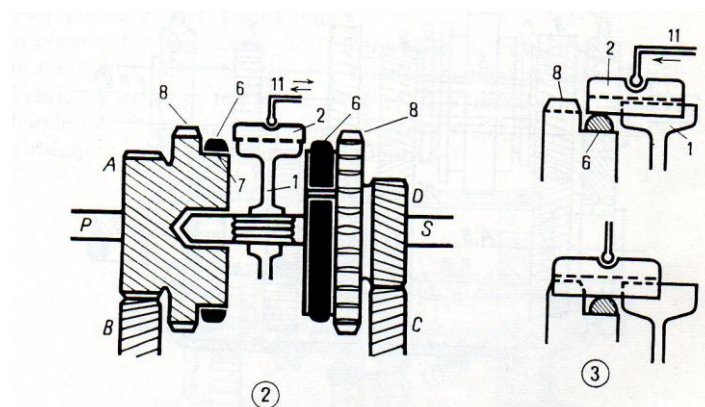
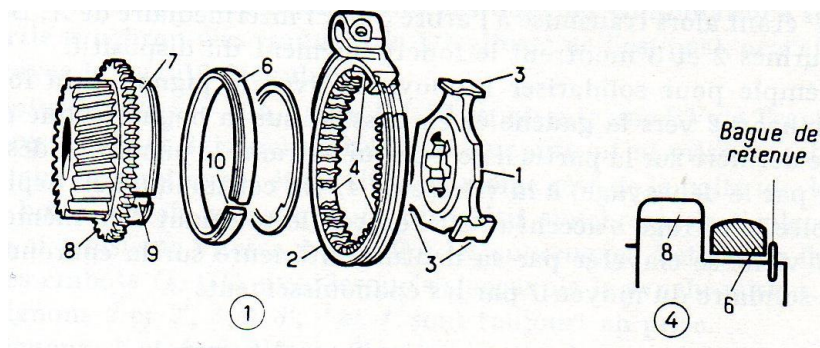


Figure I.9. Synchroniseur Porsche

Synchroniseur Porsche: La **figure I.9** donne l'exemple d'un synchroniseur basé sur l'utilisation d'un anneau de serrage élastique fendu. La figure 1 en montre les principaux éléments constitutifs.

I.5. Fonctionnement des boîtes de vitesses manuelles

a- Le pignon de première vitesse :

Supposons qu'on actionne le levier de changement pour passer en première (**figure I.10**). Le grand de l'arbre secondaire de transmission se dé: de l'arbre jusqu'à ce qu'il s'engrène avec le de l'arbre intermédiaire. Il faut débrayer pour effectuer cette manœuvre de façon à faire arrêter l'arbre et l'arbre intermédiaire. Lorsqu'on embraye à nouveau, l'arbre secondaire de transmission se met à entraîner par l'entresol l'arbre intermédiaire. L'arbre intermédiaire tourne plus lentement que l'arbre primaire et le petit p l'arbre intermédiaire s'engrène avec le grand pignon de l'arbre secondaire. On obtient donc ainsi une démultiplication d'environ 3:1. Ce qui signifie que l'arbre primaire effectue trois tours pour chaque tour de l'arbre secondaire de transmission. Il y a encore une autre démultiplication qui s'accomplit au niveau différentiel des roues arrière. Cela produit un rapport de démultiplication encore plus élevé (environ 12 :1) le vilebrequin du moteur et les roues. [6]

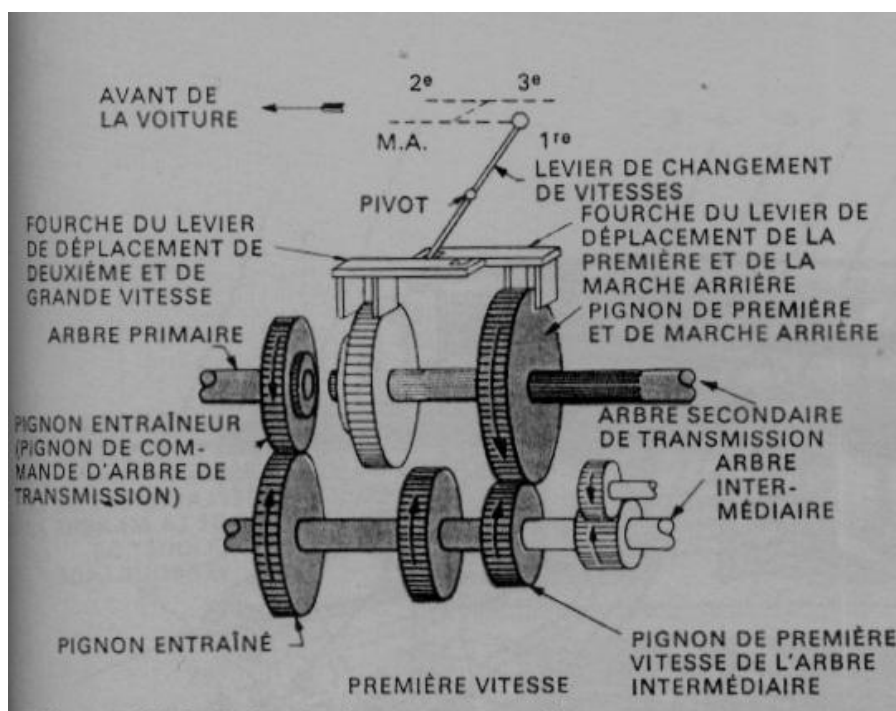


Figure I.10. Boîte de vitesses en première.

b- Le pignon de deuxième vitesse

Supposons maintenant qu'on actionne le levier de change vitesses pour passer en deuxième (**figure I.11**). le grand pignon de l'arbre secondaire de transmission se dégage du petit pignon

de première de l'arbre intermédiaire. Le petit pignon de l'arbre secondaire glisse vers le grand pignon de deuxième vitesse de l'arbre intermédiaire pour s'y engrener. Cela abaisse que le rapport de démultiplication de façon à ce que le vilebrequin accomplisse environ deux tours l'arbre secondaire n'en fait qu'un seul. La démultiplication effectuée dans le différentiel augmente le de démultiplication à environ 8 :1.

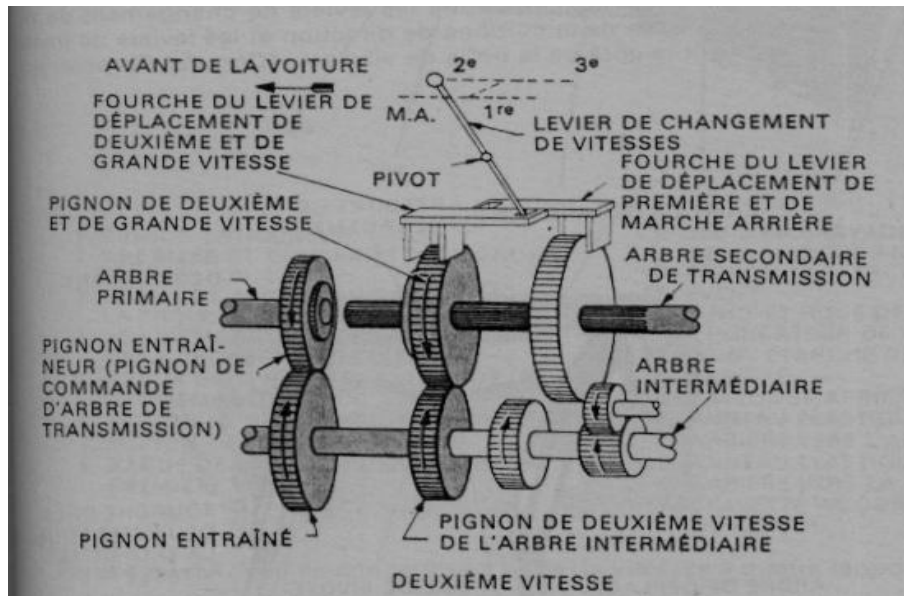


Figure I.11. Boîte de vitesses en deuxième vitesse

c- Le pignon de troisième vitesse

Lorsqu'on passe en troisième vitesse (*figure I.12*), les deux pignons de l'arbre secondaire de transmission se dégagent des pignons de l'arbre intermédiaire. De plus, le pignon de deuxième et de troisième vitesses est poussé par son axe contre le pignon d'attaque de l'arbre primaire. Des dents extérieures du pignon entraîneur s'engrènent avec des dents intérieures du pignon de deuxième et de troisième vitesses. L'arbre secondaire de transmission tourne donc avec l'arbre primaire et on obtient un rapport de 1 :1. La démultiplication effectuée dans le différentiel produit un rapport de démultiplication d'environ 4:1 entre le vilebrequin et les roues.

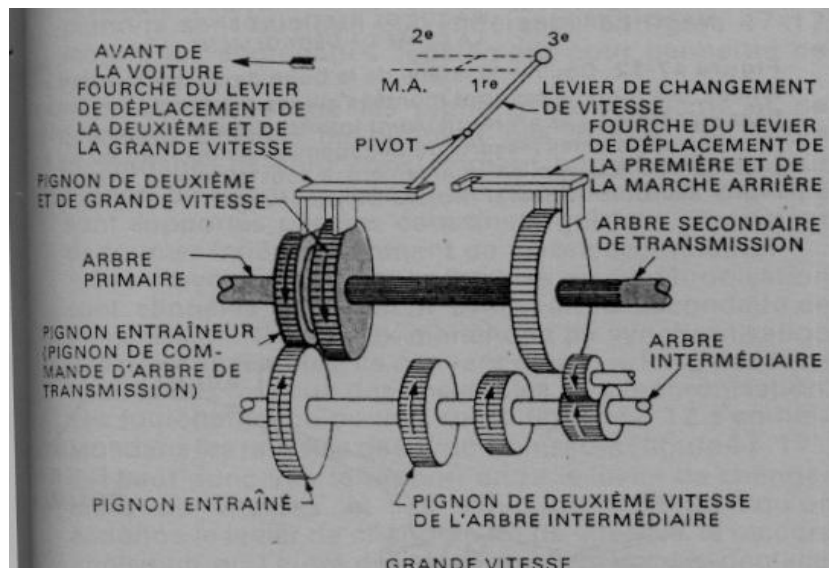


Figure I.12. Boîte de vitesses en troisième vitesse

d- Le pignon de marche arrière

Lorsqu'on passe en marche arrière (*figure I.13*), le plus grand des deux pignons de l'arbre secondaire de transmission s'engrène avec le pignon inverseur. Ce pignon intermédiaire est toujours engrené avec le petit pignon de marche arrière à l'extrémité de l'arbre intermédiaire. L'insertion du pignon intermédiaire entre le pignon de marche arrière de l'arbre intermédiaire et le pignon de l'arbre secondaire, inverse le sens de la rotation de l'arbre de transmission. Ce qui signifie qu'il tourne dans le même sens que l'arbre intermédiaire. Cela inverse donc la rotation des roues et la voiture recule. Voilà donc le principe fondamental du fonctionnement de toutes les boîtes de vitesses. Les voitures actuelles sont cependant munies de boîtes de vitesses beaucoup plus complexes. Elles comprennent des engrenages hélicoïdaux et des synchroniseurs qui synchronisent la rotation des pignons qui doivent s'engrener. Cela élimine le râclage des pignons et facilite les changements de vitesses.

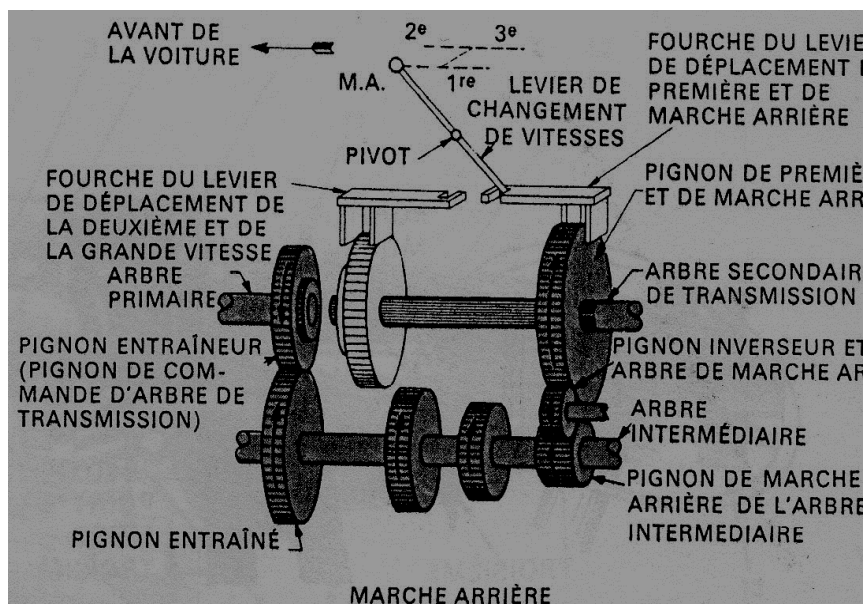


Figure I.13. Boîte de vitesses en marche arrière

I.6. Changement de vitesses

Les leviers de changement de vitesses des boîtes de vitesses manuelles sont situés soit sur la colonne de direction, soit sur le plancher. Quelle que soit sa position, le levier de changement de vitesses accomplit deux tâches ; premièrement, il choisit l'ensemble d'engrenages à déplacer, et, deuxièmement, il les déplace vers l'avant ou vers l'arrière dans la position désirée. La **figure I.14** montre la disposition des vitesses pour les leviers de changement de vitesses sur la colonne de direction et sur le plancher.

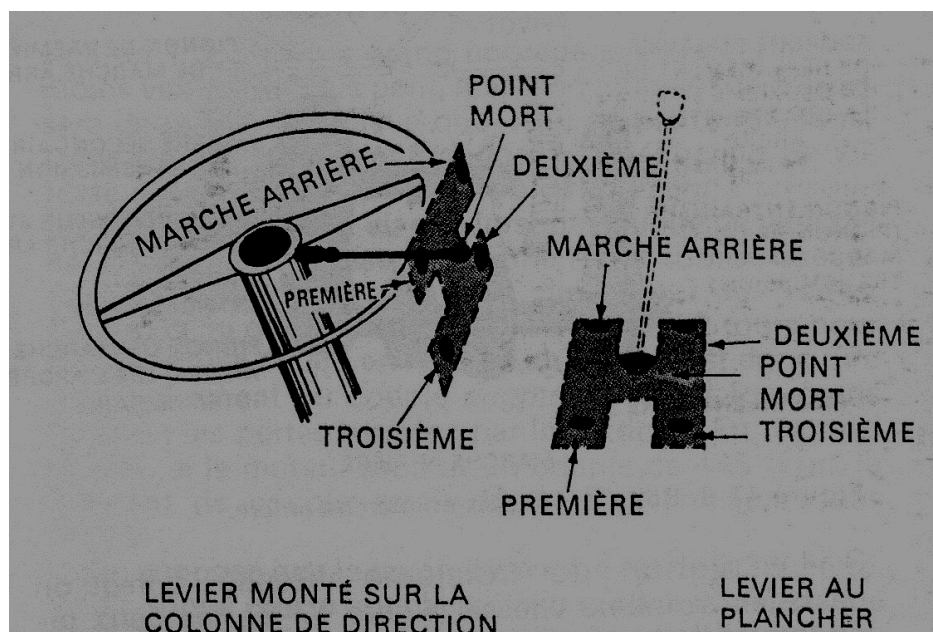


Figure I.14. Disposition des vitesses pour les leviers de changement de vitesse montés sur la colonne de direction ou au plancher.

I.7. les boîtes de vitesses automatiques

Utiliser l'embrayage et choisir le rapport le mieux approprié en fonction du régime moteur et de la vitesse est chose facile pour d'aucuns, exercice délicat pour d'autres; c'est selon. Ce qui est certain, c'est que, grâce à l'évolution technique, ces tâches peuvent être effectuées avec efficacité par une boîte automatique, ce qui permet au conducteur de se concentrer essentiellement sur le déroulement du trafic. L'application des technologies les plus modernes, la gestion électronique, des matériaux toujours plus fiables et des lubrifiants de très haute qualité ont permis de réaliser des boîtes automatiques extrêmement performantes qui, à la condition d'un entretien régulier, se situent au même niveau qu'une boîte mécanique. Il ne faut donc pas s'étonner du fait que, lors de l'acquisition d'une voiture neuve, toujours davantage d'automobilistes suisses s'intéressent à un modèle doté d'une boîte automatique.

Ce qui, en Amérique du nord va de soi depuis plus de cinq décennies, commence aussi à prendre progressivement pied en Europe. Preuve en est que, selon l'Office fédéral de la statistique, en 1990, 19% des voitures nouvellement immatriculées étaient équipées d'une boîte automatique, tandis qu'en 2000, cette part était déjà passée à 26% et qu'actuellement près de 45% des véhicules immatriculés sont dotés d'une boîte automatique ou d'une boîte robotisée (sans embrayage).[7]

- Pourquoi une boîte automatique?

Un moteur à combustion délivre sa puissance sur une plage de régime étroite. Afin de pouvoir exploiter cette puissance pour mouvoir le véhicule par des conditions de charge variées, il est indispensable de la transmettre aux roues motrices par l'entremise d'un ensemble de pignons.



Figure I.15. Boîte à vitesses manuelle pour conducteur intransigent.

Plus les pignons (rapports de vitesse) sont nombreux, plus la puissance du moteur s'adapte de manière appropriée aux conditions d'utilisation (accélération, pente, charge, consommation, bruit). Or, le choix du rapport qui convient le mieux est de la responsabilité du conducteur. Le sentiment de changer de rapport au moment

le plus approprié nécessite une certaine habitude, par corollaire, c'est une question d'expérience. La liaison entre le moteur et une boîte à vitesses manuelle est assurée par un embrayage à friction qui permet de démarrer, de s'arrêter et de changer de vitesse à l'aide d'un levier. En revanche, une boîte automatique supprime les opérations de débrayage et de changement de rapport: la sélection se fait directement en fonction de divers paramètres qui déterminent le rapport le mieux adapté. A l'heure actuelle, en simplifiant, l'offre de boîtes automatiques peut être répartie en quatre catégories:

- a. La boîte automatique conventionnelle avec convertisseur de couple
- b. La boîte à vitesses robotisée
- c. La transmission CVT

d. La boîte à vitesses directe avec double embrayage



Figure I.16. Boite automatique hydraulique récente, le levier de la boîte est parfois monté près de volant

1. La boîte automatique conventionnelle

Elle comporte un convertisseur de couple hydrodynamique et un ensemble de pignons (train planétaire). Le convertisseur hydraulique sert de trait d'union entre le moteur et le train planétaire; il ne prend pas seulement

en charge la tâche de l'embrayage mais est aussi partiellement responsable de la démultiplication.

Le fluide du convertisseur est dénommé ATF (Automatic-Transmission- Fluid): il s'agit d'une huile possédant des caractéristiques spécifiques. L'énergie mécanique du moteur est transformée en énergie cinétique dans le rotor de pompe et ensuite retransformée en énergie mécanique dans le canal de l'aube de la turbine. Ce qui permet d'établir une liaison «onctueuse» avec la prise de force de la boîte. Dans le cas d'un convertisseur hydrodynamique, un stator intervient pour détourner le courant liquide, ce qui génère un accroissement du couple. Cette augmentation du couple s'exprime clairement par de meilleures accélérations, notamment au moment du démarrage. Bien souvent le conducteur peut aussi sélectionner un mode dit «Sport» qui s'exprime à travers un régime plus élevé en phase d'accélération. Il existe aussi fréquemment une aide au démarrage pour une chaussée glissante qui sélectionne un rapport supérieur et, par conséquent, réduit la force appliquée aux roues motrices et privilégie l'adhérence. De plus, de nombreux constructeurs proposent une commande manuelle de la boîte par impulsion (pseudo-séquentielle). En poussant ou en tirant sur le levier de sélection ou en agissant sur des contacteurs intégrés au volant, le conducteur peut monter les rapports ou rétrograder. Si, il y a peu de temps, les boîtes automatiques se contentaient de posséder cinq rapports, il existe aujourd'hui de telles transmissions comportant jusqu'à neuf rapports. Cette technologie favorise le «Downspeeding», c'est-à-dire rouler aux tours les plus bas et permet ainsi d'économiser du carburant.

2. La boîte à vitesses robotisée

Ce type de boîte est utilisé aussi bien en compétition que sur des voitures de tourisme à usage routier, mais les objectifs sont différents. En effet, en sport automobile, il est important de changer de rapport rapidement, avec une précision absolue. En revanche, sur la route, les changements de vitesse doivent être prioritairement doux et confortables. Les deux systèmes ont cependant certains points communs. Le cœur de la boîte à vitesses robotisée est une boîte mécanique à cinq ou six rapports et un embrayage à friction. Toutefois, l'embrayage et le changement de rapport ne sont pas actionnés par le conducteur mais par des moteurs électriques ou pas-à-pas soumis à une gestion électronique. À l'aide du levier de sélection ou de la pédale de l'accélérateur, le conducteur manifeste son intention de changer de vitesse, mais tout le processus est ensuite pris en charge par un automatisme programmé. En fonction de paramètres tels que le mode de conduite adopté, les charges relatives à l'utilisation, les contraintes auxquelles le moteur est soumis ou la configuration routière, l'ordinateur embarqué définit le rapport le mieux approprié et l'instant optimal pour débrayer et embrayer. Il est également en mesure d'identifier certaines situations comme par exemple une manœuvre de dépassement (kickdown).



Figure I.17. Les boîtes robotisées sont presque toutes commandées du volant.

3. La transmission CVT :

La transmission CVT (Continuous Variable Transmission, soit en français la «transmission à variation continue») ne date pas d'hier. Cette réalisation à la fois simple et géniale était apparue pour la première fois en 1959 sur la DAF Variomatic.



Figure I.18. La boîte CVT ressemble à une boîte automatique conventionnelle.



Figure I.19. Plusieurs marques automobiles proposent la boîte DSG.

I.8. Comparaison des différentes boîtes de vitesses

	Manuelle	Robotisée	Hydraulique	CVT
Conclusion	Actuellement, près de 55% des véhicules immatriculés (soit 2,3 millions de véhicules) sont dotés d'une boîte à vitesses manuelle. Cette solution est la moins onéreuse. On la trouve le plus souvent sur les petites voitures et les utilitaires. Son entretien est minime bien qu'il puisse arriver que l'embrayage doive être remplacé (en fonction de son usage et de son utilisation). Depuis les années quatre-vingt-dix, les boîtes manuelles sont à cinq ou six rapports (excepté la Porsche avec sept rapports).	Ces dernières années, la boîte à vitesses robotisée a gagné un terrain considérable dans le secteur des petites voitures et des voitures de catégorie moyenne inférieure. L'avènement de l'électronique explique en grande partie cette évolution. Etant donné que la boîte proprement dite est semblable à celle utilisant une commande manuelle et que l'automatisation est obtenue par l'adoption de composants complémentaires, les adaptations techniques sont relativement faciles à réaliser et les surcoûts demeurent parfaitement acceptables. La boîte à vitesses directe associe confort et faible consommation, comme une boîte automatique. Tout ceci a certes son prix, mais on peut dire que ce type de transmission est bien réussi.	Grâce à l'application de l'électronique, de matériaux et de technologies modernes, la boîte automatique conventionnelle avec convertisseur de couple a pu surmonter la plus grande partie des inconvénients qui lui étaient reprochés par le passé et qui concernaient notamment la fiabilité et le manque de performances. La principale réticence est sans doute constituée par le supplément de prix (de Fr. 2'000.- à Fr. 3'000.-) que coûte ce type de transmission. Sur les voitures des catégories inférieures, les dimensions ainsi que les coûts supplémentaires qu'elles génèrent ont contrarié la progression de ce type de transmission.	Grâce à un développement technologique rapide, avec ses démultiplications infinies, la transmission CVT semble promise à un bel avenir. Etant donné que des technologies de pointe ont permis de maîtriser les contraintes supportées par les courroies entre les poulies de diamètre variable, ce système convient désormais aussi à des véhicules de plus fortes cylindrées. Le fait que dans le cas d'une transmission CVT le moteur tourne généralement au régime idéal peut générer des valeurs de consommation avantageuses. La réduction du besoin de place et les coûts supplémentaires demeurent tout à fait acceptables.
Avantages	+ sportivité + liberté (le conducteur est seul à décider)	+ confort de conduite en ville (pas d'embrayage) + ASG: surcoût minime par rapport à une boîte à vitesses manuelle + DSG: brève interruption de la force de traction	+ confort de conduite optimal + pas d'interruption de la force de traction + convient parfaitement à la conduite avec remorque	+ confort de conduite + rendement / consommation + pas d'interruption de la force de traction
Inconvénients	- plus de «solllicitations» dans les bouchons	- système plus complexe que la transmission manuelle - ASG: longue interruption de la force de traction - DSG: supplément de prix relativement élevé	- supplément de prix relativement élevé (de série souvent sur les voitures des catégories supérieures)	- bruit de fond nécessitant un temps d'accoutumance
Conseils	Il a été prouvé dans de nombreuses situations qu'un véhicule avec boîte à vitesses manuelle consomme moins. Pour ce faire, il est recommandé de suivre un cours Eco-Drive®.	Les voitures avec boîte à vitesses robotisée consommeront moins si le levier est engagé dans le rapport «D», comme pour les boîtes automatiques. Au cas où le rapport «D» ferait défaut, il est conseillé de passer rapidement et assez tôt au rapport supérieur, comme pour les boîtes manuelles, la conduite sera ainsi à bas régime du moteur.	Si vous conduisez une voiture avec boîte automatique, il est recommandé de rouler au rapport «D». Changer les vitesses à la main ou même choisir une conduite sportive a le plus souvent pour conséquence une consommation accrue. En levant légèrement la pédale d'accélération, on peut ainsi pousser la boîte automatique à passer à un rapport supérieur et la consommation en sera diminuée.	Les voitures avec transmission CVT consomment optimalement moins de carburant si on accélère peu, car le véhicule roulera ainsi à bas régime du moteur et donc très économiquement.

Références bibliographiques :

- 1- Lovas Laszlo, «**Etude des relations entre le comportement et la fabrication des synchronisateurs des boîtes de vitesses manuelles**» 2004
- 2- Bourdon Adeline. « **Modélisation dynamique globale des boîtes de vitesses automobile** ». 1997
- 3- J. Chagette, « **Technique automobile** » le châssis tome 2, édition Dunod paris 1977
- 4- William H. Crouse, « **Mécanique automobile** »troisième édition Quebec Canada 1979
- 5- Gauthier Leprince, « **Pertes mécaniques par frottement et lubrification dans une boîte de vitesses** », thèse doctorat soutenue à *INSA de Lyon* le 19/12/2011
- 6- Yakhou Karim, «**Validation expérimentale d'un modèle dynamique global de boîte de vitesses automobile** ». 1999
- 7- Thomas van Oudenove, « **Les boîtes de vitesses automatiques s'adaptent aux moteurs de moindre puissance : pilotage électronique et logique floue** » 2000