



# Cours sur l'embrayage LuK

Initiation aux technologies de l'embrayage pour véhicules de tourisme



**SCHAEFFLER**  
AUTOMOTIVE AFTERMARKET



Les informations contenues dans cette brochure sont exclusivement données à titre indicatif et ne présentent aucune garantie ni caractère contractuel. Schaeffler Automotive Aftermarket GmbH & Co. KG décline toute responsabilité résultant de cette brochure ou y étant liée dans les limites de la loi.

Tous droits réservés. Toute reproduction, utilisation, diffusion, mise à disposition publique ou toute autre publication de cette brochure en tout ou partie n'est autorisée qu'avec l'accord préalable écrit de Schaeffler Automotive Aftermarket GmbH & Co. KG.

Copyright ©  
Schaeffler Automotive Aftermarket GmbH & Co. KG  
Mai 2012

# Contenu

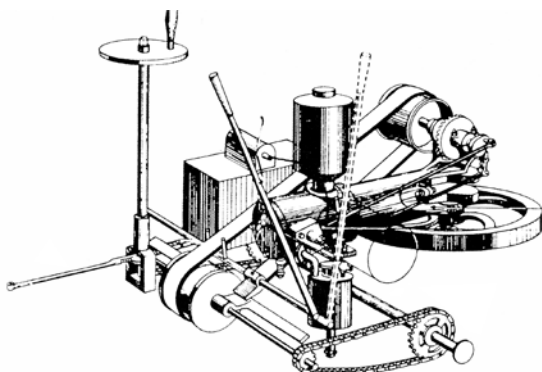
	<b>Page</b>
<b>1 Évolution technologique de l'embrayage : rétrospective</b>	<b>4</b>
<b>2 L'embrayage entre le moteur et la boîte de vitesses - Schéma fonctionnel, composants</b>	<b>13</b>
<b>3 Le disque d'embrayage : élément de liaison principal de l'embrayage</b>	<b>16</b>
<b>4 Le plateau de pression – Modèles et courbes caractéristiques</b>	<b>20</b>
<b>5 Le volant bimasse : amortissement de torsion efficace entre moteur et boîte de vitesses</b>	<b>28</b>
<b>6 Systèmes de butée hydraulique</b>	<b>32</b>
<b>7 Des boîtes de vitesses robotisées (ASG) pour plus de confort</b>	<b>36</b>
<b>8 Les boîtes de vitesses à double embrayage offrent dynamisme et efficacité</b>	<b>38</b>
<b>9 La boîte de vitesses CVT : le confort en continu</b>	<b>42</b>
<b>10 Convertisseurs de couple : des systèmes robustes pour aller plus loin en consommant moins de carburant</b>	<b>48</b>
<b>Conclusion</b>	<b>50</b>

## 1 Evolution technologique de l'embrayage : rétrospective

Au cours de l'histoire séculaire de l'automobile, la plupart de ses pièces ont connu une évolution technologique extraordinaire. Fiabilité, coûts de production, minimum de maintenance, et dernièrement respect de l'environnement, ont été et sont encore autant de facteurs clés ayant incité les constructeurs automobiles à ne cesser de développer des solutions innovantes sans cesse améliorées. Si les principes de construction étaient clairs depuis le début, ce sont seulement les nouveaux matériaux et procédés de traitement qui en ont permis la réalisation.

Il aura fallu que s'achève la première décennie de ce siècle pour que le moteur à explosion ou combustion supplante, parmi les différents modes de propulsion développés pour l'automobile, les principes d'entraînement à vapeur ou électrique qui le concurrencèrent un temps, et finisse par s'imposer définitivement sur un large front. Ce n'est qu'en 1902 que pour la toute première fois, un véhicule équipé d'un moteur à essence battit le record absolu de vitesse, dépassant les véhicules à traction électrique et à vapeur qui avaient jusqu'alors dominé la scène. Il est à noter que même encore tout au long de la première décennie du siècle dernier les défenseurs des trois systèmes d'entraînement continuèrent à se disputer le record de vitesse absolu. En effet, par rapport à la voiture automobile à combustible liquide – comme on l'appelait encore à l'époque – les dispositifs électriques ou à vapeur présentaient un avantage primordial: grâce à l'évolution quasi parfaite du couple, ces deux principes ne requerraient ni embrayage ni boîte de vitesses ce qui en simplifiait considérablement l'utilisation, réduisait les risques de dysfonctionnements et limitait la maintenance. En revanche, la puissance du moteur à combustion n'étant transmise que par le régime, ce dernier doit forcément être équipé d'un système de désolidarisation entre moteur et boîte de vitesses. Le principe d'entraînement dépendant du régime du moteur à essence nécessite une aide mécanique au démarrage pour pouvoir compenser l'inconvénient de ne pouvoir transmettre suffisamment de puissance qu'à partir d'un certain régime et donc d'un certain couple.

Fig. 1: Embrayage à courroies de transmission utilisé dans l'automobile brevetée par Benz en 1886



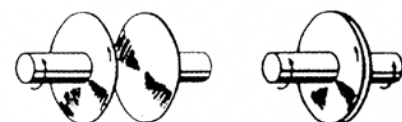
Or, parallèlement à sa fonction de démarrage, l'embrayage doit aussi assurer la fonction, non moins importante, de désolidarisation, afin de pouvoir, en roulant, passer les rapports sans transmission de couple. Aux premiers temps de la construction automobile, nombre de véhicules, notamment légers, ne possédaient pas d'embrayage de démarrage en raison de la complexité des problèmes que cela posait. Le véhicule à moteur devait être poussé.

C'est dans les ateliers de construction de l'industrie automobile en plein essor que naquit le principe de fonctionnement des premiers embrayages ; à l'instar des courroies de transmission utilisées dans ces ateliers, on introduisit dans l'automobile une courroie plate en cuir. En la tendant sur un tendeur de courroies, elle transmettait la force d'entraînement de la poulie à courroie du moteur aux roues motrices, son relâchement interrompait la transmission : on était en position débrayée. Mais comme ce procédé entraînait l'usure très rapide des courroies en cuir, on pensa bientôt à installer, à côté de la poulie de commande, une autre poulie de même taille, tournant à vide. Par un mouvement de levier, la courroie d'entraînement passait de la poulie tournant à vide à la poulie de commande. La voiture à moteur brevetée par Benz en 1886 (illustration 1), au volant de laquelle Bertha Benz fut la première à entreprendre le long parcours historique reliant Mannheim à Pforzheim, était déjà équipée de ce système d'embrayage.

Au vu d'une part, des inconvénients de la commande à courroie que représentaient son efficacité restreinte, son manque de résistance à l'usure et l'insuffisance de ses propriétés de roulement, notamment par temps de pluie, et d'autre part, la nécessité de boîtes de vitesses à engrenage requises pour des moteurs de plus en plus puissants, les constructeurs s'affairèrent à chercher d'autres systèmes plus satisfaisants et performants que l'embrayage par transmission.

C'est ainsi que toutes sortes d'embrayages virent le jour, et parmi eux, les précurseurs de nos embrayages modernes,

Fig. 2: Principe de fonctionnement de l'embrayage à friction : le disque d'entraînement est comprimé contre le disque entraîné jusqu'à complète adhérence



tous basés sur le principe de l'embrayage à friction : pour embrayer, un second disque immobile est approché du premier disque grippé sur l'extrémité du vilebrequin. Dès lors qu'ils entrent en contact, il se produit une friction et le disque immobile se met en mouvement (illustration 2).

Au fur et à mesure où la force de pression augmente, le disque de commande entraînant le disque commandé le fait tourner à un régime de plus en plus élevé jusqu'à ce que les deux disques atteignent la même vitesse de rotation. Entre le moment où les deux disques sont encore désolidarisés et le moment où ils se retrouvent comprimés l'un sur l'autre, l'énergie principale d'entraînement est transformée par le glissement des disques en énergie thermique.

Un tel système d'embrayage satisfait aux deux conditions principales requises – soit la progressivité et la douceur de l'embrayage – pour ne pas faire caler le moteur au démarrage et éviter les à-coups au niveau du moteur et de la transmission et assurer une transmission complète du couple en position embrayée. Ce principe de construction fut adopté dès 1889, dans le véhicule à roues en acier de Daimler, équipé d'un embrayage à friction conique (illustrations 3 et 4); dans le volant moteur vient s'imbriquer un cône de friction coulissant librement sur l'arbre moteur, fixé à l'arbre d'embrayage par le carter d'embrayage. Un ressort de compression pousse le cône dans la cavité conique du volant. Sous l'influence du manchon coulissant actionné dès lors que l'on appuie sur la pédale d'embrayage, le cône se retire de sorte que le flux d'efforts est interrompu.

Fig. 3: Conception de l'embrayage à friction conique le plus utilisé jusque dans les années vingt.

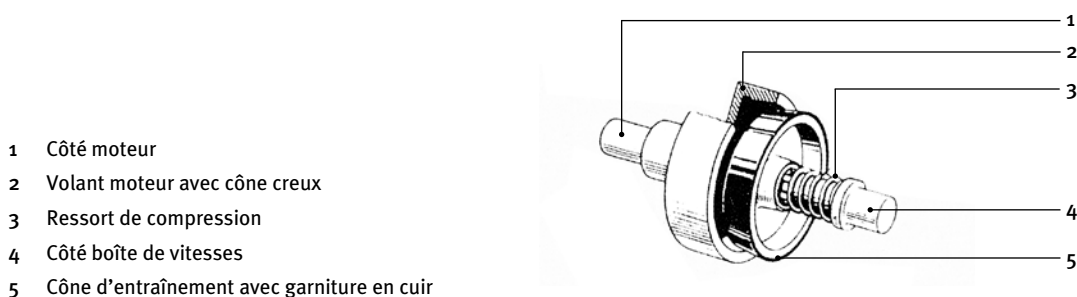
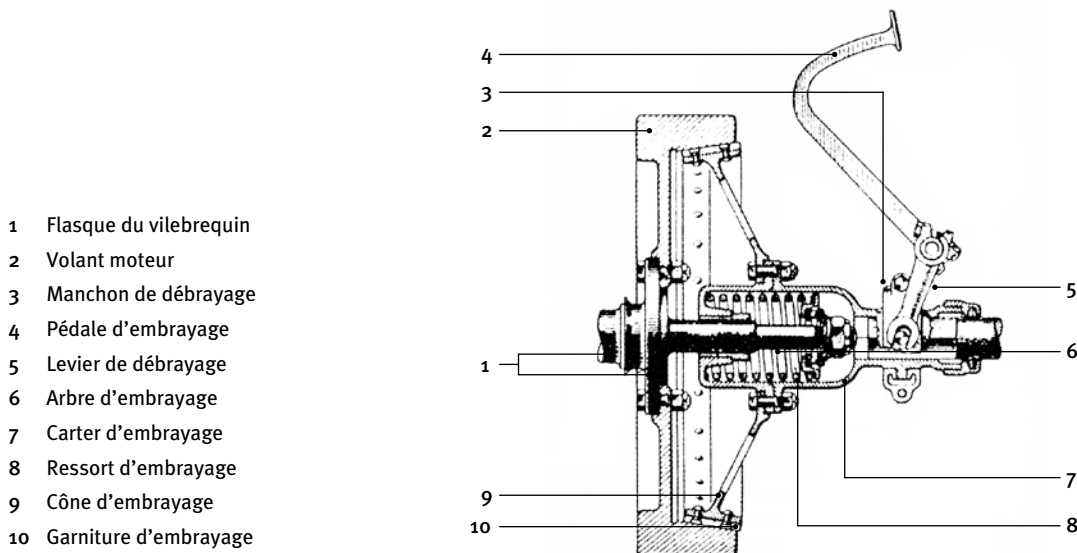


Fig. 4: Coupe longitudinale d'un embrayage à cône avec ses composants classiques : Cône d'embrayage et volant moteur avec cavité conique correspondante



Les courroies en poils de chameaux initialement utilisées comme garnitures de friction sur le cône furent très vite remplacées par des courroies en cuir, imprégnées d'huile de ricin les protégeant contre l'humidité, la graisse ou l'huile (illustration 5).

Les avantages que présentaient le rattrapage automatique du jeu et le ménagement de l'arbre de boîte de vitesses ne faisaient toutefois pas le poids face aux inconvénients : d'une part la garniture de friction s'usait très vite et demandait à être remplacée, ce qui conduisit à introduire des ressorts compensateurs d'usure ou des languettes de rappel sous la garniture en cuir, d'autre part les volants moteurs et les cônes d'embrayage étaient très volumineux ; cet encombrement avait pour conséquence qu'au moment du débrayage, la partie de l'embrayage censée s'immobiliser au plus vite après le débrayage pour pouvoir passer le rapport n'y parvenait que trop lentement du fait de son importante inertie massique.

Afin de combler cette carence, on ajouta vers 1910 un frein d'embrayage ou de transmission supplémentaire qu'il fallait généralement actionner au moyen d'une deuxième pédale – la plupart du temps combinée avec la pédale d'embrayage et fonctionnant sur un arbre commun. Nombreux étaient toutefois les conducteurs, qui, pour réguler la vitesse du véhicule, préféraient par commodité laisser patiner l'embrayage plutôt que de passer les rapports; cela entraînait une surchauffe du volant moteur par rapport au cône de friction, de son côté thermiquement protégé par la garniture en cuir. Le cône s'enfonçait alors trop profondément dans le volant moteur dilaté par la chaleur – et, après le refroidissement, s'y retrouvait coincé. Voir illustration 7.

C'est la raison pour laquelle, après la Première Guerre mondiale, après avoir également testé d'autres solutions, on finit par adopter des garnitures de friction métalliques toujours plus solides. La Neue Automobil Gesellschaft ou

NAG (Nouvelle Société Automobile) par exemple fabriqua un embrayage pourvu d'un cône découpé dans de la tôle, muni de pales de refroidissement à la façon d'un ventilateur et protégé par une garniture en poils de chameaux, qui s'engrenait dans un anneau bipartie avec garniture en cuir, vissé dans le volant moteur.

Ce dédoublement permettait de démonter l'anneau sans problème, ce qui simplifiait la maintenance et réduisait le nombre d'embrayages coincés.

La Société de moteurs Daimler produisit quant à elle un embrayage à friction ouvert doté d'un cône en aluminium brut. Pour que l'enclenchement des rapports se fasse sans à coups, il fallait que les surfaces de friction soient régulièrement humectées d'huile.

Du fait de leur simplicité, les embrayages à cônes prédominèrent jusque dans les années vingt. Difficiles à régler, les embrayages métalliques avec surfaces de friction cylindriques ne réussirent jamais à s'imposer. Seul l'embrayage Daimler à ressort à ruban, apparenté à l'embrayage cylindrique et utilisé à partir du tournant du siècle dans les voitures Mercedes, parvint à s'affirmer jusqu'à la Première Guerre mondiale ; il dut ce succès à l'extrême simplicité de sa conception.

Dans l'embrayage à ressort à ruban, une robuste bande élastique en spire était logée dans une excavation du volant moteur, dans lequel courait l'extrémité cylindrique de l'arbre de transmission. L'une des extrémités du ressort en spire était reliée au volant moteur, l'autre était fixée au couvercle du boîtier ressort. L'actionnement de la pédale faisait se tendre le ruban élastique qui s'enroulait de plus en plus fermement autour du tambour, entraînant l'arbre de boîte de vitesses – on était en position embrayée. Tendre le ruban ne requérait que peu d'efforts, et la tension obtenue permettait un embrayage doux (illustration 9). Tandis que la Société des moteurs Daimler développait son embrayage à ressort à ruban, le professeur anglais

Fig. 5: Embrayage conique avec garniture élastique en cuir

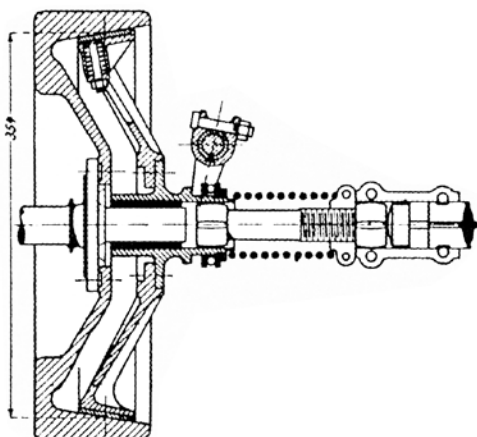


Fig. 6: Embrayage NAG avec cône à anneau creux bipartie qui facilita beaucoup la maintenance

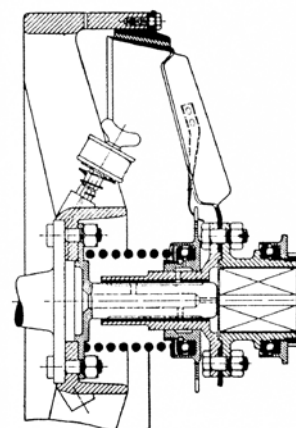


Fig. 7: Plan d'un châssis avec embrayage conique. L'embrayage est commandé par la pédale d'embrayage qui actionne le levier de débrayage tirant le disque d'entraînement en arrière contre la force de serrage du ressort de compression pour le désolidariser.

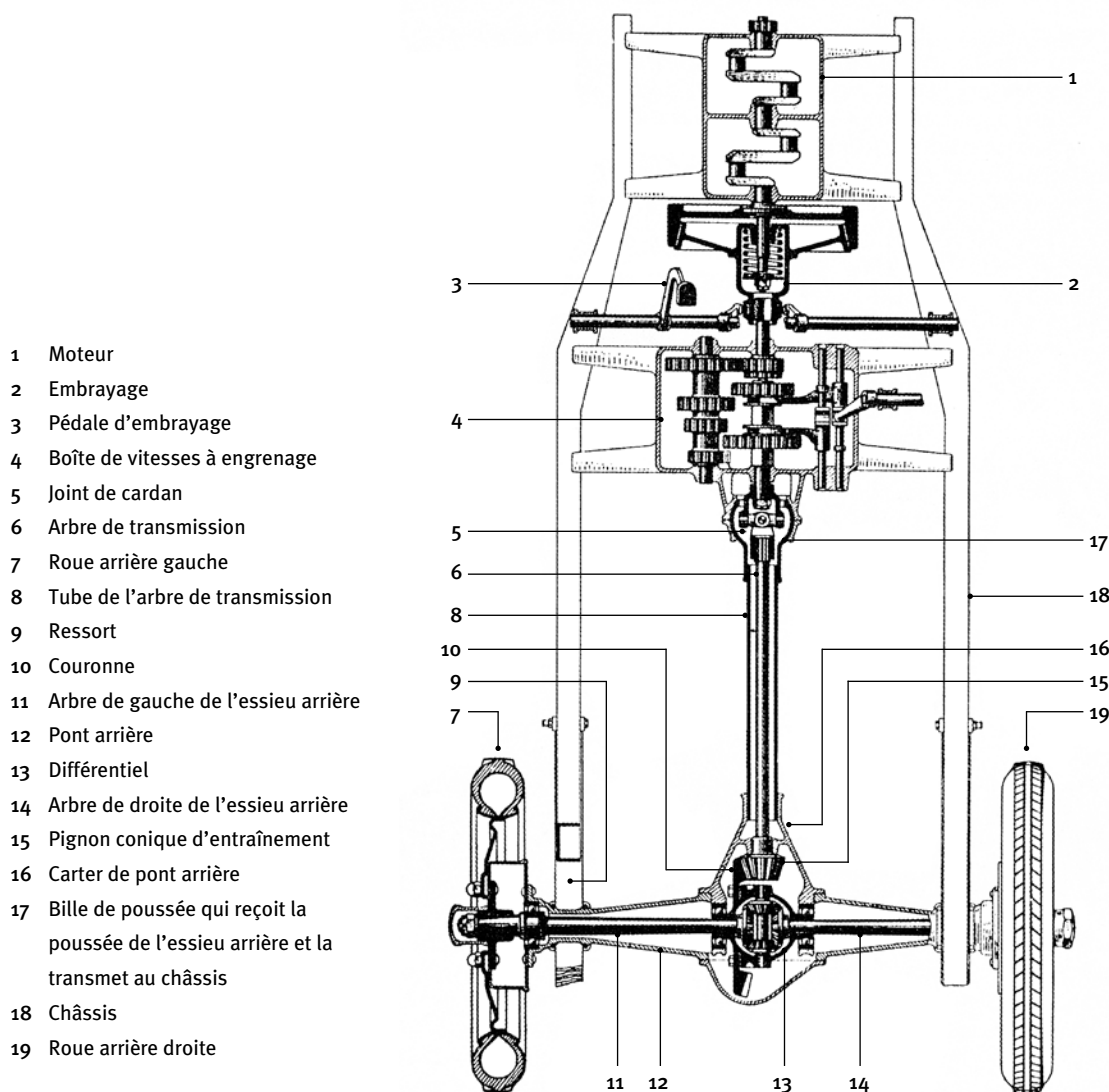


Fig. 8: Embrayage conique de la Société des moteurs Daimler avec cône en aluminium

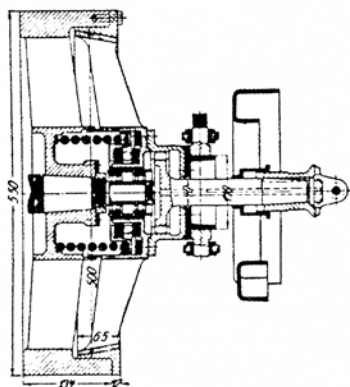
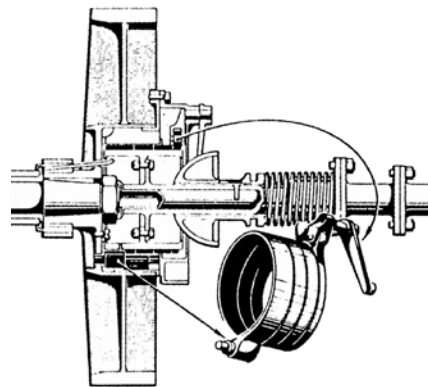


Fig. 9: Embrayage à ruban à ressort Daimler, produit, du fait de l'extraordinaire simplicité de sa conception, jusqu'à la Première Guerre mondiale.



Hele-Shaw expérimentait de son côté, à peu près à la même époque, un embrayage à disques multiples dont le fonctionnement nous porte à le considérer comme le précurseur de l'actuel embrayage monodisque sec. Les embrayages multidisques, souvent appelés aussi les embrayages « Westonche » du nom de leur premier fabricant en grande série, présentaient des avantages déterminants par rapport à l'embrayage à friction conique; leurs surfaces de friction s'avéraient nettement supérieures pour un encombrement moindre et un entraînement continu (illustration 10).

Dans l'embrayage multidisques, on avait, relié au volant moteur, un boîtier en forme de tambour, intérieurement pourvu de rainures dans lesquelles viennent s'encaster des disques au pourtour crénelé, leur permettant simultanément de tourner avec le vilebrequin ou le volant moteur et de se déplacer dans le sens de la longueur.

Un nombre identique de disques, cette fois crénelés à l'intérieur, est centré sur le moyeu relié à l'arbre d'embrayage. Ces disques coulissent axialement sur le moyeu. Lors du montage, les deux sortes de disques sont empilés en alternance; un sur deux étant cranté sur son pourtour, un sur deux étant cranté à l'intérieur; ainsi a-t-on une succession de disques entraînants et entraînés. Ces paires de disques, initialement constituées d'un disque en bronze et d'un disque en acier, étaient maintenues en pression par un système de plateau à ressorts. Tous les disques étaient simultanément sollicités en continu.

Grâce à l'augmentation progressive de la friction, l'embrayage à disques multiples fonctionnait tout en douceur. Avec le relâchement de la pression du ressort, les disques se désolidarisaient à nouveau, partiellement aidés par des languettes à ressort.

En variant le nombre de paires de disques, on obtenait à partir de cet embrayage de base, des modèles adaptés

aux différentes puissances des moteurs.

Les embrayages multidisques fonctionnaient aussi bien en bain d'huile ou de pétrole qu'à sec, sachant qu'on avait la plupart du temps recours à des garnitures de friction rivetées. L'embrayage à disques multiples avait cependant pour inconvénient majeur la lenteur du couple de traînée, notamment pour les embrayages en bain d'huile. L'insuffisante désolidarisation qui en résultait rendait difficile le passage des rapports (illustrations 12 et 13).

Le principe de l'embrayage monodisque, s'il fut présenté par De Dion & Bouton dès 1904, ne réussit à s'imposer aux Etats-Unis qu'au cours du grand boom automobile des années vingt, faute d'avoir pu disposer avant des matériaux adaptés. Cette percée fut également largement soutenue par les sous-traitants qui, à partir de la fin des années vingt, cédèrent des licences aux constructeurs européens. L'embrayage monodisque ne mit alors que quelques années à supplanter les embrayages à cône et disques multiples. Tandis que De Dion & Bouton enduisaient encore les surfaces de friction de l'embrayage à disque avec du graphite, la technologie connut une grande avancée avec les garnitures en amiante Ferodo utilisées depuis 1920 environ jusqu'à leur récent remplacement par des garnitures sans amiante. Les avantages de l'embrayage monodisque à sec étaient évidents: du fait de sa faible masse, le disque d'entraînement, s'immobilisait plus vite lors du débrayage, facilitant considérablement le passage des vitesses.

Le principe de construction des premiers embrayages monodisques à sec était encore relativement complexe. Le carter dans lequel était vissé le couvercle était fixé au volant moteur par des flasques. Ce couvercle accueillait des leviers poussés vers l'intérieur par des ressorts, qui transmettaient d'une poulie intermédiaire au disque de

Fig. 10: Le Professeur anglais Hele-Shaw fut le premier à expérimenter les embrayages multidisques

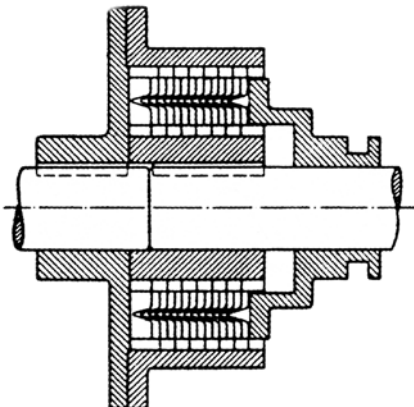


Fig. 11: Les disques d'embrayage interne (à gauche) et externe (à droite) constituent une paire dans un embrayage multidisques

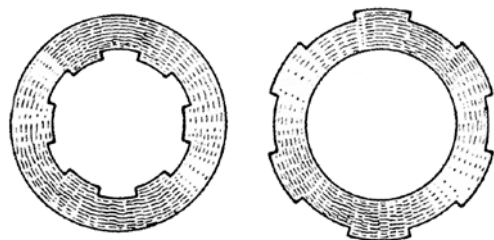




Fig. 12: Embrayage multidisques en bain d'huile

- 1 Volant moteur
- 2 Flasque du vilebrequin
- 3 Carter d'embrayage
- 4 Moyeu
- 5 Pédale d'embrayage
- 6 Disques d'embrayage
- 7 Plateau de pression
- 8 Ressort d'embrayage
- 9 Manchon de débrayage
- 10 Arbre d'embrayage
- 11 Point d'articulation

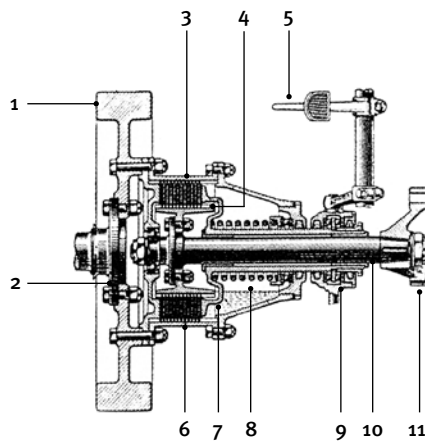


Fig. 13: Embrayage multidisques à sec avec garniture rivetée

- 1 Axe de guidage
- 2 Disque d'entraînement vers arbre d'embrayage
- 3 Plateau de débrayage avec manchon de débrayage
- 4 Ressort d'embrayage
- 5 Disques crantés intérieurement
- 6 Disques crantés extérieurement avec garniture

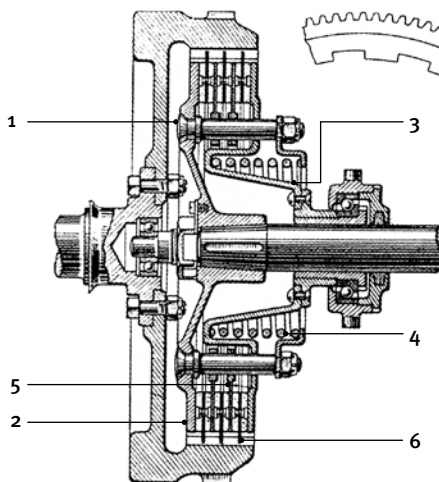
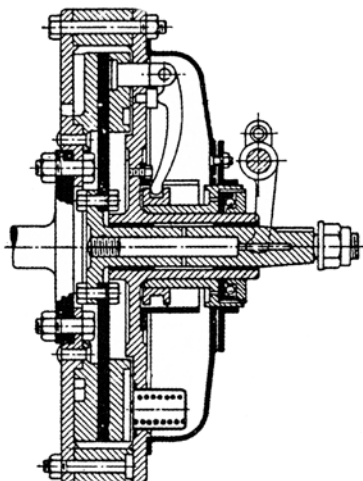


Fig. 14: De Dion & Bouton furent les premiers à s'être rendus compte que l'avenir appartiendrait aux embrayages monodisques.



frottement l'effort de pression et l'adhérence du volant moteur. Le disque de frottement était lié à l'arbre boîte de vitesses par l'intermédiaire d'un dispositif d'entraînement. L'embrayage/débrayage se faisait par l'intermédiaire d'une bague glissante qui faisait avancer et reculer un cône. Les flancs du cône activaient les leviers mis sous la pression des ressorts qui chargeaient et déchargeaient la poulie intermédiaire, réalisant ainsi l'embrayage ou le débrayage. Comme le cône tournait sur la bague immobile, il fallait lubrifier les pièces régulièrement.

L'embrayage à ressorts hélicoïdaux parvint cependant à s'imposer aussi. La force de pression était générée par des ressorts hélicoïdaux (illustration 15). On commença par expérimenter le système avec un ressort unique centré mais seule une version ultérieure équipée de plusieurs petits ressorts hélicoïdaux ou ressorts d'embrayage répartis tout autour du carter, fut fabriquée en série (illustration 16).

L'actionnement d'un manchon de débrayage coulissant sur l'arbre d'embrayage permettait, au moyen d'un levier, de comprimer les ressorts hélicoïdaux de sorte à libérer le plateau de pression et se trouver en position débrayée. On pouvait certes varier la force de pression en fonction du nombre de ressorts utilisés mais ce système avait un inconvénient de poids: au fur et à mesure où le régime augmentait, les ressorts hélicoïdaux situés à l'extérieur du plateau de pression se trouvaient poussés par la force centrifuge dans leurs pots. La friction qui en résultait entre le ressort et son pot modifiait la courbe caractéristique de pression. Plus le régime montait, plus l'embrayage fonctionnait mal. Qui plus est, le logement du levier de débrayage, sollicité en permanence s'usait très vite et les pots des ressorts quand les rapports étaient passés à haut régime, étaient enclins à céder sous la pression (illustration 17).

Pour ne plus être confronté à ce type de difficulté conceptuelle, on en vint à développer l'embrayage à diaphragme. Né en 1936 dans les laboratoires de recherches de General Motors, sa production en série commença aux Etats-Unis vers la fin des années trente. En Europe, il fit son apparition au lendemain de la Seconde Guerre mondiale, introduit notamment par les camions militaires américains GMC. Ce n'est que vers le milieu des années cinquante que les constructeurs automobiles européens commencèrent aussi, d'abord timidement puis plus fréquemment, à l'utiliser. La Porsche 356, la Goggomobil, la BMW 700 et la DKW Munga furent les premiers véhicules d'origine allemande à en être équipés. C'est en 1965, dans l'Opel Rekord que sa production en série commença (illustration 18).

Comme dans l'embrayage à diaphragme, ce dernier tourne en symétrie et demeure insensible au nombre de tours, son heure de gloire sonna dans les années soixante alors que les moteurs à haut régime avec arbre à cames en tête (Glas, BMW, Alfa-Romeo) se mirent à évincer les modèles avec commande par tige et culbuteur. A la fin des années soixante, la majorité des constructeurs avaient adopté l'embrayage à diaphragme. C'est finalement LuK qui aura, pour une large part, contribué par ses développements, à la production en série des embrayages à diaphragme.

Le remplacement de tout le système à ressorts hélicoïdaux et levier par un diaphragme qui remplissait les deux fonctions, apporta de nombreux avantages. Conception mécanique simple, force de pression constante, faible encombrement pour une compression importante (essentielle pour les moteurs transversaux) et stabilité du régime; autant d'atouts qui expliquent la pérennité et l'utilisation aujourd'hui quasi exclusive de l'embrayage à diaphragme – y compris pour les véhicules utilitaires, pourtant longtemps demeurés le domaine des embrayages à ressorts hélicoïdaux

Fig. 15: Premier modèle d'embrayage à ressorts hélicoïdaux avec ressorts d'embrayage perpendiculaires à l'axe central

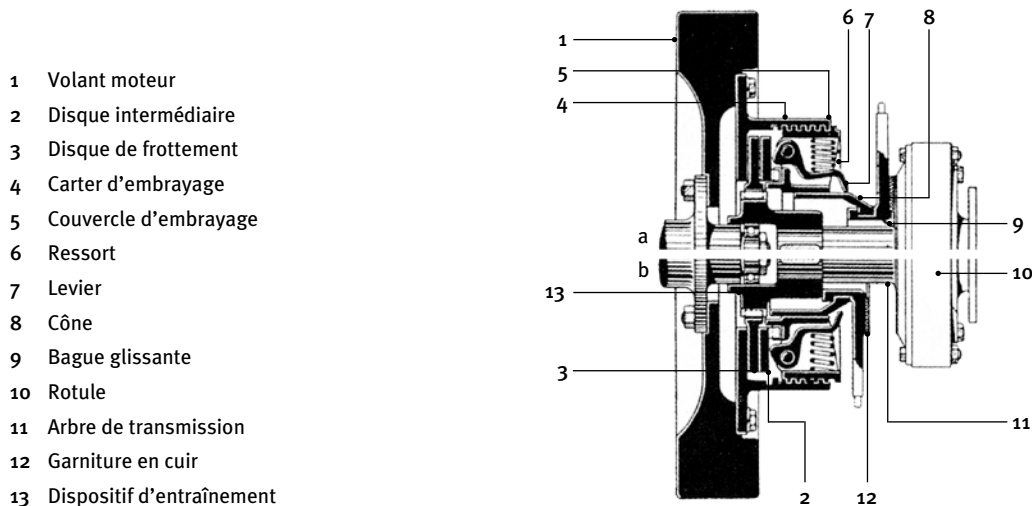


Fig. 16: C'est sous cette forme, avec ses ressorts disposés parallèlement à l'axe central, que l'embrayage à ressorts hélicoïdaux s'imposa jusque dans les années soixante

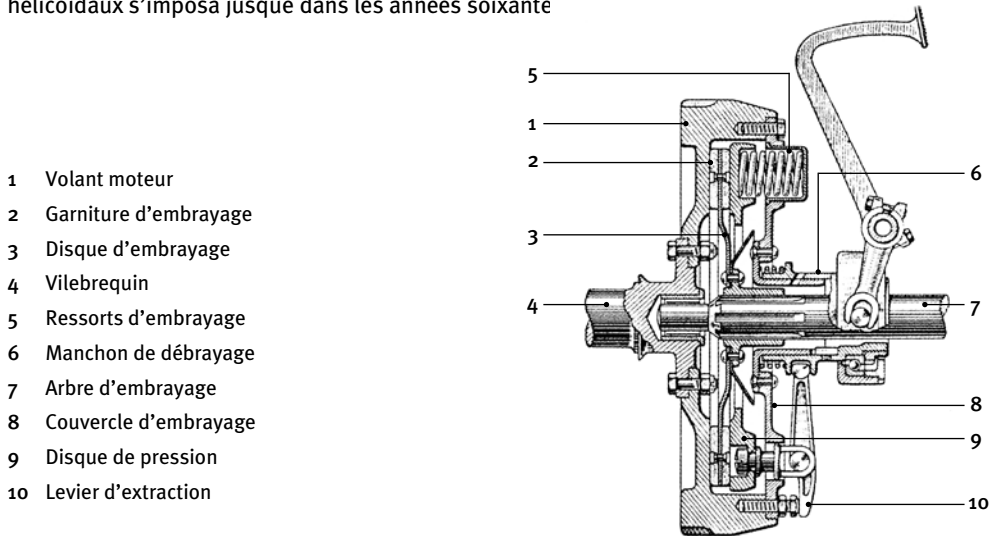


Fig. 17: En Angleterre et aux Etats-Unis, l'embrayage Borg & Beck avec localisation des ressorts à l'intérieur du couvercle d'embrayage, était le type le plus répandu.

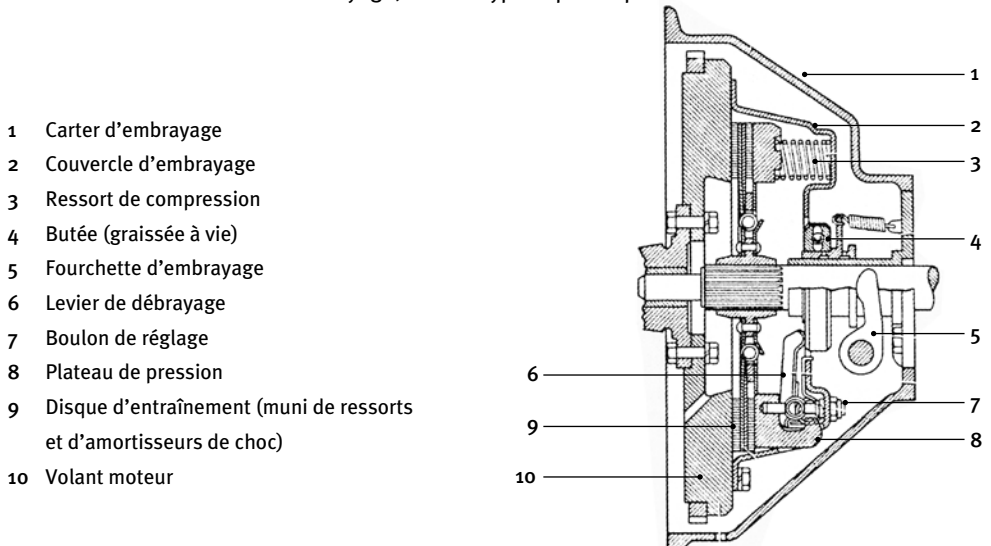
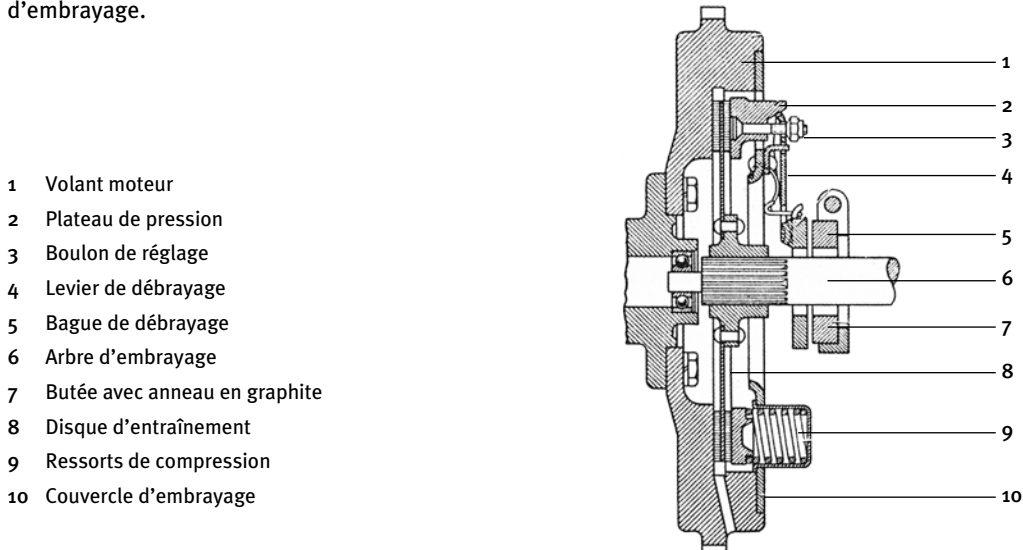


Fig. 18: ... tandis qu'en Europe continentale, s'imposèrent les modèles avec ressorts situés à l'extérieur du couvercle d'embrayage.



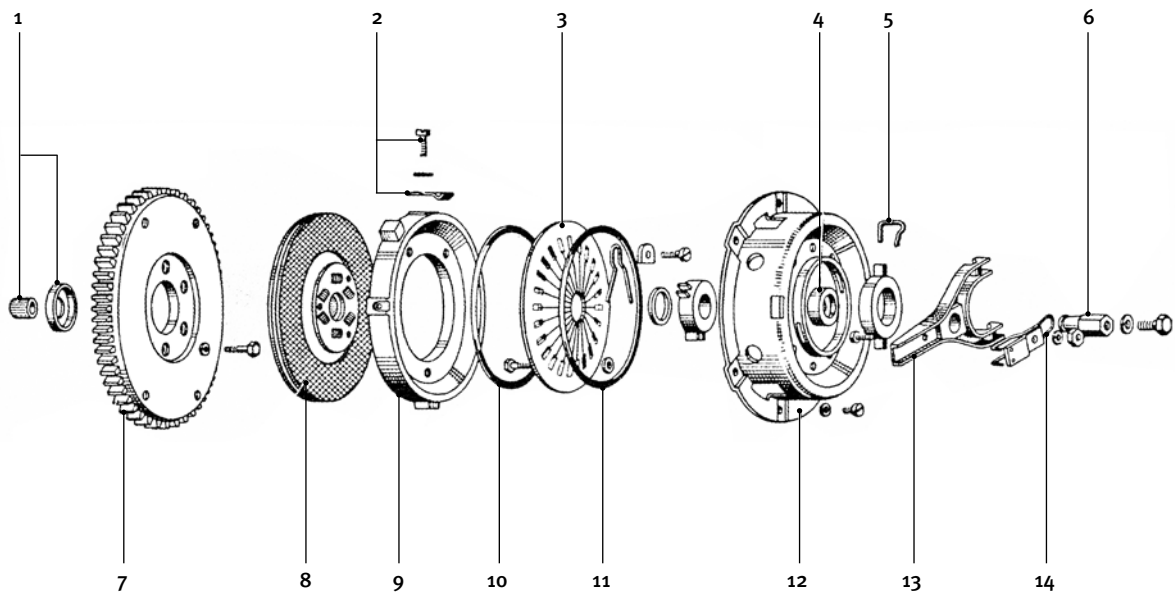
Parallèlement à cette évolution, le disque d'embrayage a, lui aussi, été optimisé. Les changements de régime permanents et les fluctuations de couple du moteur à combustion génèrent des vibrations, transmises à la boîte de vitesses par le vilebrequin, l'embrayage l'arbre d'entrée de boîte. Il en résulte des bruits et une importante usure du flanc de dent. La réduction de la masse d'inertie et l'allégement de la construction qui caractérisent les véhicules modernes intensifie ces effets, d'où le recours aux disques d'embrayage avec amortisseurs de torsion et ressorts de progressivité. Si pendant longtemps, il fallut de bons mollets pour débrayer – et voir se transmettre la force du pied par tringles et arbres - l'introduction de câbles de commande, à partir des années trente, et de commande hydrauliques à compter des années cinquante améliorèrent le confort du conducteur.

C'est également cette recherche de confort qui motiva l'automatisation du processus d'embrayage: en 1918, Wolseley ébaucha l'idée d'un embrayage électromagnétique. Au début des années trente, l'entreprise française Cotal fabriqua sa boîte de vitesses à pré-sélection avec embrayage électromagnétique, que l'on trouvait dans les voitures de luxe.

Les plus connus furent les embrayage centrifuges qui utilisaient la force centrifuge pour régler la force de pression en fonction du régime et les embrayages automatiques comme Saxomat (Fichtel & Sachs), LuKomat (LuK), Manumatik (Borg & Beck) et Ferlec (Ferodo).

Aucun ne réussit à percer; les boîtes de vitesses manuelles et automatiques avec convertisseur de couple leur firent une trop forte concurrence.

Fig. 19: Dans l'embrayage à disques multiples développé par Chevrolet et également appelé embrayage Chevrolet, les ressorts de compression furent remplacés par un diaphragme.



- |  |   |   |
|--|---|---|
| 1 Palier de guidage avant de l'arbre d'embrayage | 5 Ressort de maintien                                   | 10 Anneau de guidage interne                          |
| 2 Ressort de maintien avec vis                   | 6 Boulon sphérique maintenant la fourchette d'embrayage | 11 Anneau de guidage externe                          |
| 3 Diaphragme avec lames en forme de doigts       | 7 Volant moteur   | 12 Couvercle d'embrayage                              |
| 4 Butée  | 8 Disque d'entraînement                                 | 13 Fourchette d'embrayage                             |
|  | 9 Plateau de pression                                   | 14 Ressort de rétraction de la fourchette d'embrayage |

Avec l'aimable autorisation de la revue allemande «Markt für klassische Automobile und Motorräder» (marché des voitures et motos classiques).

## 2 L'embrayage entre le moteur et la boîte de vitesses -

### Schéma fonctionnel, composants

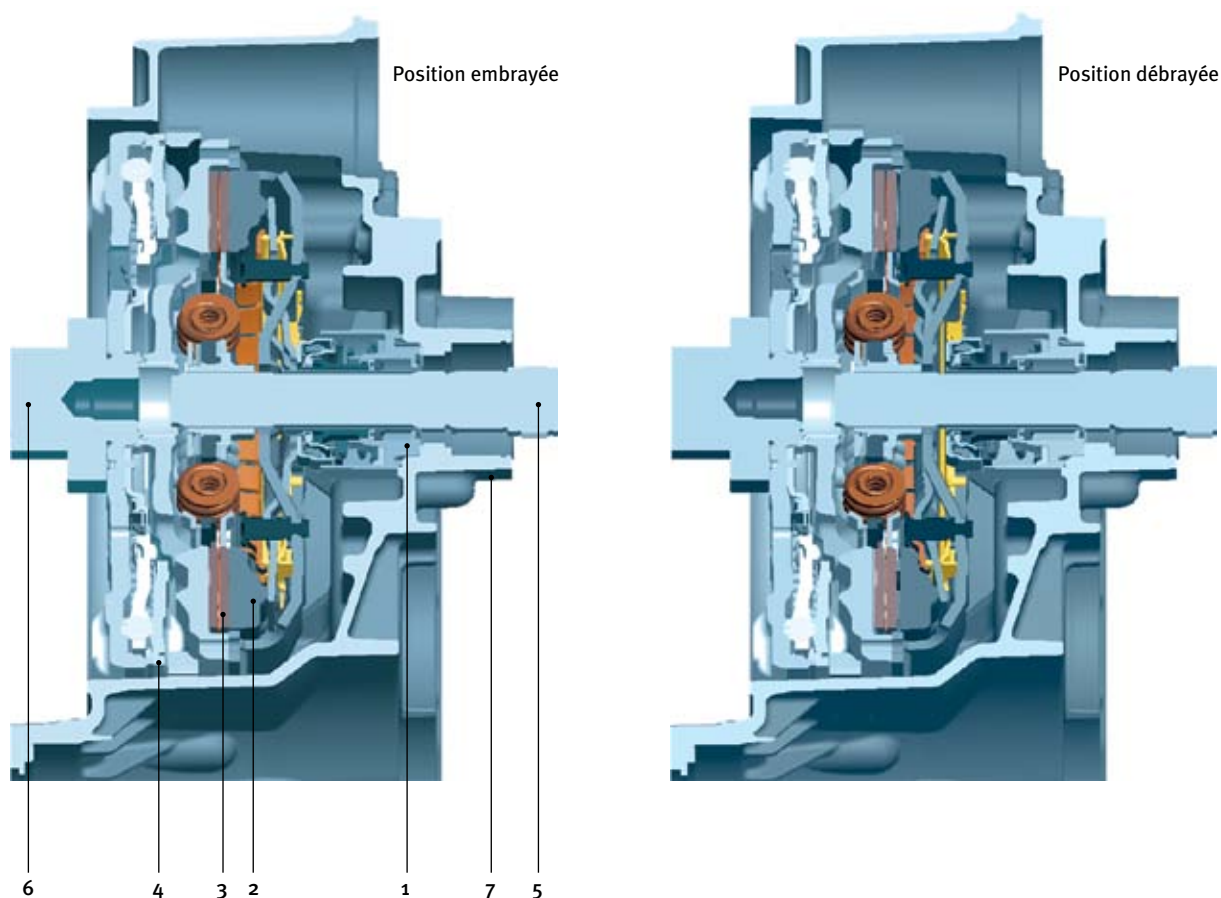
Les moteurs à combustion ne génèrent de puissance utile que sur une certaine plage de régime. Afin de profiter de cette plage en divers modes de conduite, les automobiles doivent être équipées d'une boîte de vitesses mécanique dont la liaison avec le moteur est aujourd'hui assurée de façon générale par des „embrayages monodisques à sec“. Exceptionnellement, on trouve des voitures de sport ou des camions particulièrement lourds équipés d'embrayages bidisques à sec. Par opposition aux embrayages dits « à sec » parce qu'entourés d'air, les embrayages humides fonctionnent dans un bain ou un nuage d'huile. Ces derniers sont principalement utilisés sous forme d'embrayages multidisques pour boîtes de vitesses automatiques, machines de construction, véhicules spéciaux et motos.

Les embrayages à diaphragme, tels que présentés sur le tableau 1, sont de plus en plus utilisés dans les véhicules utilitaires. Leurs avantages par rapport aux anciens systèmes d'embrayage classiques sont les suivants:

- Dimensions réduites
- Régime constant
- Efforts de débrayage limités
- Longévité accrue

L'illustration 20 représente un embrayage monté et en souligne la tâche primaire, à savoir sa fonction d'élément de liaison et de désolidarisation entre le moteur et la boîte de vitesses.

Fig. 20: La brochure intitulée « Cours sur l'embrayage LuK » vise à fournir les bases et à présenter les différentes technologies de l'embrayage moderne.



- |   |   |   |                           |   |                          |
|---|---|---|---------------------------|---|--------------------------|
| 1 | Butée hydraulique                               | 3 | Disque d'embrayage amorti | 6 | Extrémité du vilebrequin |
| 2 | Embrayage avec compensation automatique d'usure | 4 | Volant bimasse            | 7 | Cloche d'embrayage       |
|   |   | 5 | Arbre d'entrée de boîte   |   |                          |

Outre cette fonction de liaison et de désolidarisation du vilebrequin et de l'arbre d'entrée de boîte, un embrayage moderne doit aujourd'hui remplir d'autres tâches importantes.

Il doit:

- permettre un démarrage progressif et sans à coups
- garantir un changement rapide des vitesses
- empêcher la transmission des vibrations de torsion du moteur à la boîte de vitesses et donc réduire les bruits de grenaille et l'usure.
- servir de protection de surcharge pour toute la chaîne cinématique (p.ex. en cas d'erreur dans le choix des rapports).
- être résistant à l'usure et facile à remplacer.

**Le couple transmissible d'un embrayage monodisque se calcule selon la formule suivante:**

$$M_d = r_m \times n \times \mu \times F_a$$

sachant que:

- $r_m$  = rayon moyen de friction
- $n$  = nombre de garnitures
- $\mu$  = coefficient de friction des garnitures
- $F_a$  = force de pression
- $M_d$  = couple de torsion transmissible

**Exemple**

Diamètre intérieur de la garniture  $d_i = 134$  mm  
 Diamètre extérieur de la garniture  $d_a = 190$  mm  
 Force de pression  $F : 3500$  N

$$d_m = \frac{d_i + d_a}{2} = \frac{134 \text{ mm} + 190 \text{ mm}}{2} = 162 \text{ mm} \text{ diamètre moyen de friction}$$

$$r_m = \frac{d_m}{2} = \frac{162 \text{ mm}}{2} = 81 \text{ mm} = 81 \times 10^{-3} \text{ m} \text{ rayon moyen de friction}$$

Coefficient de friction  $\mu =$   
 0.27–0.32 (pour les garnitures organiques)  
 0.36–0.40 (pour les garnitures anorganiques)

$$M_d = (81 \times 10^{-3} \text{ m}) \times 2 \times 0.27 \times 3500 \text{ N}$$

$$M_d = 153 \text{ Nm}$$

Le couple de torsion transmissible d'un embrayage doit toujours être supérieur au couple moteur maximal.

Les principaux composants d'un dispositif d'embrayage complet sont:

Le plateau d'embrayage composé du carter (également appelé couvercle d'embrayage), du plateau de pression agissant comme partenaire de friction du disque

d'embrayage côté embrayage, du diaphragme qui génère la force de pression, de la languette tangentielle servant d'élément de liaison entre carter et plateau de pression, de la bague d'appui et du boulon-entretoise, qui servent à la fixation et au logement du diaphragme.

Le disque d'embrayage composé du moyeu, de l'amortisseur de torsion avec le dispositif de friction et l'axe de butée, des segments de progressivité et des garnitures de friction rivetées.

Le volant moteur avec le roulement pilote. Le système de débrayage avec la douille de guidage, la butée et la fourchette de débrayage.

**Le fonctionnement de l'embrayage**

L'illustration 20 page 13 montre la fonction de l'embrayage monodisque à sec avec diaphragme. En position embrayée le flux d'efforts venant du vilebrequin est transféré au volant moteur et au plateau de pression. Par l'intermédiaire du moyeu, le disque d'entraînement transmet le flux d'efforts à l'arbre d'entrée de boîte. Le diaphragme presse le plateau de pression coulissant axialement contre le disque d'entraînement et le volant moteur, établissant ainsi la liaison entre moteur et boîte de vitesses.

Pour interrompre le flux d'efforts, il suffit d'appuyer sur la pédale d'embrayage, ce qui par l'intermédiaire du mécanisme de débrayage (tringlerie, traction, hydraulique) pousse la fourchette de débrayage et sa butée vers l'embrayage contre les becs du diaphragme. Ceux-ci font office de levier. En poursuivant cette pression, le mouvement s'inverse, le plateau de pression est libéré et écarté du disque d'embrayage au moyen des languettes. Le disque d'embrayage tourne librement – moteur et boîte de vitesses sont désolidarisés. En assurant une augmentation régulière de la pression, les ressorts de progressivité garantissent un embrayage progressif.

S'il s'avère superflu d'un point de vue purement fonctionnel, l'amortisseur de torsion intégré dans le disque d'embrayage revêt dans la pratique une grande importance. Composé d'éléments de ressort et de friction adaptés au moteur, il harmonise les rotations irrégulières du vilebrequin et réduit ainsi les bruits de cliquetis ou de bourdonnement ainsi que l'usure prématurée des pièces de la boîte de vitesses.

Le roulement pilote sert à guider ou parfaire le logement de l'arbre d'entrée de boîte.

La douille de guidage centre la butée par rapport à l'embrayage.

Les joints à lèvre au niveau du moteur et de la boîte de

vitesse ont pour rôle de protéger la cloche d'embrayage contre toute intrusion d'huile. En effet, la moindre trace de graisse ou d'huile sur les garnitures détériore considérablement le coefficient de friction.

### L'embrayage à ressorts hélicoïdaux

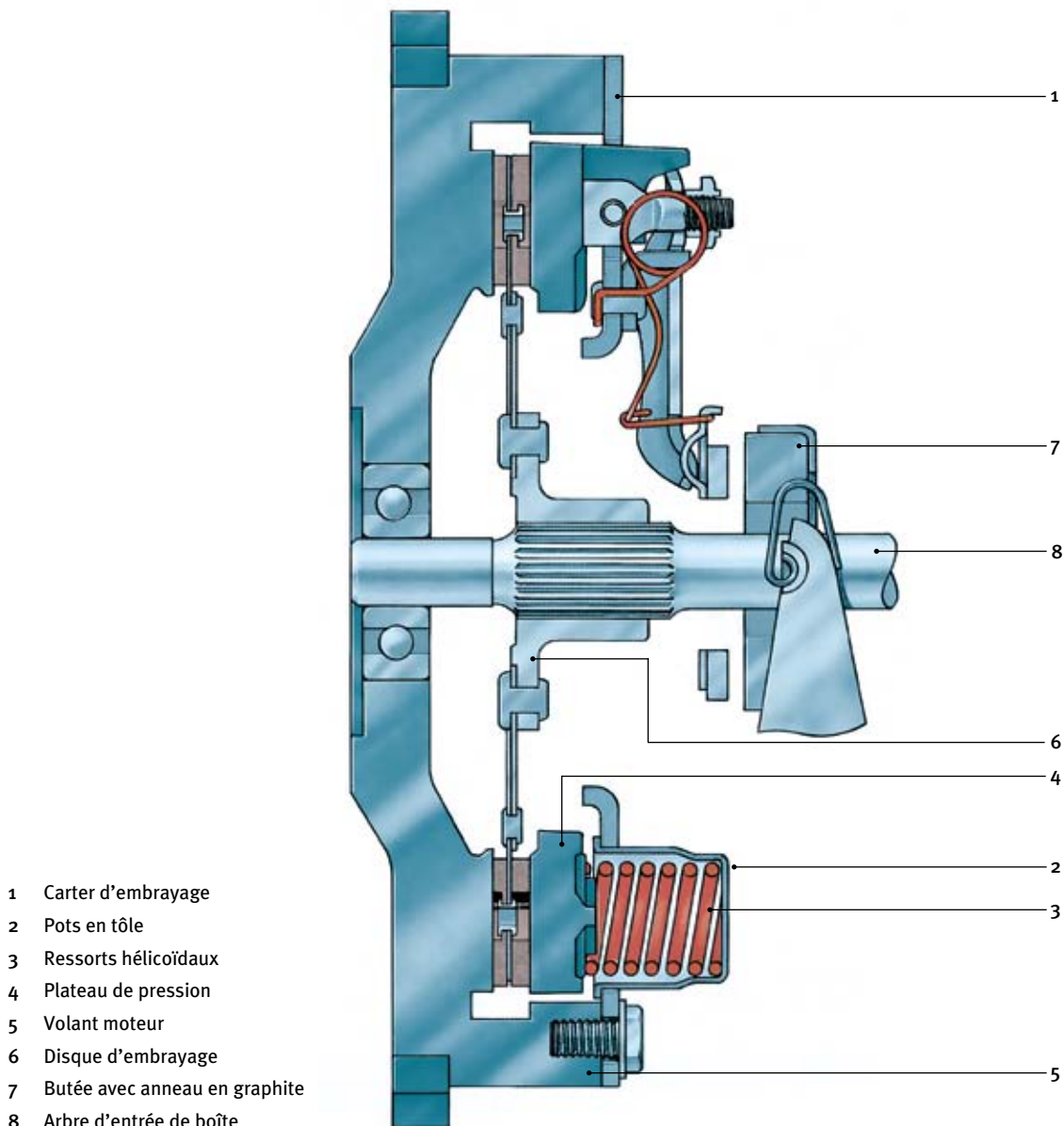
Par souci d'exhaustivité, nous avons représenté ici un modèle d'embrayage à ressorts hélicoïdaux / illustration 21). Des pots en tôle, fixés dans le carter accueillent les ressorts hélicoïdaux. Ces ressorts poussent le plateau de pression vers le volant moteur, comprimant ainsi le disque d'embrayage. Le couple peut alors via le volant moteur, le carter d'embrayage et le plateau de pression être transmis au disque d'embrayage couissant sur son axe, situé sur l'arbre d'entrée de boîte.

pièce assure les fonctions de pression et de levier, l'embrayage à ressorts hélicoïdaux nécessite impérativement un levier de débrayage et des éléments de pression séparés. En se levant, c'est le plateau de pression tout entier qui s'oppose à la force grandissante des ressorts. Cela explique que pour une force de pression identique, l'embrayage à ressorts hélicoïdaux requière une force pédale supérieure.

Par ailleurs, l'embrayage à ressorts hélicoïdaux présente les inconvénients supplémentaires de ne permettre qu'une faible constance de régime et d'être assez volumineux.

Tandis que dans l'embrayage à diaphragme, une seule

Fig. 21: Coupe d'un embrayage à ressorts hélicoïdaux



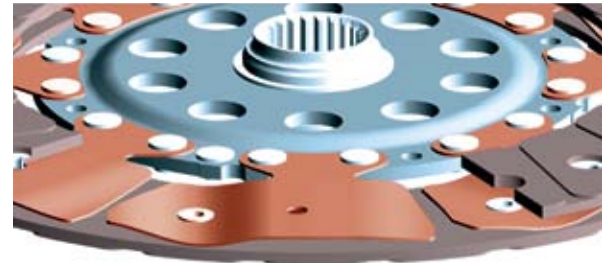
### 3 Le disque d'embrayage : élément de liaison principal de l'embrayage

#### Fonction

En tant que „partenaire de friction“ entre le volant moteur et le plateau de pression, le disque d'embrayage a pour fonction principale de transmettre le couple moteur à l'arbre d'entrée de boîte.

Pour harmoniser le régime moteur et celui de la boîte de vitesses et transmettre les couples moteurs, on utilise des garnitures de friction qui doivent satisfaire non seulement aux exigences techniques habituelles (faible usure, valeur de friction constante et formation progressive du couple) mais aussi aux règlements environnementaux en vigueur. Les garnitures utilisées sur les disques d'embrayage sont développées et fabriquées par LuK et répondent tant aux exigences légales que techniques. Les disques d'embrayage LuK se distinguent par leur progressivité adaptée aux exigences de confort du client, permettant la formation progressive du couple au moment du démarrage et un effort pédale ergonomique. Outre les modèles standard équipés de segments de progressivité simples, on utilise des segments doubles multi-ondulés pour les applications exigeantes. Le support efficace de ces garnitures permet de limiter au maximum l'usure et l'enfoncement sous influence thermique et donc l'altération à long terme de la progressivité.

Fig. 22: Outre les modèles standard équipés de segments de progressivité simples, on utilise des segments doubles multi-ondulés pour les applications exigeantes

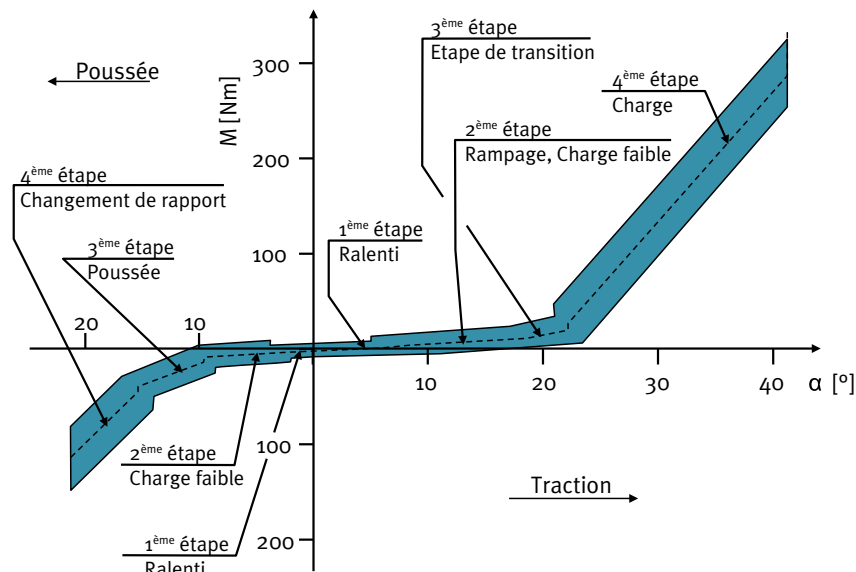


Segments simples



Segments doubles

Fig. 23: La courbe caractéristique d'un amortisseur de torsion peut être adaptée aux souhaits du client





## Disque d'embrayage avec amortisseur de torsion

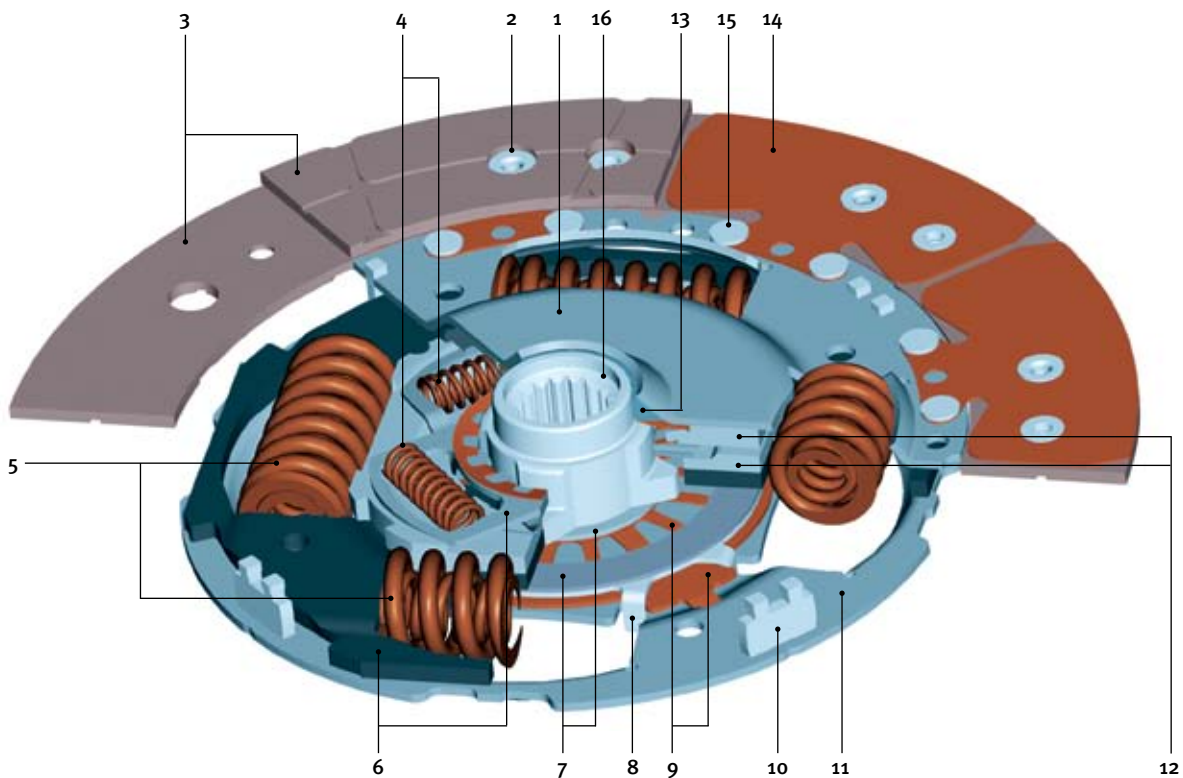
Pour réduire les irrégularités cycliques générées par le moteur à combustion pouvant occasionner des vibrations dans la boîte de vitesses et de ce fait des bruits indésirables, on utilise des amortisseurs de torsion. Si par manque de place ou pour des raisons de coûts, il n'est pas possible de monter un volant bimasse, le disque d'embrayage avec amortisseur de torsion s'avère la meilleure solution.

A l'heure où l'on cherche à alléger la chaîne cinématique, optimiser la consommation du moteur et minimiser les gaz d'échappement, la demande de confort, devenue parallèlement de plus en plus exigeante, réclame des systèmes de ressorts de progressivité avec dispositifs de contrôle de frottement ultra sophistiqués (illustration 24). Il en résulte la nécessité d'analyser et d'ajuster, pour tout mode de fonctionnement, une courbe caractéristique d'amortissement de torsion séparée, en définissant précisément la raideur des ressorts et l'amortissement des frottements (hystérèse).

Celle-ci peut être adaptée aux souhaits individuels des clients, depuis la courbe caractéristique de l'amortisseur de torsion à quatre ou cinq étapes avec un ajustement optimal de toutes les valeurs, jusqu'à la courbe caractéristique simple à une seule étape, en passant par des solutions intermédiaires avec pré-amortisseur, plus économiques (illustration 23).

Le centrage conique conçu par LuK compense l'éventuel désaxage entre moteur et boîte de vitesses et garantit, même en marche à vide, le rôle d'amortissement de l'amortisseur (pré-amortisseur) spécialement prévu pour ce mode de fonctionnement. Même au ralenti, ces pré-amortisseurs permettent un bon isolement des vibrations et contribuent ainsi à la réduction de la consommation de carburant et des émissions de gaz.

Fig. 24: Aujourd'hui, on utilise des systèmes de ressorts de progressivité ultra sophistiqués.



- |   |  |   |  |    |  |    |                                   |
|---|--|---|--|----|--|----|-----------------------------------|
| 1 | Disque d'entraînement  | 5 | Ressorts de pression (amortisseur de charge) | 10 | Tôle entretoise  | 14 | Segment de progressivité          |
| 2 | Rivet de garniture   | 6 | Flasques du moyeu                            | 11 | Contre-disque  | 15 | Rivet de segment de progressivité |
| 3 | Garniture d'embrayage  | 7 | Rondelle de friction                         | 12 | Cage d'amortisseur (amortisseurs de ralenti ou de faible charge) | 16 | Moyeu                             |
| 4 | Ressorts de pression (amortisseurs de ralenti ou de faible charge) | 8 | Disque d'appui                               | 13 | Cône de centrage   |    |                                   |
|   |  | 9 | Diaphragmes                                  |    |  |    |                                   |

### Ajustement des caractéristiques

Pour définir les caractéristiques de l'amortisseur de torsion requises, on dispose d'équipements de mesure et de simulation des plus modernes et d'un savoir-faire de pointe très étendu.

Les chaînes cinématiques des véhicules à optimiser sont équipées de capteurs qui enregistrent et évaluent les différents états de torsion ; un modèle de simulation est élaboré et comparé aux valeurs obtenues.

Après avoir obtenu la meilleure courbe caractéristique possible, calculée en modifiant les paramètres, en avoir contrôlé et validé la fonctionnalité au moyen de prototypes montés dans le véhicule, il est mis à la disposition du client un amortisseur de torsion optimisé répondant exactement à ses exigences (illustration 25).

### Disque d'embrayage pour volant bimasse

Les volants bimasse utilisés pour réduire les vibrations de torsion dans la chaîne cinématique sont équipés d'un disque d'embrayage soit pourvu d'un amortisseur de torsion à une étape, soit sans aucun amortisseur à condition que les conditions correspondantes soient remplies. Dans ce dernier cas, on utilise un disque d'embrayage rigide ou un disque d'embrayage avec compensation de désaxage.

Du fait des tolérances respectivement admises pour le moteur et la boîte de vitesses, il se produit, notamment pour les arbres d'entrées de boîtes sans roulement pilote, un désalignement entre le vilebrequin et la boîte de vitesses. Si on ajoute des disques d'embrayage rigides à ce phénomène, il est possible dans certains cas critiques que ce désalignement génère des bruits en marche à vide et accélère l'usure des profils. LuK solutionne ce problème en proposant un disque d'embrayage capable de compenser ce décalage axial. En effet, il permet en marche à vide ou à bas régime, un déplacement radial du moyeu et compense donc les éventuelles forces radiales exercées. Les ressorts de compression du disque d'embrayage avec système de compensation de décalage axial fonctionnent seulement à bas régime.

Fig. 25: Vibrations en marche à vide - Pour définir les caractéristiques de l'amortisseur de torsion requises, on utilise les équipements de mesure les plus modernes.

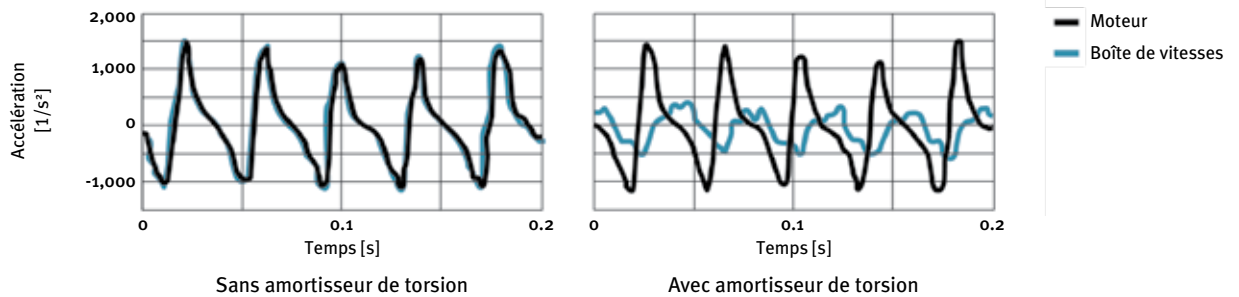


Fig. 26 a: Conception du disque d'embrayage rigide

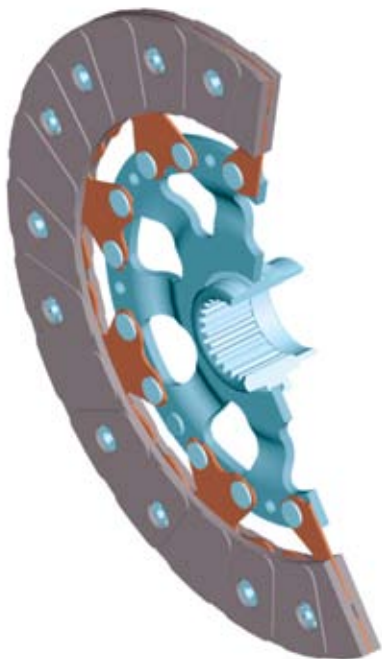


Fig. 26 c: Conception du disque d'embrayage avec compensation automatique de désaxage



Fig. 26 b: Conception du disque d'embrayage avec amortisseurs de charge

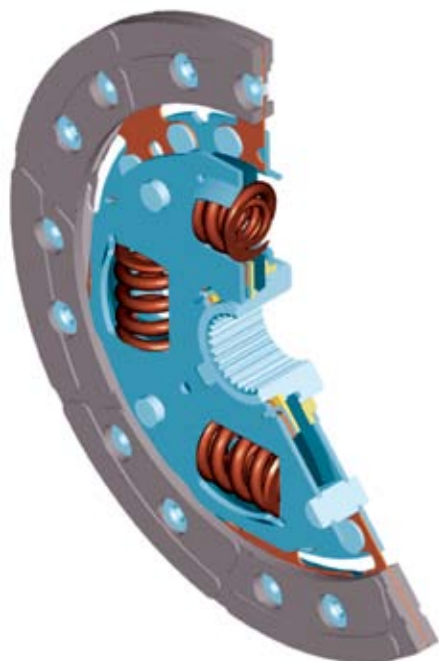
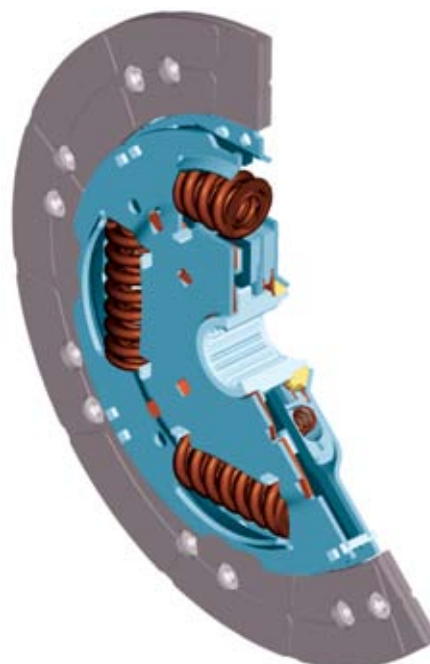


Fig. 26 d: Conception du disque d'embrayage avec amortisseur de ralenti, de charge faible et de charge



## 4 Le plateau de pression – Modèles et courbes caractéristiques

### Fonctions

Le plateau de pression constitue avec le volant moteur et le disque d'embrayage, un système de friction. Il est fixé au volant moteur par les vis du carter et assure la transmission du couple moteur via le disque d'embrayage à l'arbre d'entrée de boîte. L'un des principaux composants des embrayages modernes pour véhicules est le diaphragme. Il a pour ainsi dire complètement remplacé les ressorts hélicoïdaux habituellement utilisés dans les embrayages des voitures de tourisme.

### Le diaphragme

Le diaphragme s'avère l'élément central de tous les modèles présentés. Il donne une construction beaucoup plus plate et plus légère que les ressorts hélicoïdaux. A noter, l'importance particulière de la courbe caractéristique du diaphragme qui diffère très nettement de celle, linéaire, d'un ressort hélicoïdal.

Le diamètre intérieur et extérieur du diaphragme dimensionné sur mesure, son épaisseur, l'angle de montage et la dureté de son matériau donnent une courbe caractéristique telle la ligne continue représentée dans le premier diagramme de l'illustration 27.

Tandis que la force de pression générée par un embrayage à ressorts hélicoïdaux diminue de façon linéaire au fur et à mesure de l'usure des garnitures, celle d'un embrayage à diaphragme commence par augmenter avant de fléchir. Dans ce deuxième cas de figure, il est prévu que l'embrayage se mette à patiner avant que les garnitures ne dépassent un seuil d'usure donnée. Ainsi la nécessité de remplacer l'embrayage se manifeste-elle suffisamment tôt, avant que d'autres pièces ne soient endommagées à leur tour, par exemple du fait de l'érosion des rivets de garnitures. La courbe caractéristique du diaphragme demande par ailleurs moins d'efforts pédale que celle des embrayages à ressorts hélicoïdaux.

### Courbes d'embrayages caractéristiques et diagramme des forces

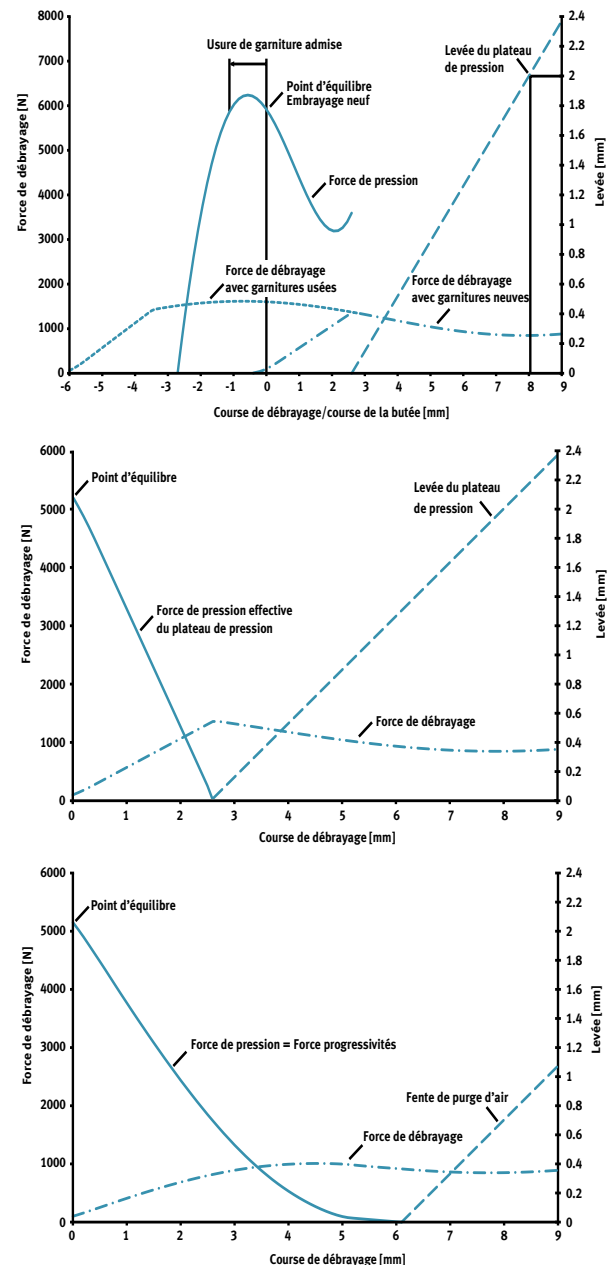
Les courbes d'embrayage caractéristiques et diagrammes des forces exposés dans l'illustration 27 sont donnés à titre d'exemple. Ils ne correspondent pas directement aux différents types d'embrayages présentés, leur valeur étant d'ordre général.

Dans les trois cas, l'axe de gauche se rapporte à la force, l'abscisse, en bas, à la course de débrayage (et à la course de la butée pour le diagramme de gauche) tandis que l'axe de droite indique la levée du plateau de pression.

La ligne continue du diagramme de gauche représente la course de la force de pression. Quand le disque d'embrayage est neuf, la force élastique du diaphragme dépasse son seuil maximal (point d'équilibre embrayage). Au fur et à mesure où les garnitures désépaississent, la force de pression du diaphragme augmente jusqu'à son maximum pour ensuite redescendre, dans la limite de l'usure des garnitures admise, et revenir au niveau de la force générée en l'état neuf.

En cours de vie, le disque d'embrayage perd environ de 1,5 à 2 mm de son épaisseur. Les forces de pression sont calculées de sorte à ce que l'embrayage se mette à

Fig. 27: Courbes d'embrayages caractéristiques/diagramme des forces sans progressivité/ diagramme des forces avec progressivité



patiner juste avant que les rivets des garnitures d'embrayage ne frottent et n'éraflent le volant moteur, ce qui causerait des dommages supplémentaires.

Tandis que la ligne en traits et pointillés traduit la course de la force de débrayage, c'est-à-dire la force nécessaire pour actionner un embrayage neuf, celle en pointillés traduit la force de débrayage après usure des garnitures. La force de débrayage commence par augmenter jusqu'à ce que le point d'équilibre soit atteint, pour ensuite lentement redescendre. Pour plus de clarté dans la représentation du rapport entre la force de pression et la course de butée nécessaire au débrayage, la courbe de la force de débrayage sous usure des garnitures a été déplacée vers la gauche. Aux forces de pression plus élevées quand, sous usure des garnitures, le point d'équilibre est atteint, correspondent des forces de débrayages également plus élevées.

La ligne constituée uniquement de traits représente la course de la levée du plateau de pression par rapport à celle de la butée. On voit ici très clairement la traduction de l'effet de levier dans l'embrayage: 8 mm de course de débrayage correspondent à 2 mm de levée de plateau, soit un rapport de 4 : 1 (sans tenir compte des élasticités présentes dans l'embrayage). Le même rapport vaut pour les forces de pression et de débrayage exposées précédemment.

Les illustrations au centre et à droite reflètent la différence entre les mesures faites sur un embrayage avec et

sans progressivité du disque d'embrayage. Les avantages de la progressivité que sont douceur de l'embrayage et meilleure tenue à l'usure. Sans progressivité, la force de pression effective (ligne en continue) baisse de façon linéaire et relativement abrupte lors du débrayage. Dans le sens contraire, elle monte tout aussi abruptement et subitement lors de l'embrayage.

L'illustration de droite en revanche montre que la course de débrayage disponible durant laquelle la force de pression diminue, est deux fois plus grande. Dans le sens contraire, la force de pression, lors de l'embrayage, monte progressivement en courbe, ce qui s'explique par la compression initiale requise des ressorts de progressivité. La descente/montée plus douce de la courbe de force de pression (ligne continue) sert à limiter le pic prononcé de la force de débrayage requise. Aussi longtemps que le plateau de pression est solidaire du disque d'embrayage, la force de pression et la force de progressivité sont identiques.

### Conceptions

Selon sa construction et la façon dont il est commandé, on distingue deux types d'embrayage à diaphragme:

- embrayage à diaphragme poussé
- embrayage à diaphragme tiré

### Embrayage à diaphragme standard

L'illustration 28 présente un embrayage à diaphragme standard. Le carter englobe le diaphragme et le plateau

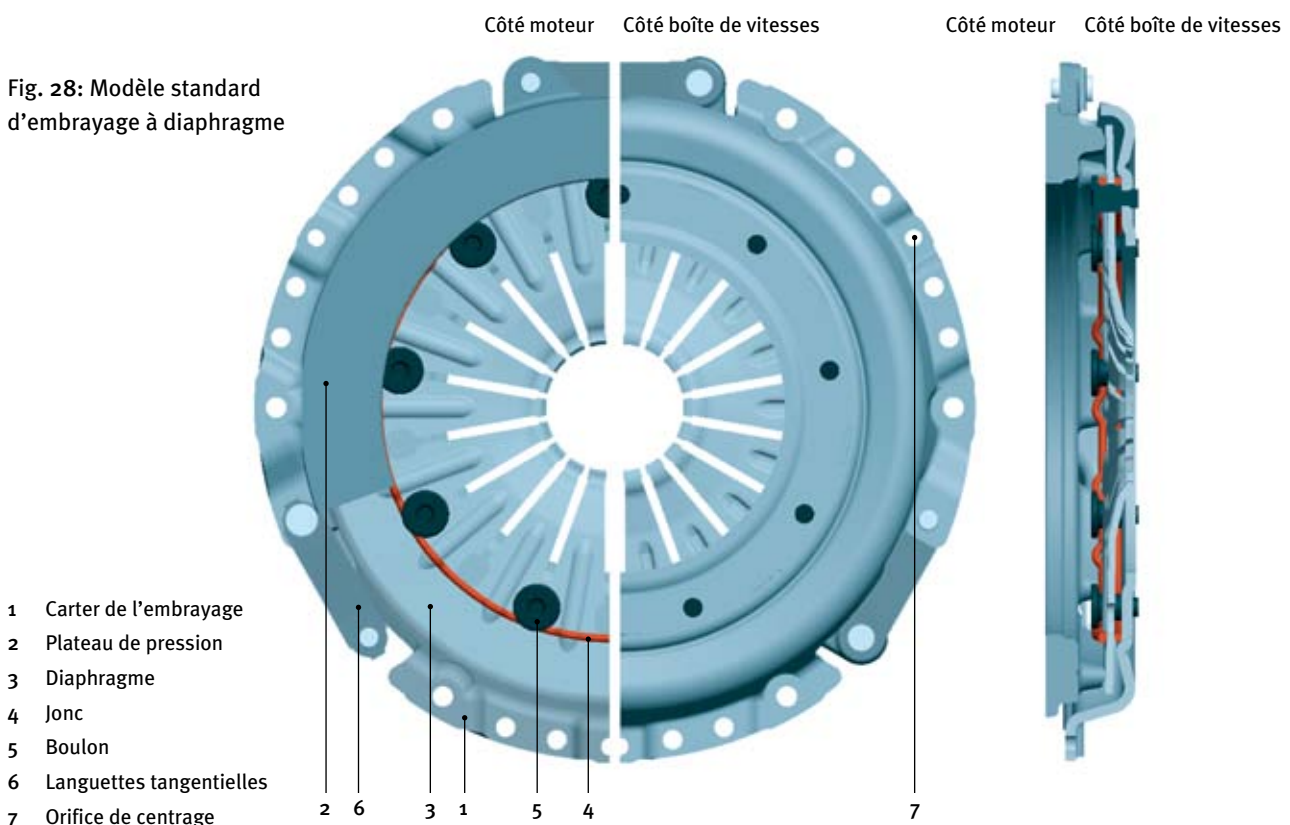


Fig. 28: Modèle standard d'embrayage à diaphragme

de pression. Le plateau de pression est relié au carter par les languettes tangentielles. Celles-ci sont rivetées sur trois tenons du plateau de pression. Les languettes tangentielles ont trois fonctions principales.

- Écartement du plateau de pression lors du débrayage
- Transmission du couple moteur du carter au plateau de pression
- Centrage du plateau de pression

Le diaphragme est encastré entre le plateau de pression et le carter d'embrayage de manière à générer la force de pression nécessaire pour entraîner par adhérence le disque d'embrayage comprimé entre le volant moteur et le plateau de pression. Pour ce faire, il s'appuie sur un embouti et un jonc situés dans le carter. Au niveau de son bord extérieur, il repose sur le plateau de pression. Dès lors que l'embrayage est actionné, la butée appuie sur les bouts des doigts du diaphragme. Le plateau de pression s'écarte, libérant le disque d'embrayage.

### Embrayage à diaphragme avec languettes élastiques

L'embrayage à diaphragme reproduit sur l'illustration 29 est un perfectionnement du modèle standard présenté sur l'illustration 28 page 21.

Les languettes élastiques sont conçues de sorte à tirer les goujons vers l'extérieur si bien que le diaphragme même en cas d'usure, se trouve maintenu sans jeu dans son logement. L'avantage en est que la levée de plateau reste constante pendant toute la durée de vie du mécanisme.

### Embrayage à diaphragme avec ressort compensateur d'usure

L'embrayage à diaphragme avec ressort compensateur d'usure est un modèle spécial (illustration 30). L'appui du diaphragme sur le carter de l'embrayage est réalisé par une bague et le contre pallier sert de ressort d'appui. Cette conception permet de loger le diaphragme à compensation automatique d'usure sans jeu ni perte. Hormis cet aspect, ce modèle ne diffère pas des autres modèles présentés sur les illustrations 28, page 21 et 29.

### Embrayage à diaphragme sans boulons

Un autre modèle spécial est l'embrayage à diaphragme sans boulons présenté sur l'illustration 31. Tout comme l'embrayage à diaphragme avec ressort compensateur d'usure, l'appui du diaphragme sur le carter de l'embrayage est réalisé par une bague. Comme dans les embrayages à boulons, c'est une bague en fil de fer qui sert de contre palier.

Fig. 29: Embrayage à diaphragme avec languettes élastiques

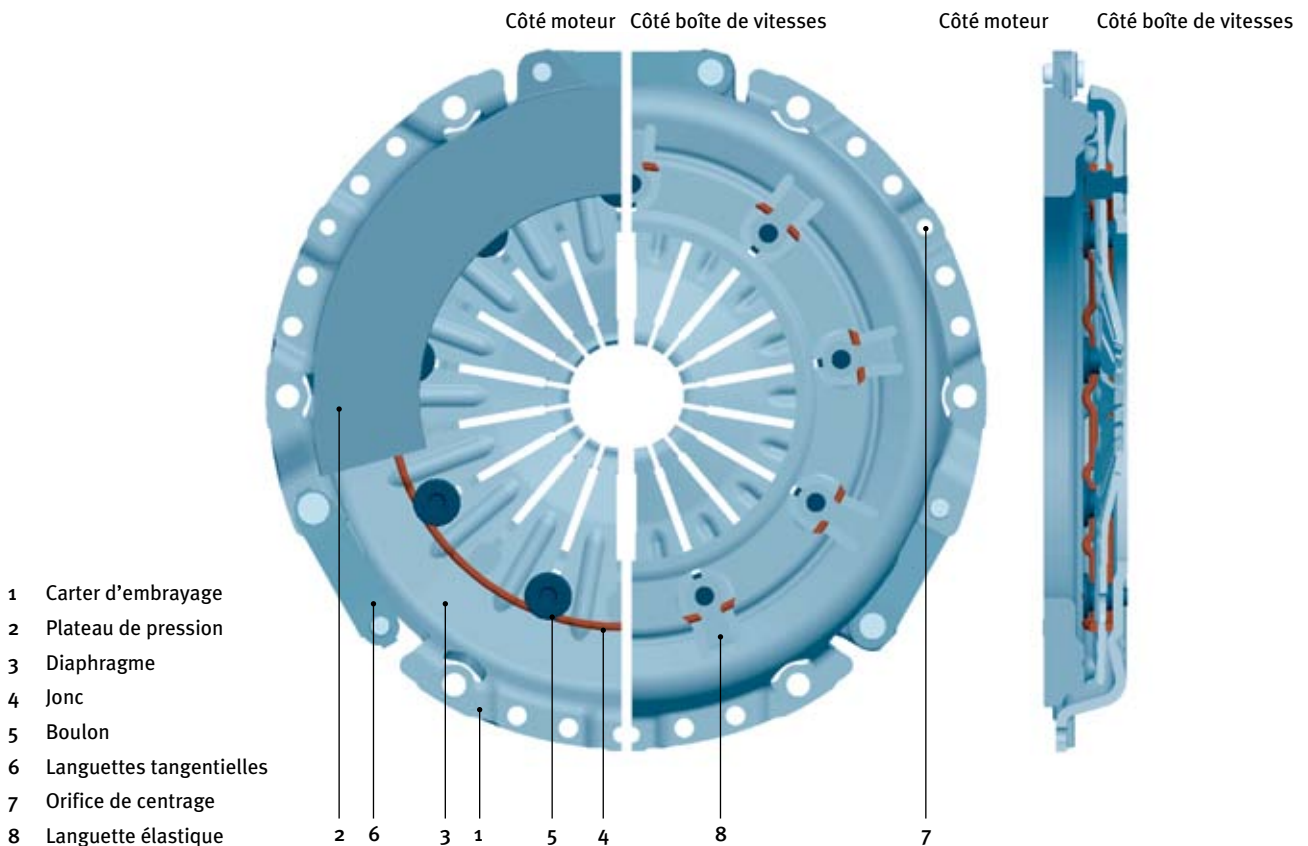


Fig. 30: Embrayage à diaphragme avec ressort d'appui

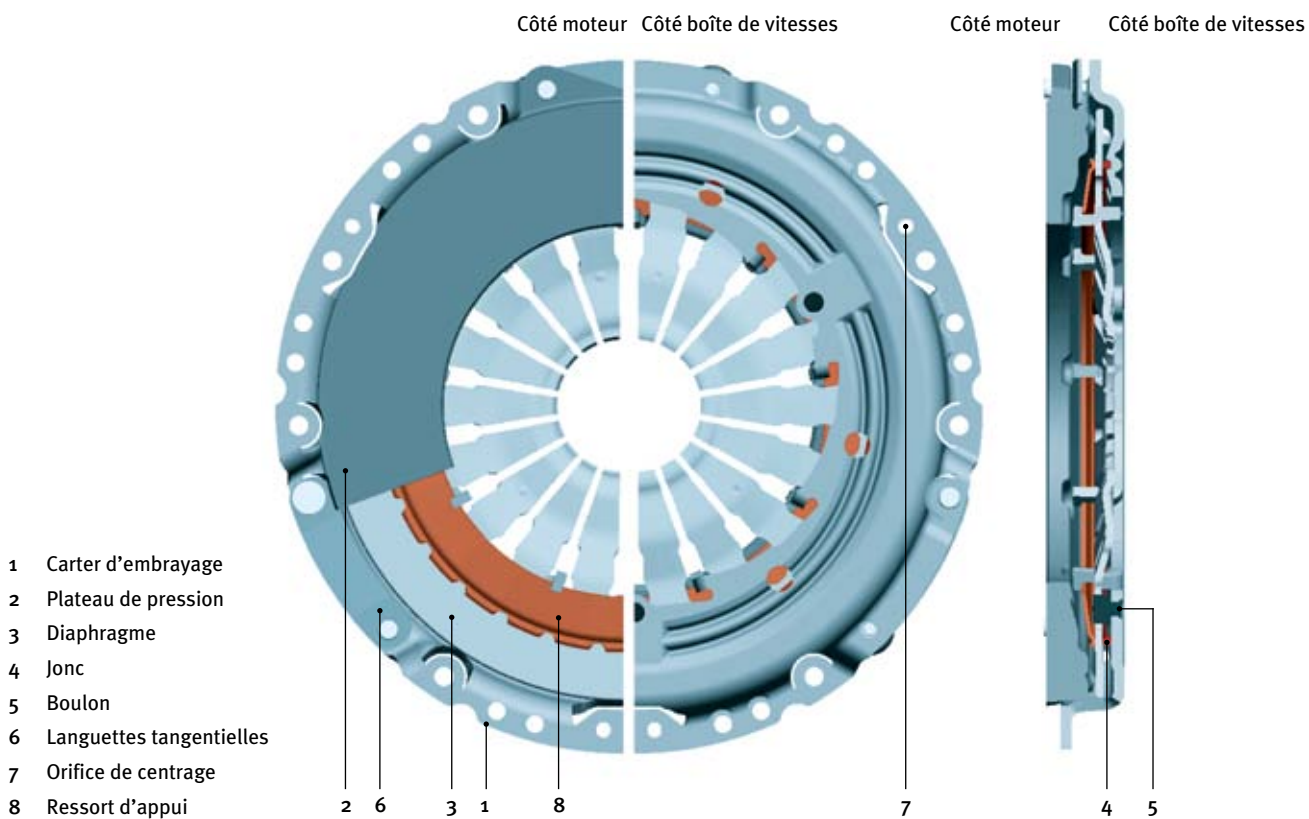
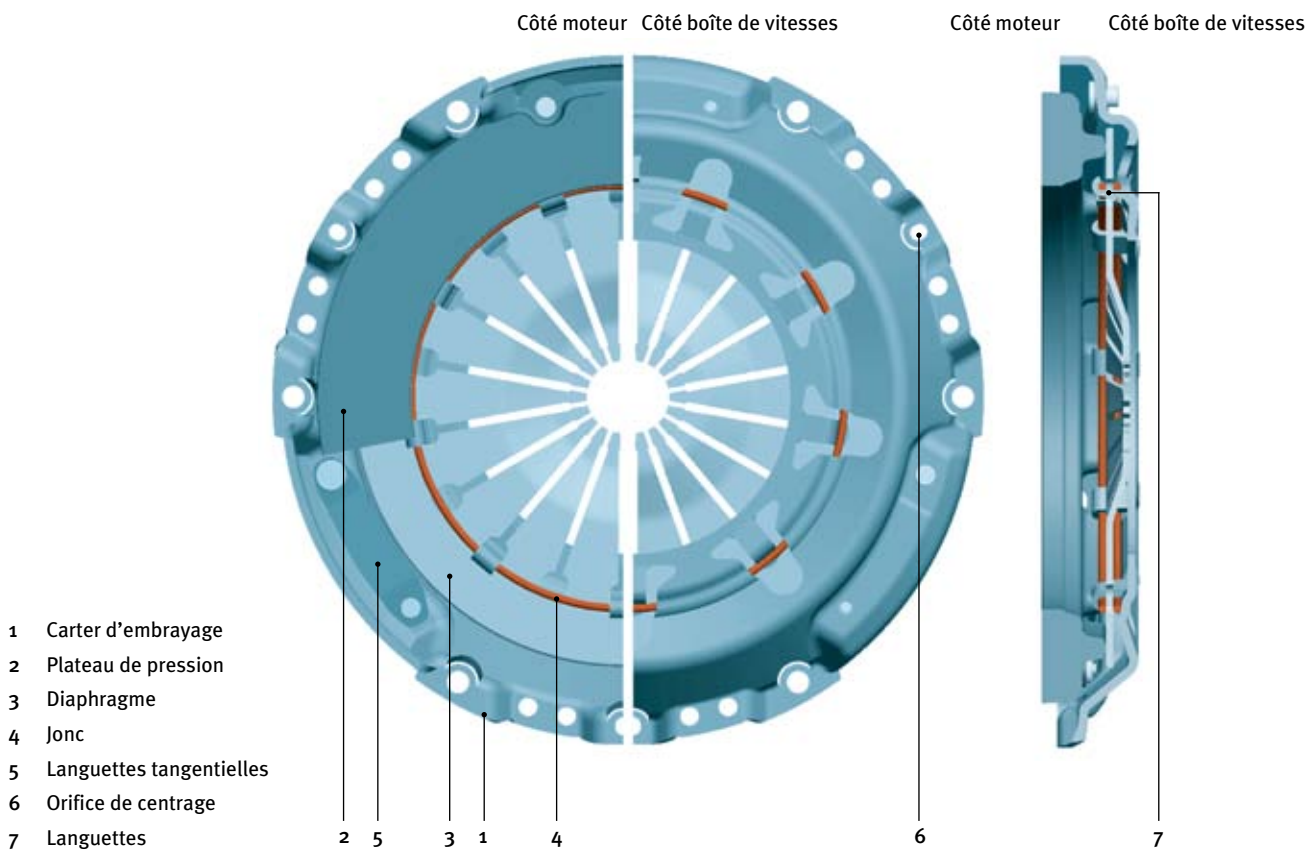


Fig. 31: Embrayage à diaphragme sans boulons



La particularité réside dans le fait que la bague est maintenue par les languettes formées par le couvercle de l'embrayage. Comme pour l'embrayage à languettes, les languettes sont précontraintes ; leur précontrainte permet la compensation automatique de l'usure du logement du diaphragme et garantit l'absence de jeu du diaphragme pendant toute la durée de vie de l'embrayage.

### Embrayage à diaphragme tiré

L'embrayage représenté sur l'illustration 32 est un embrayage à diaphragme tiré. Il se distingue de l'embrayage à diaphragme poussé par la position inversée du diaphragme. L'embrayage de ce modèle doit être tiré.

Ce type de construction présuppose le montage suivant: le bord extérieur du diaphragme s'appuie sur le carter, son bord intérieur sur le plateau de pression.

L'avantage de ce modèle par rapport à l'embrayage à diaphragme poussé est de pouvoir obtenir, à force de pression égale, des forces de débrayage inférieures grâce aux rapports de levier.

Du fait du positionnement du diaphragme sur le diamètre extérieur du carter de l'embrayage, l'embrayage à diaphragme tiré est plus efficace que le modèle avec diaphragme poussé. Les inconvénients de l'embrayage

tiré sont le montage nettement plus fastidieux et le design de la butée beaucoup plus complexe.

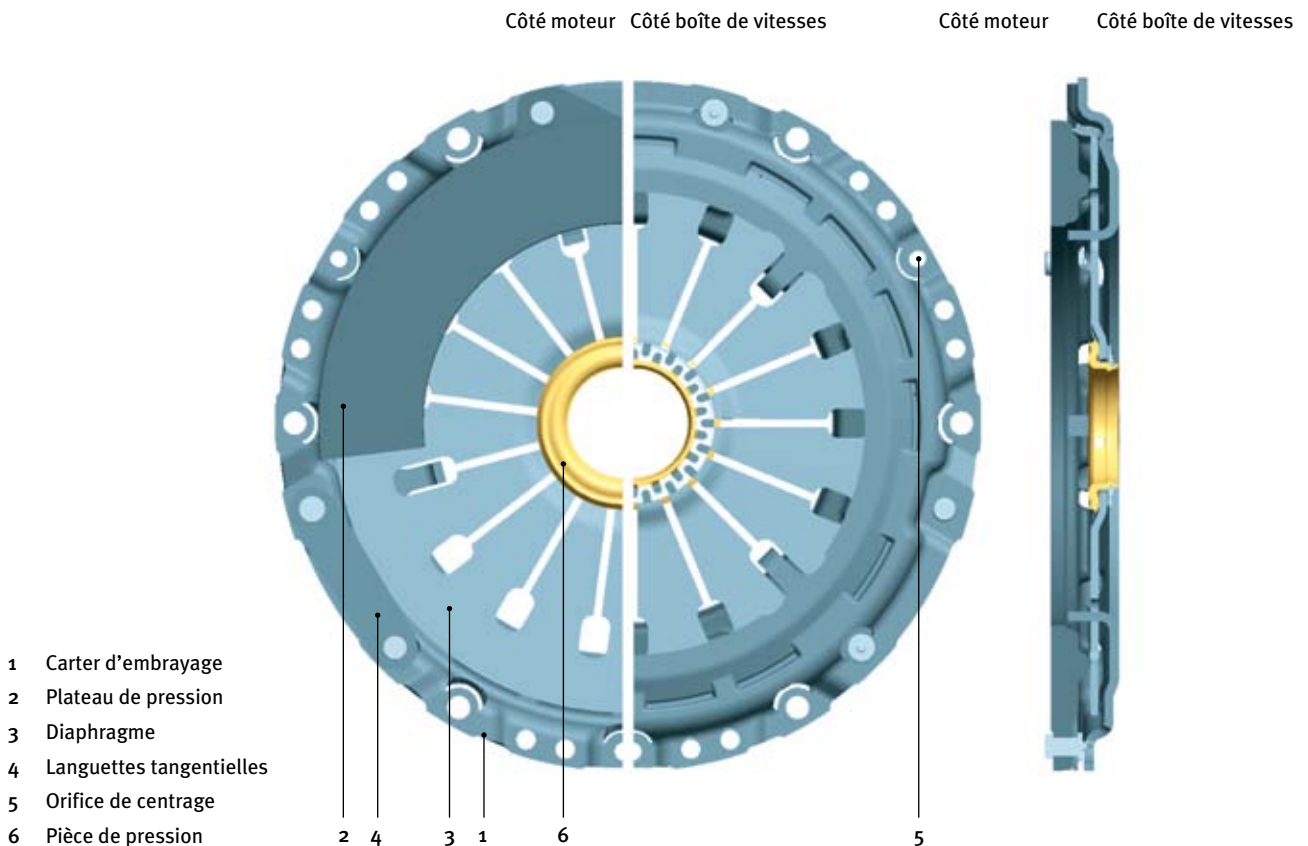
### Embrayage à diaphragme avec compensation automatique d'usure SAC (Self Adjusting Clutch)

Au cours des dernières années, le recours aux embrayages SAC s'est progressivement généralisé pour toute application impliquant des couples élevés ou nécessitant une réserve d'usure importante (illustration 34).

#### Principaux avantages de ce modèle par rapport aux autres versions présentées:

- faibles efforts de butée, constants pendant toute la durée de vie ...
- d'où grand confort de conduite pour toute la durée de vie
- une plus importante réserve d'usure et donc une durée de vie plus longue grâce au rattrapage automatique d'usure
- surcourse limitée de la butée grâce à l'arrêt du diaphragme

Fig. 32: Embrayage à diaphragme tiré





**Il en découle toute une série d'avantages secondaires :**

- absence de systèmes asservis (pour véhicules utilitaires)
- systèmes de débrayage moins sophistiqués
- courses de pédale plus courtes
- efforts de pédale identiques pour tous les types de moteurs
- nouvelles possibilités pour réduire le diamètre de l'embrayage (transmission du couple)
- course de la butée réduite pour toute la durée de vie

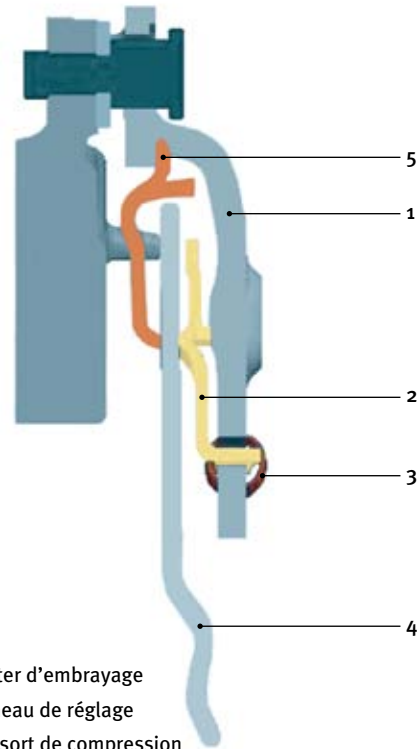
**Principe de fonctionnement de l'embrayage à compensation automatique d'usure (SAC) :**

**Capteur d'effort**

Dans le cadre d'un embrayage à compensation automatique d'usure, la montée de l'effort de la butée est mesurée par le taux d'usure et déclenche immédiatement, de façon ciblée, un processus de compensation à l'érosion des garnitures.

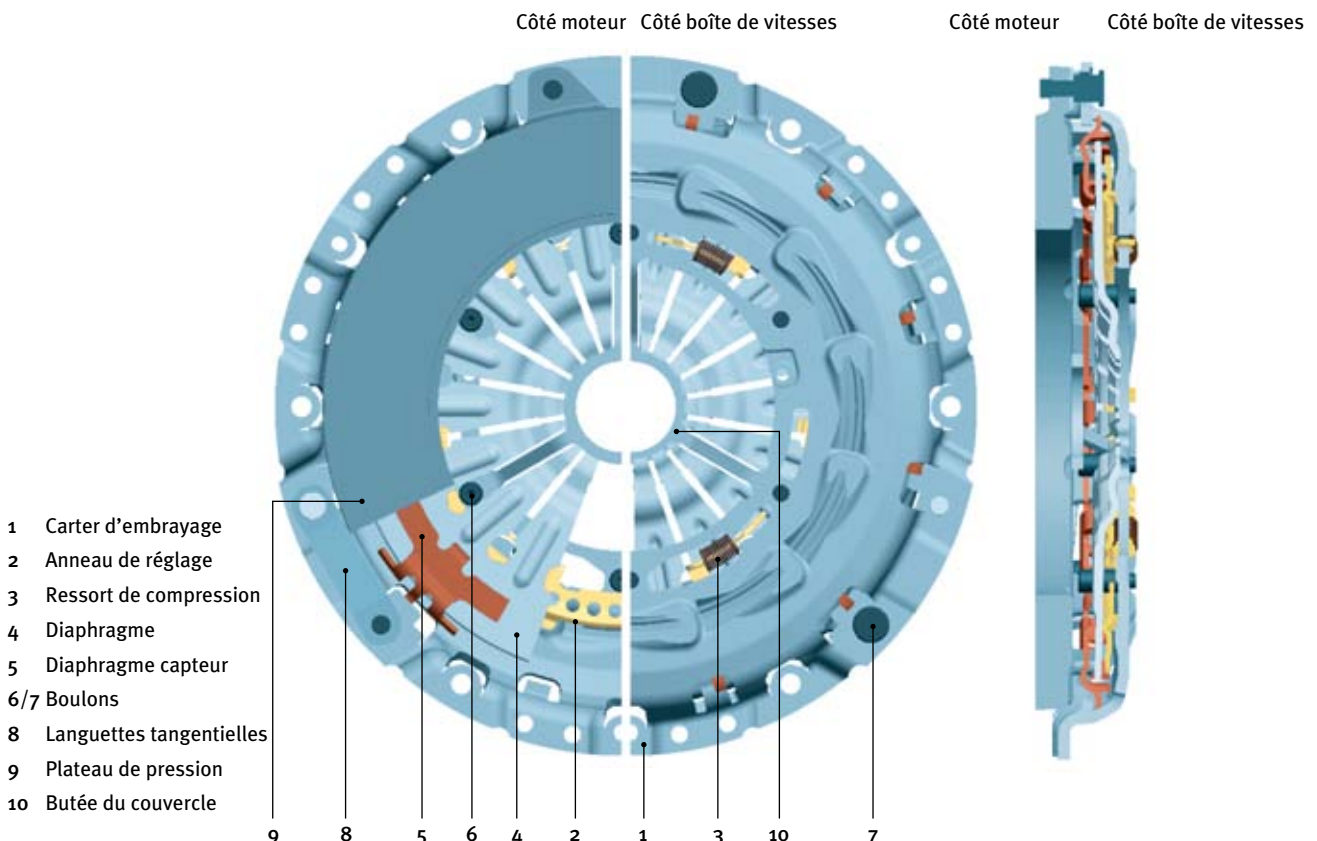
L'illustration 33 est une représentation schématique. La principale différence par rapport à un embrayage traditionnel réside dans le logement du diaphragme (principal). Ce dernier ne se trouve plus riveté au couvercle mais en appui sur un capteur d'effort. Comparé au diaphragme principal fortement dégressif, ce capteur d'effort présente une force constante suffisamment longue. La partie horizontale du capteur d'effort est réglée légèrement au-dessus de l'effort de butée souhaité.

Fig. 33: Principe de fonctionnement de l'embrayage à compensation automatique d'usure (SAC)



- 1 Carter d'embrayage
- 2 Anneau de réglage
- 3 Ressort de compression
- 4 Diaphragme
- 5 Diaphragme capteur

Fig. 34: Principe de fonctionnement de l'embrayage à diaphragme avec compensation automatique d'usure SAC (Self Adjusting Clutch)



- 1 Carter d'embrayage
- 2 Anneau de réglage
- 3 Ressort de compression
- 4 Diaphragme
- 5 Diaphragme capteur
- 6/7 Boulons
- 8 Languettes tangentielles
- 9 Plateau de pression
- 10 Butée du couvercle

Tant que l'effort de butée est inférieur à l'effort capteur, le jonc d'appui du diaphragme principal est, lors du débrayage, maintenu en place. Si par contre, du fait de l'usure, l'effort de butée augmente, la force d'opposition du capteur d'effort sera dépassée et le jonc d'appui se déplacera en direction du volant moteur jusqu'au point où l'effort de butée aura atteint le niveau de l'effort capteur. Le déplacement du diaphragme fait apparaître du jeu entre le jonc d'appui et le couvercle, éventuellement compensable par une cale.

### Description de l'embrayage à compensation automatique d'usure avec capteur d'effort

Le capteur d'effort avec cales de compensation d'épaisseur peut être concrétisé de façon élégante et simple. La construction ne diffère de celle des modèles traditionnels que par la présence supplémentaire de deux composants, un diaphragme capteur (rouge) et un anneau à rampes (jaune). Le diaphragme capteur est accroché au bord extérieur du couvercle et ses languettes internes constituent le logement pour le diaphragme principal. Du fait de la force centrifuge, la disposition des cales, apportant la vraie compensation, n'est pas radiale comme c'était le cas sur l'illustration précédente, mais elle suit la direction de la circonférence. Pour ce faire, il a été intégré un anneau qui court le long des rampes du couvercle. Cet anneau en plastique, également appelé anneau à rampes, subit, dans le sens de la circonférence, une précontrainte exercée par trois petits ressorts de compression, afin de pouvoir remplir l'écart entre le logement du diaphragme et le couvercle résultant d'un éventuel déplacement du diaphragme capteur.

L'illustration 35 ci-dessous montre les courbes d'effort de butée correspondant à un embrayage conventionnel à l'état neuf ainsi que l'état d'usure des garnitures. Elles sont à comparer avec l'effort de butée nettement inférieur correspondant à l'embrayage à compensation automatique d'usure (SAC), dont les caractéristiques ne changent pratiquement pas pendant toute la durée de vie.

Un autre avantage est la réserve d'usure plus importante laquelle ne dépend plus, comme c'était le cas dans les embrayages conventionnels, de la longueur de la courbe caractéristique du diaphragme, mais de la hauteur des rampes ; celle-ci peut être portée à quelques 3 mm pour les petits et à env. 10 mm pour les très grands embrayages. Une avancée technologique décisive pour la conception d'embrayages longue durée.

### L'embrayage SAC à diaphragme dans sa version à disques multiples

Les moteurs plus puissants qui génèrent des couples de plus de 500 Nm requièrent logiquement des embrayages pouvant transmettre des couples également élevés. Il en résulte inévitablement une augmentation de l'effort pédale, malgré le recours aux embrayages à compensation automatique d'usure. Si diverses mesures (notamment l'amélioration des systèmes de débrayage) ont permis de maîtriser la progression de cet effort, la demande sur le marché d'embrayages à effort de commande réduit n'a cessé d'augmenter (illustration 36).

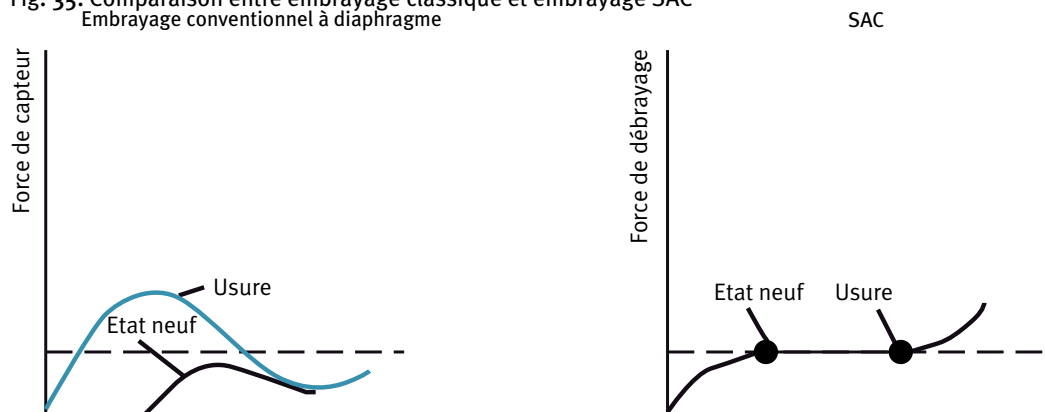
### L'embrayage SAC à disques multiples

La principale différence de l'embrayage SAC à disques multiples par rapport à l'embrayage à disque unique est l'ajout d'un plateau de pression intermédiaire et de trois jeux de languettes tangentielles supplémentaires permettant d'en assurer la levée.

Pour que les deux disques d'embrayage subissent une même usure, on intègre des rivets (de levée) dont le rôle est de commander la levée du plateau de pression intermédiaire. Ces rivets font en sorte que la levée du plateau intermédiaire corresponde à la moitié de celle du plateau de pression.

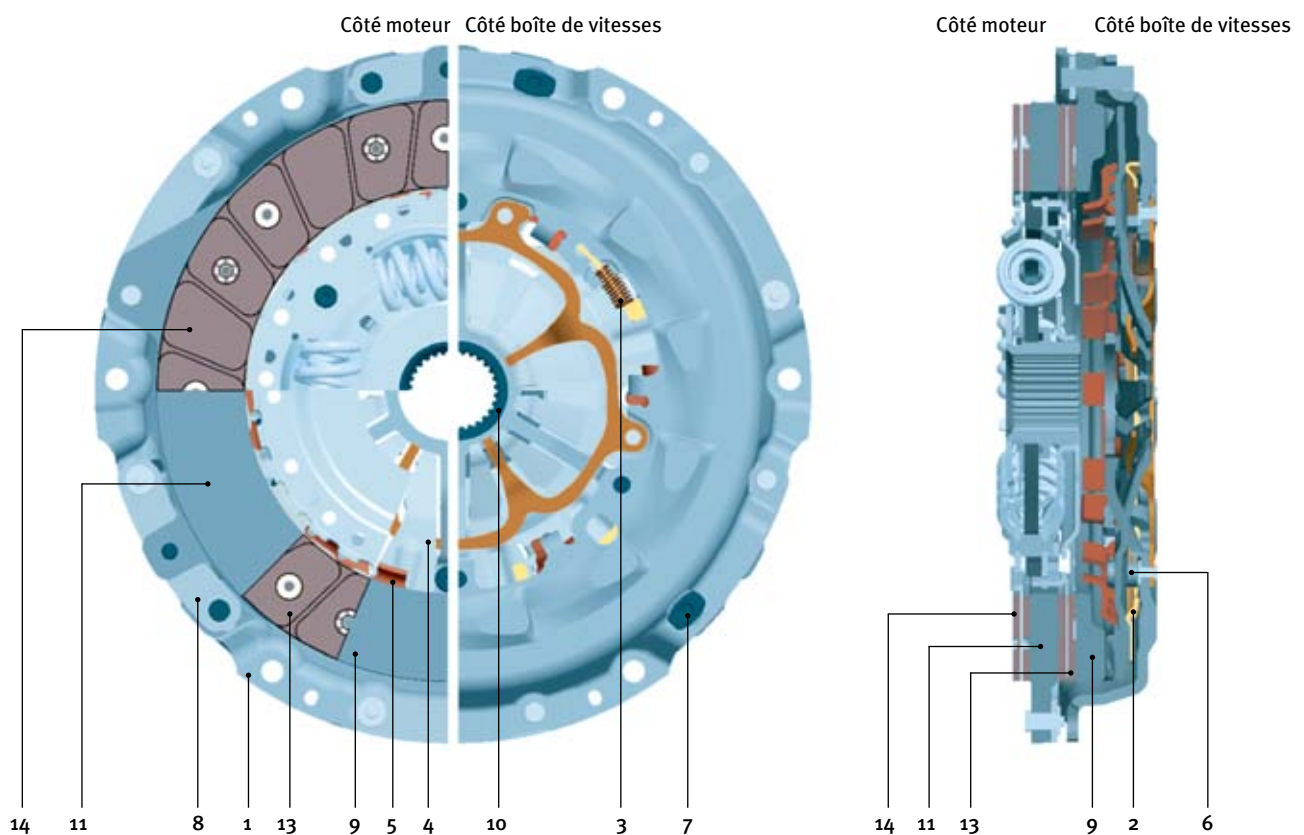
Dans les applications automobiles, le recours à des modèles de disques d'embrayage spécifiques permet de réaliser l'amortissement du disque d'embrayage, nécessaire pour des raisons d'isolation.

Fig. 35: Comparaison entre embrayage classique et embrayage SAC

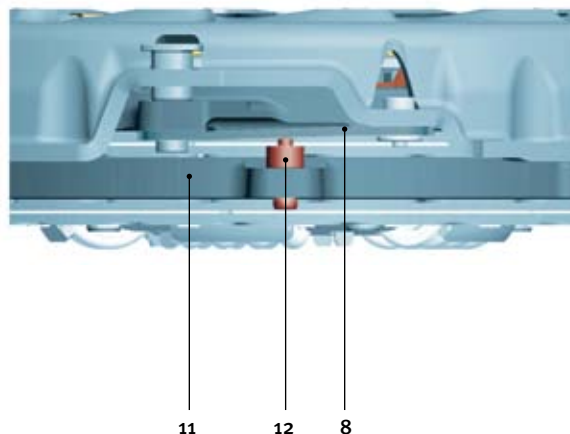


L'embrayage SAC à disques multiples a l'avantage de permettre, soit une réduction de l'effort de débrayage, soit de maintenir l'effort de débrayage et d'augmenter le couple moteur transmissible. Pour les moteurs à couples et régimes élevés, l'embrayage SAC à disques multiples offre également la possibilité de réduire le diamètre extérieur des garnitures et, par conséquent d'augmenter la vitesse d'éclatement des disques d'embrayages. Comparé à la taille requise des disques d'embrayage à disque unique, le downsizing des disques d'embrayages destinés aux modèles multidisques permet de maintenir, voire de diminuer le moment d'inertie.

Fig. 36: Multiple-disc SAC



- 1 Carter d'embrayage
- 2 Anneau de compensation
- 3 Ressort de pression
- 4 Diaphragme
- 5 Diaphragme capteur
- 6/7 Boulons
- 8 Languettes tangentielles
- 9 Plateau de pression
- 10 Butée du couvercle
- 11 Plateau de pression intermédiaire
- 12 Rivet de levée
- 13 1<sup>er</sup> disque d'embrayage
- 14 2<sup>nd</sup> disque d'embrayage



## 5 Le volant bimasse : amortissement de torsion efficace entre moteur et boîte de vitesses

On assiste dans la construction automobile moderne à une augmentation des sources de nuisances sonores dues à un manque d'amortissement naturel. Les causes en sont l'allègement des véhicules et la forme aérodynamique optimisée des carrosseries qui, si elles atténuent considérablement le sifflement du vent, rendent audibles d'autre sources sonores. Ce phénomène est également accentué par la fabrication de modèles à faible consommation, de moteurs à très bas régime, de boîtes de vitesses à 5 ou 6 rapports, ainsi que par l'extrême fluidité des huiles utilisées. La combustion périodique dans les moteurs à pistons alternatifs occasionne des vibrations de torsion dans la chaîne cinématique, susceptibles de décevoir l'attente des automobilistes en matière de confort. En effet, ces vibrations génèrent des bruits de mitraille au niveau de la boîte de vitesses et un bourdonnement de la carrosserie.

Entre temps, l'intérêt porté aux voitures de moyenne gamme et aux véhicules dits compacts avec moteurs transversaux s'est considérablement accru. Parallèlement, la demande en moteurs économiques et écologiques s'intensifie ce qui, simultanément, conduit à de nombreuses disparités des moteurs, notamment au niveau des moteurs diesel avec injection directe. Pour atteindre dans ce type de véhicules le confort de conduite des voitures haut de gamme, LuK a développé le volant bimasse. Dès le fonctionnement en marche à vide, le volant bimasse isole efficacement les vibrations du moteur; c'est à dire qu'il supprime les bruits de mitraille indésirables

issus de la boîte de vitesses ainsi que le bourdonnement désagréable de la carrosserie à certains régimes. Avec le volant bimasse, les constructeurs automobiles disposent ainsi d'un système extrêmement efficace pour amortir les vibrations de torsion dans la chaîne cinématique (illustration 37).

### Conception

Le dédoublement du volant moteur conventionnel en deux disques donne d'une part la masse primaire avec couronne démarreur côté moteur et d'autre part la masse secondaire qui augmente le moment d'inertie côté boîte de vitesses.

Ces deux masses désaccouplées sont reliées entre elles par un système d'amortissement/ressort et peuvent tourner l'une par rapport à l'autre grâce à un roulement rainuré à billes ou un palier lisse. Deux pièces en tôle usinées soudées au laser sur le bord extérieur constituent l'espace rempli de graisse dans lequel se trouvent les ressorts à compression avec leur système de guidage. L'étanchéité y est assurée au moyen d'une membrane d'étanchéité.

Les bords du flasque conçu comme un diaphragme passent entre les ressorts de compression en arc. Ce flasque peut revêtir la forme d'une tôle rigide, intégrer un amortisseur supplémentaire ou encore être conçu sous forme d'embrayage patinant pour limiter des couples de pointe nuisibles.

Fig. 37: Transmission de vibrations de torsion

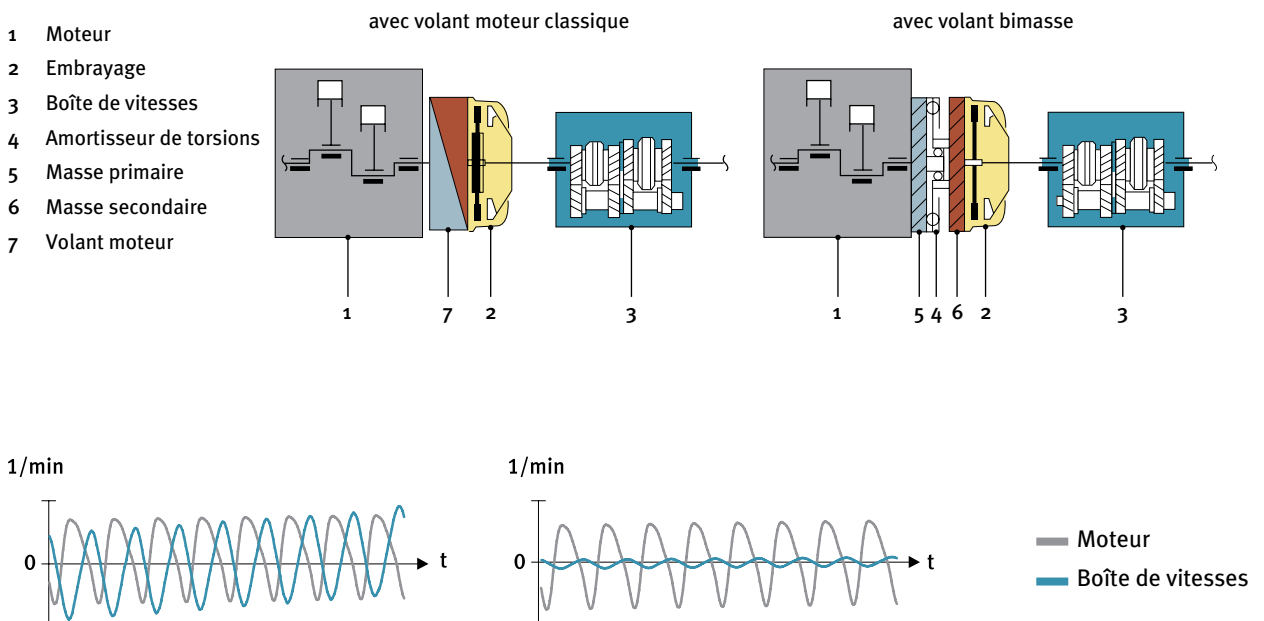
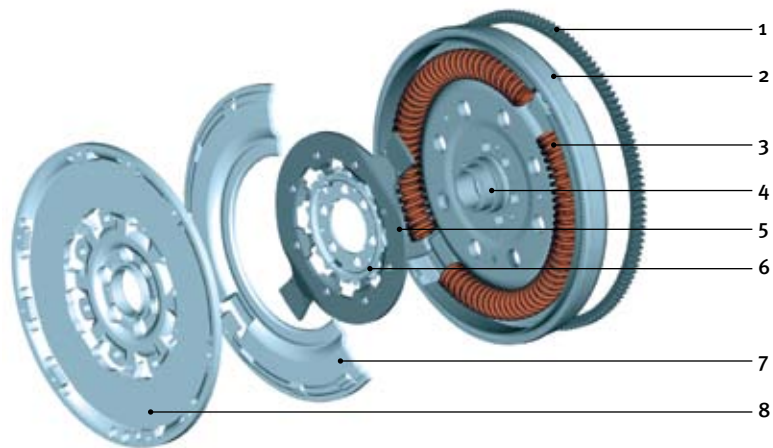
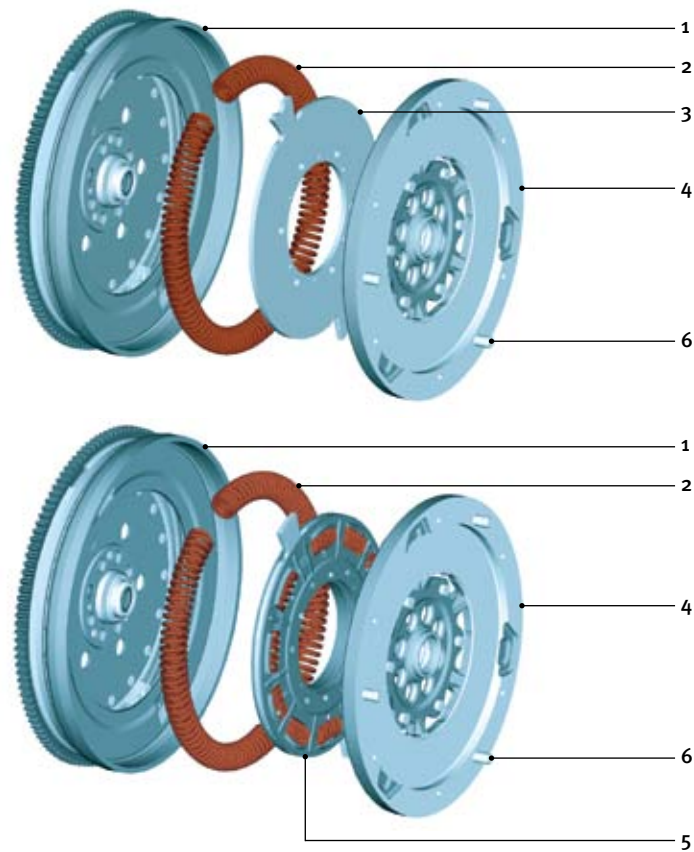


Fig. 38: Volant bimasse standard



- 1 Couronne de démarreur
- 2 Masse primaire
- 3 Ressorts en arc
- 4 Palier lisse
- 5 Flasque
- 6 Friction flottante
- 7 Couvercle primaire (coupe transversale)
- 8 Masse secondaire

Fig. 39: Volant bimasse avec différents modèles de flasque



- 1 Masse primaire
- 2 Ressorts en arc
- 3 Flasque
- 4 Masse secondaire
- 5 Flasque avec amortisseur intérieur
- 6 Pion de centrage

Un autre dispositif de friction flottant sur le moyeu est entraîné par le jeu de l'une des tôles de maintien et peut en présence d'un angle de torsion important générer la friction souhaitée.

Du fait de l'intégration du système d'amortissement/ressort dans le volant bimasse, on utilise un disque d'embrayage rigide sans amortisseur de torsion. Dans la plupart des cas, ce sont des embrayages à diaphragmes, positionnés par des pions de centrage qui servent de plateau de pression (illustrations 38 et 39 sur la page 29).

## Fonction

L'examen physique de la chaîne cinématique montre qu'en modifiant l'attribution des moments d'inertie, on peut déplacer la plage du régime de résonance. En augmentant le moment d'inertie de la boîte de vitesses, la plage de régimes de résonance générant des bruits très forts descend au-dessous de celle de la marche à vide pour se trouver en dehors de la plage de régime normal du moteur.

Avec son volant bimasse, LuK a réussi à développer un produit fabriqué en série qui réalise ce principe tout en maintenant l'amplitude de résonance extrêmement basse. Contrairement à la disposition classique, le moment d'inertie du volant moteur a été diminué avant l'amortisseur de torsion et augmenté après. Dès à présent, la masse primaire du volant moteur est attribuée au moment d'inertie du moteur tandis que la masse secondaire, le disque d'embrayage et le plateau de pression sont attribués à la boîte de vitesses. Ainsi, la plage de régime de résonance initialement située à environ 1300 min<sup>-1</sup> peut-elle être réduite à 300 min<sup>-1</sup> ce qui fait qu'elle n'a plus d'effet perturbateur en mode conduite, puisque le moteur n'opère pas dans cette plage de régime.

Dans les modèles équipés d'un volant moteur conventionnel avec disque d'embrayage et amortisseur de torsion, les vibrations de torsion sont, dans la plupart des cas, en mode marche à vide, directement transmises à la boîte de vitesses et génèrent de ce fait un claquement des pignons (bruits de mitraille). L'utilisation d'un volant bimasse, au contraire, permet grâce à l'amortisseur de torsion sophistiqué de filtrer les vibrations de torsion issues du moteur ; les composants de la boîte de vitesses s'en trouve épargnés – il n'y a plus de bruit de mitraille – à la grande satisfaction de l'automobiliste dont le confort est ainsi assuré !

## Ressort en arc

Le système d'amortissement/ressort doit remplir deux fonctions contradictoires.

1. L'irrégularité du moteur ne génère, en régime normal, que de faibles angles de travail dans l'amortisseur. A ce régime « normal », il faut, pour assurer un amortissement optimal des vibrations, une faible raideur des ressorts conjuguée à un faible amortissement.

2. Les habituelles alternances de charge (par ex. quand on appuie à fond sur l'accélérateur) génèrent de bruyantes vibrations que seul un amortisseur de torsion, pourvu de ressorts de très faible raideur mais simultanément doué d'un grand pouvoir d'amortissement, peut pallier.

L'amortisseur à ressorts en arc apporte une solution à cette contradiction; en effet, en conduite à haut régime, il combine une très faible raideur des ressorts avec un fort taux d'amortissement tandis qu'en conduite à régime normal il atténue parfaitement les vibrations par un faible amortissement et une raideur appropriée des ressorts.

## Le volant bimasse compact

Le volant bimasse compact est la solution pour les véhicules équipés de moteur transversaux avant disposant d'un espace réduit. Ce modèle particulièrement peu encombrant englobe le volant bimasse, le plateau de pression et le disque d'embrayage (illustrations 40 et 41).

Le module est livré prémonté et peut être vissé tel quel sur le vilebrequin. Les orifices situés dans le diaphragme, le plateau de pression et le disque d'embrayage permettent de serrer les vis du vilebrequin. L'avantage pour les clients: à la place d'avoir trois composants et deux jeux de vis, il suffit de se concentrer sur un seul paquet.

### Les avantages du volant bimasse LuK:

- il offre un très grand confort de conduite
- il absorbe les vibrations
- il isole des bruits
- il permet une économie de carburant grâce aux faibles régimes moteur
- il facilite le passage de rapports
- il réduit l'usure de la synchronisation
- il protège la chaîne cinématique contre toute surcharge

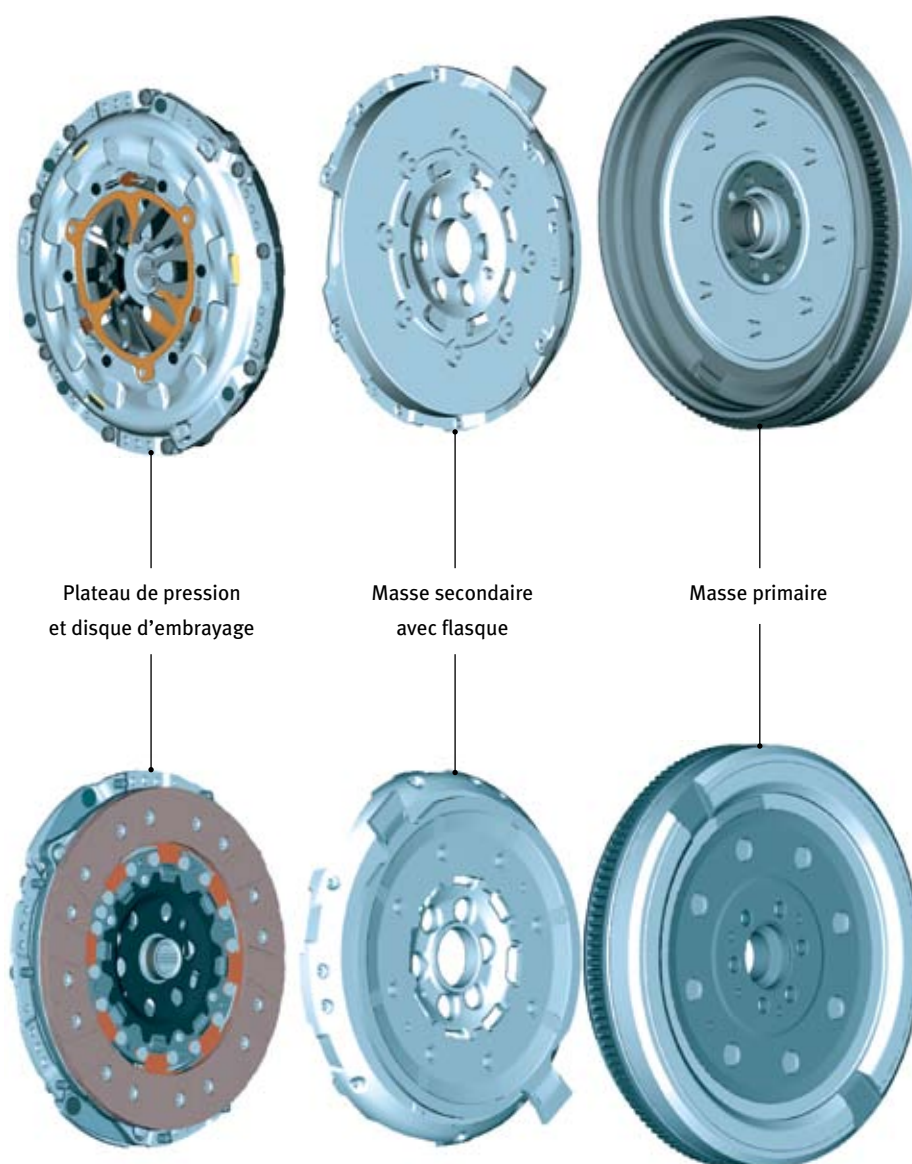
### L'usage du volant bimasse compact revêt également des avantages au regard de la protection de l'environnement:

- Grâce à l'excellent amortissement du bruit lors de la conduite à bas régime, il y a une diminution du nombre de passages de rapport et une baisse du régime de service moyen
- L'efficacité du système dans son ensemble s'en trouve améliorée et la consommation de carburant ainsi que l'émission de substances nocives diminuées.

Fig. 40: Le volant bimasse compact constitué d'un volant bimasse, d'un disque d'embrayage et d'un plateau de pression



Fig. 41: Le volant bimasse compact



## 6 Systèmes de butée hydraulique

### Fonctionnement

Les véhicules équipés d'un embrayage monodisque à sec, commandé par pédale requièrent un mécanisme permettant la transmission de la force depuis la pédale jusqu'à l'embrayage. Motivés par cette nécessité, les concepteurs d'automobiles se sont affairés à trouver diverses solutions.

Initialement, les forces de la pédale étaient transmises par l'intermédiaire d'un câble, à un mécanisme de levier situé dans la cloche de l'embrayage ; l'actionnement de l'embrayage était ainsi effectué via le levier et une butée. La part de marché de ce type de système a considérablement diminué du fait de la réduction de l'espace moteur qui rend difficile le parcours linéaire du câble entre la pédale et le levier. Lors de l'installation du câble, il convient d'éviter torsions et ondulations qui génèrent une friction et une usure supérieures aux valeurs admises, faisant entrave au confort d'utilisation de l'embrayage.

Dans les systèmes d'embrayage modernes actionnés par pédale, l'embrayage est commandé par un système hydraulique. On distingue principalement deux systèmes : Dans le système dit semi hydraulique, le câble est remplacé par un circuit hydraulique constitué d'un cylindre émetteur fixé à la pédale, par une conduite et un cylindre récepteur situé au niveau de la boîte de vitesses. Dans le système de débrayage avec butée annulaire, il n'y a pas de levier dans la cloche de la boîte de vitesses ; la butée traditionnelle est remplacée par un cylindre hydraulique avec butée intégrée, centrée au sein de la cloche d'embrayage sur l'arbre d'entrée de boîte entre la boîte de vitesses et l'embrayage. Du fait du nombre restreint de leurs composants, les systèmes entièrement hydrauliques présentent

l'avantage pour le constructeur automobile d'être facile à monter. Qui plus est, le monteur jouit d'une assez grande liberté pour la mise en place du circuit hydraulique dans l'espace moteur.

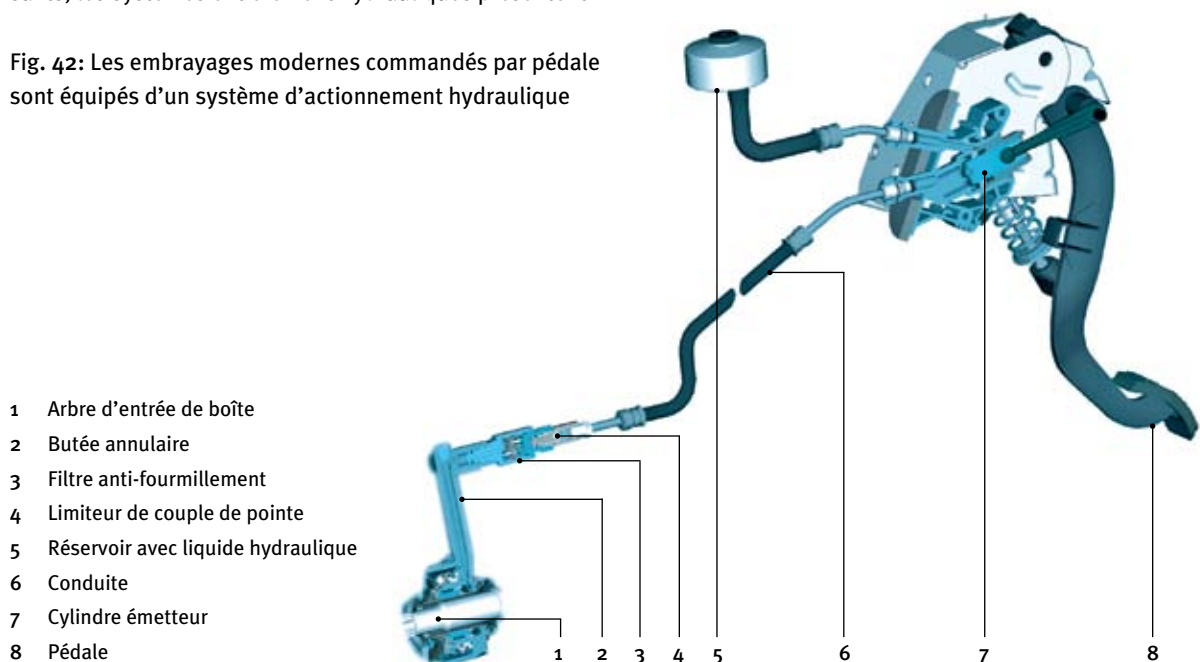
### Conception et fonctionnement des différents composants:

#### Cylindre émetteur

Le cylindre émetteur (illustration 43) est composé d'un boîtier, d'un piston avec sa tige et de deux joints (le joint primaire et le joint secondaire). Pour acheminer le flux hydraulique jusqu'au cylindre récepteur, il est pourvu d'un connecteur d'accouplement ; il s'agit le plus souvent d'un raccord express mais on voit aussi quelquefois des raccords vissés comme ceux couramment utilisés dans les systèmes de freinage. Par ailleurs, le cylindre émetteur est également muni d'un autre raccord permettant l'approvisionnement du système en fluide hydraulique et lui-même relié, généralement par un tuyau, au réservoir de liquide des freins. Notons qu'il existe aussi des systèmes où le cylindre émetteur dispose de son propre réservoir. Le joint primaire isole le réservoir de la chambre de pression hydraulique et permet l'établissement de la pression qui commande l'embrayage.

Le joint secondaire isole la chambre basse pression du réservoir de son environnement. Lorsque la pédale est relâchée, un ressort – situé au niveau de la pédale ou du cylindre émetteur – assure le retour en place du piston. A ce moment là, le connecteur d'accouplement entre le réservoir et la chambre de pression est ouvert, permettant à l'air enfermé dans le système de s'échapper.

Fig. 42: Les embrayages modernes commandés par pédale sont équipés d'un système d'actionnement hydraulique



- 1 Arbre d'entrée de boîte
- 2 Butée annulaire
- 3 Filtre anti-fourmillement
- 4 Limiteur de couple de pointe
- 5 Réservoir avec liquide hydraulique
- 6 Conduite
- 7 Cylindre émetteur
- 8 Pédale



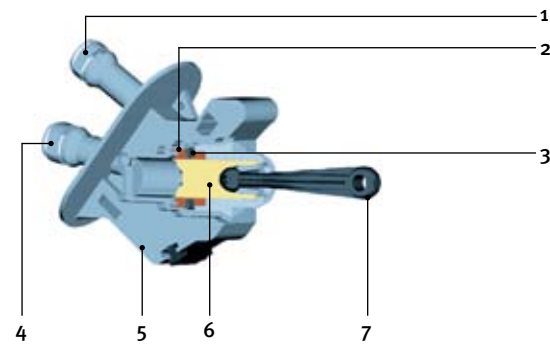
### La conduite

La conduite hydraulique s'apparente à celle que l'on trouve dans le système de freinage. Elle se compose en général d'un flexible et d'un tube en acier ou alors, elle est entièrement en matière plastique. Pour le modèle avec tube en acier, il faut également un flexible pour compenser les mouvements entre la chaîne cinématique et le châssis du véhicule. Lors de l'installation de la conduite, il faut veiller à ce qu'elle ne puisse entrer en contact avec d'autres composants installés dans l'espace moteur. De plus, il faut s'assurer que la tuyauterie n'est ni endommagée ni pliée, ni attaquée par la corrosion. Il faut impérativement s'abstenir de placer les conduites en plastiques et les flexibles à proximité de sources de chaleur comme par exemple les turbocompresseurs ou collecteurs d'échappement.

### Amortisseur de torsion (filtre anti-fourmillements)

Le processus de combustion du moteur peut provoquer des vibrations au niveau de l'embrayage, lesquelles sont répercutées par le système de débrayage jusqu'à la pédale (illustration 44). Le conducteur ressent ces vibrations comme un fourmillement désagréable au niveau du pied ou les perçoit sous forme de bruits. Pour éviter la transmission des vibrations, il est possible d'introduire des filtres dans le circuit. Il s'agit soit d'amortisseurs à membrane soit de filtres anti-fourmillements (illustration 45) avec deux clapets de non-retour disposés tête-bêche ou d'une valve.

Fig. 43: Cylindre émetteur



- 1 Raccordement au réservoir
- 2 Joint d'étanchéité primaire
- 3 Joint d'étanchéité secondaire
- 4 Raccordement à la conduite hydraulique
- 5 Boîtier
- 6 Piston
- 7 Tige

Fig. 44: Vibrations au niveau de la pédale d'embrayage

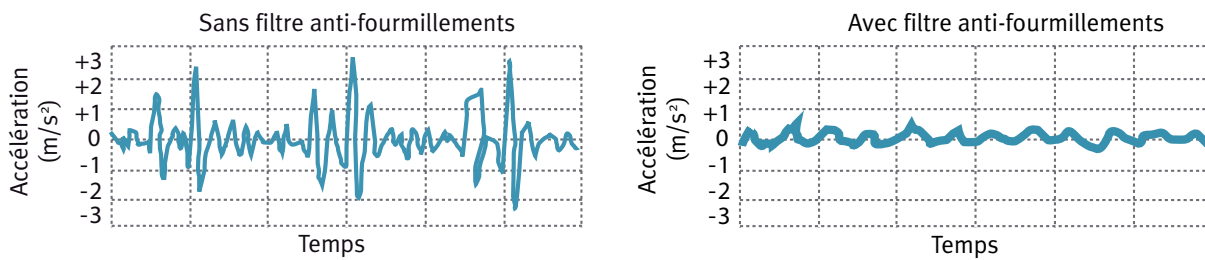
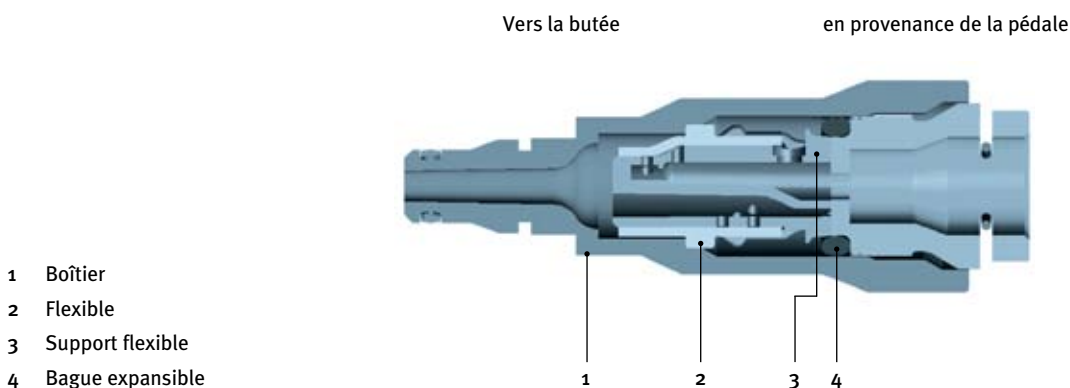


Fig. 45: Filtre anti-fourmillements avec valve



### Limiteur de couple de pointe

Les limiteurs de couple de pointe (illustration 46) sont des diaphragmes mobiles dans la conduite hydraulique. Leur rôle est de limiter les flux des volumes pendant la manœuvre d'embrayage pour éviter une surcharge de la chaîne cinématique lors d'un embrayage brusque occasionné par le dérapage du pied sur la pédale d'embrayage. Lors des travaux de maintenance, les limiteurs de couple de pointe doivent obligatoirement être laissés dans le système hydraulique pour éviter tout éventuel endommagement ultérieur de la boîte de vitesses, des arbres de commande ou encore du volant bimasse (illustration 47).

### Le cylindre récepteur

Dans un système semi hydraulique, le cylindre récepteur est généralement situé à l'extérieur de la cloche de la boîte de vitesses et sert à actionner le levier d'embrayage (illustration 48). Dans ce cas, le cylindre récepteur est composé d'un boîtier, du piston, du ressort de précharge et d'une vis de purge. Le ressort de précharge a pour rôle d'assurer une précharge permanente de la butée. Ainsi, même si aucune pression n'est exercée sur le système de débrayage, la rotation de la butée est assurée et la surveillance de bruits gênants évitée. La vis de purge facilite le nettoyage du système lors d'éventuels travaux de remise en état.

### Butée annulaire

Dans un système avec butée annulaire (illustration 49) la butée est directement liée au piston. Le mouvement de débrayage est déclenché par la pression hydraulique. Lors de l'embrayage, le diaphragme de l'embrayage repousse le piston central dans sa position initiale refoulant le liquide dans le cylindre émetteur. L'importante capacité de course prévue pour le cylindre récepteur permet de compenser les tolérances de montage et l'usure de l'embrayage.

### Capteurs

De plus en plus de cylindres émetteurs et récepteurs sont équipés de capteurs pour mesurer la course et transmettre les informations à l'appareil de commande du moteur et de la boîte de vitesses. En règle générale, il est possible de reconnaître les systèmes équipés de capteurs par la présence d'un petit boîtier avec une prise ou un câble. Chaque capteur est spécialement adapté au cylindre émetteur ou récepteur, les deux pièces formant une seule et même unité. Les capteurs ne doivent pas être enlevés d'un cylindre pour être fixés sur un autre. En cas de défaillance d'un des composants, il est impératif de monter une nouvelle unité cylindre/capteur.

### Le liquide hydraulique

Sauf indication contraire du constructeur automobile, les systèmes hydrauliques fonctionnent avec du liquide de freinage.

A leur sortie d'usine, les véhicules sont livrés avec un système hydraulique déjà rempli. Au fur et à mesure de l'utilisation de la voiture, le liquide de freinage se trouve enrichi en eau, ce qui entraîne un abaissement du point d'ébullition. Dans des cas extrêmes, des bulles de vapeur peuvent se former dans le cylindre récepteur et entraîner des difficultés de débrayage. En prévention de ce genre de problèmes, il est nécessaire de remplacer le liquide de freinage tous les deux à trois ans au moins. Pour ce qui est du choix du nouveau liquide, il est indispensable de suivre les recommandations du constructeur si l'on veut éviter tout éventuel endommagement des joints et la formation de bruits au niveau du cylindre émetteur.

En règle générale, les travaux de maintenance d'un système de débrayage hydraulique se limitent au remplacement du liquide de freinage. Le remplissage peut être effectué, comme pour le liquide de freinage, par pompage de pédale et ouverture et fermeture synchrones de la vis de purge. Pour vidanger complètement le système et éviter qu'il ne se forme des bulles d'air, il convient de tenir compte des recommandations particulières du fabricant.

Propreté est le maître mot pour toute intervention au niveau d'un système hydraulique. Les moindres impuretés peuvent entraîner des fuites et des dysfonctionnements. Pour les systèmes fonctionnant avec du liquide de freinage, l'introduction d'huile minérale dans le circuit est à proscrire. Pour cette même raison, il est également défendu de procéder à un graissage ultérieur des cylindres ou connecteurs. Les moindres quantités d'huile minérales peuvent suffire à détruire les joints. Dans les systèmes d'embrayage qui partagent un réservoir commun avec les freins, il peut y avoir danger de contamination du système de freinage.

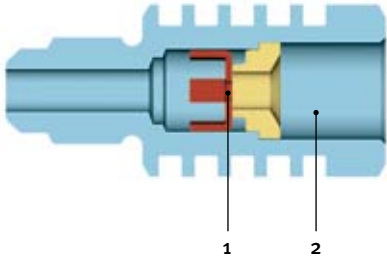
### Important

Lors du remplacement de l'embrayage, il est fortement conseillé de remplacer également la butée annulaire dont la durée de vie est adaptée à celle de l'embrayage et ne saurait être prolongée. C'est d'ailleurs la raison pour laquelle le RePSetPro de LuK contient les deux composants.

### Avantages des systèmes de débrayage hydrauliques :

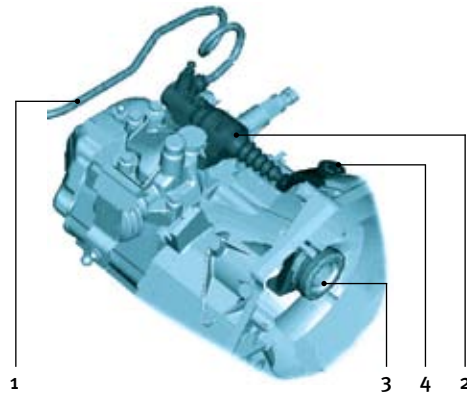
- grande autonomie pour la mise en place de la conduite hydraulique
- commande aisée grâce à la faible friction
- réduction optimisée des vibrations et du bruit
- montage et maintenance faciles
- compensation d'usure intégrée

Fig. 46: Limiteur de couple de pointe.  
Les diaphragmes mobiles situés dans la conduite hydraulique limitent le flux des volumes pendant la manœuvre d'embrayage à des vitesses élevées.



- 1 Diaphragme mobile
- 2 Carter

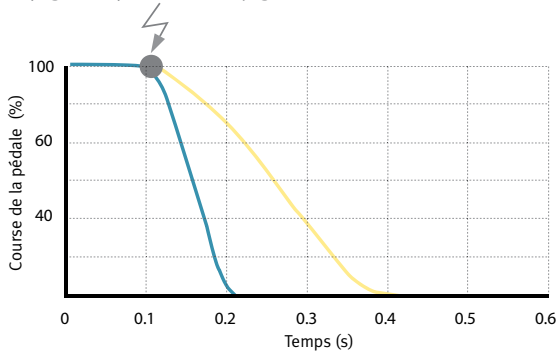
Fig. 48: Cylindre récepteur situé à l'extérieur de la cloche de la boîte de vitesses



- 1 Conduite hydraulique d'embrayage
- 2 Cylindre récepteur
- 3 Butée
- 4 Fourchette d'embrayage

Fig. 47: Limitation des flux des volumes grâce aux limiteurs de couple de pointe

Dérapiage de la pédale d'embrayage



- sans limiteur de couple de pointe
- avec limiteur de couple de pointe

Fig. 49: Dans le système avec butée annulaire, la butée est directement liée au piston



- 1 Ressort de précharge
- 2 Piston
- 3 Joint
- 4 Boîtier
- 5 Joint-soufflet anti-poussières
- 6 Butée

## 7 Des boîtes de vitesses robotisées (ASG) pour plus de confort

### Utilisation

La boîte de vitesses robotisée a été développée à partir de la boîte manuelle éprouvée. A confort égal, elle peut passer les vitesses automatiquement et, bien réglée, réduire la consommation de carburant. Ces caractéristiques techniques la rendent particulièrement intéressante pour les petits et moyens véhicules puisque les coûts s'avèrent bien inférieurs à ceux d'une boîte automatique. Les boîtes de vitesses robotisées sont également utilisées dans les véhicules utilitaires et dans les poids lourds même en série (illustration 50)

### Description

#### Emploi

Comme la boîte de vitesses automatique, le levier de sélection peut être enclenché sur les positions 'point mort' (N), marche arrière (R), automatique et manuel. Le levier de sélection est entièrement électronique et ne présente aucun lien mécanique avec la boîte de vitesses (illustration 51). Etant donné que la boîte de vitesses robotisée a été conçue sur la base d'une boîte manuelle, elle ne dispose pas, contrairement à la boîte automatique, d'une position parking. Comme dans les boîtes manuelles, la vitesse reste enclenchée lorsqu'on coupe le moteur et l'embrayage se solidarise automatiquement.

Comme la boîte automatique, le moteur peut être démarré lorsque

- le levier de sélection est positionné sur « N »
- la boîte de vitesses affiche la position point mort et
- on appuie sur la pédale de frein.

#### Technique

Les moteurs électriques supplémentaires fixés sur la boîte de vitesses remplacent les mouvements d'embrayage et de sélection du conducteur. La coordination et le traitement des signaux sont assurés par un appareil de commande. La plupart des signaux sont enregistrés et affichés via le bus CAN. Sont également reliés au bus CAN le régulateur du moteur, les systèmes de commande pour ABS ou ESP et celui du cockpit. Ce bus affiche également des informations sur le rapport sélectionné et l'état de la boîte de vitesses.

Dans l'ASG de LuK, cet appareil de commande est logé dans le même boîtier que le moteur électrique et la mécanique qui actionne l'embrayage. Lors du remplacement de l'appareil de commande, il faut installer le logiciel adapté au véhicule et procéder à sa mise en service. Etant donné que les autres appareils de commande sont également adaptés à la commande de la boîte de vitesses, il n'est pas rentable de rééquiper une boîte manuelle

d'une boîte robotisée. La conception de moteurs électriques aussi petits, légers et rapides que possible requiert que l'effort d'actionnement de l'embrayage soit minime. L'utilisation d'un embrayage à compensation automatique d'usure (SAC) permet de satisfaire à cette exigence. Le levier de la boîte de vitesses manuelle qui sert à passer les rapports est remplacé par deux moteurs électriques. Tandis que l'un des moteurs électriques est responsable du choix de la voie et correspond au mouvement transversal de la main droite que fait le conducteur en passant une vitesse, l'autre moteur, plus grand, enclenche les rapports.

### Fonctions

#### Fonction de rampage

Lorsqu'on desserre le frein, l'embrayage commence à se solidariser. Le véhicule commence à rouler doucement sans qu'il y ait besoin d'appuyer sur la pédale d'accélération. Pour protéger l'embrayage, le couple est limité. Lorsque la température de l'embrayage augmente, le couple engagé se réduit.

#### Identification du point de contact

Les variations de température et autres influences modifient le point où l'embrayage commence à transmettre le couple moteur aux roues. Ce point est appelé point de contact. La boîte de vitesses robotisée adapte ce point de contact lorsque le conducteur immobilise le véhicule un certain temps en gardant le pied sur le frein et en laissant tourner le moteur par exemple au feu rouge.

Pour ce faire, l'embrayage se ferme temporairement jusqu'à ce que le léger contact du plateau de pression avec le disque d'embrayage appelle une réaction du moteur. Ensuite, l'embrayage s'ouvre à nouveau. Cette manœuvre présuppose un régime stable du moteur au ralenti et n'est normalement pas ressentie par le conducteur. Pour assurer le bon fonctionnement de l'embrayage, il est également important de procéder à sa mise en service à l'aide d'un appareil de mesure professionnel après avoir remplacé l'appareil de commande ou l'embrayage. Le point de contact correct garantit l'enclenchement de vitesses en douceur sans que l'embrayage patine trop longtemps.

#### Protection de l'embrayage

La boîte de vitesses robotisée reconnaît l'échauffement excessif de l'embrayage dû, par exemple, aux démarrages répétitifs en pente. Pour éviter que la température continue à monter, la fonction de rampage est progressivement désactivée. Lors du démarrage, l'embrayage se ferme plus vite pour éviter un patinage prolongé.

### Assistance au freinage ABS

Lorsque l'appareil de commande ABS annonce un freinage avec intervention du système ABS, l'ASG peut ouvrir l'embrayage. Le désaccouplement du moteur améliore l'efficacité du système ABS.

### Surveillance et sécurité

Le système ISM (Intelligent Safety Monitoring System) surveille le processeur principal à l'aide d'un deuxième processeur. Ce dernier contrôle le fonctionnement de la mémoire et du programme et si les activités de l'appareil de commande ASG de LuK correspondent aux conditions de conduite actuelles : en cas d'erreur, l'appareil de commande peut réagir de deux façons:

- soit il désactive les étages de sortie des actionneurs, c'est à dire qu'aucun mouvement n'est plus possible.
- soit, il fait un reset, c'est à dire que l'appareil de commande recommence à fonctionner normalement au bout de quelques secondes.

L'utilisation du système ISM permet d'exclure toutes réactions indésirables du véhicule qui pourraient être occasionnées par des erreurs de l'appareil de commande:

### Les avantages

- Efficacité et faible consommation avec points d'équilibre optimisés
- Choix du fonctionnement automatique ou manuel
- Manœuvres facilitées sans caler
- Composants petits et légers
- Grand confort de conduite
- Prix intéressant

Fig. 50: Représentation schématique de l'ASG

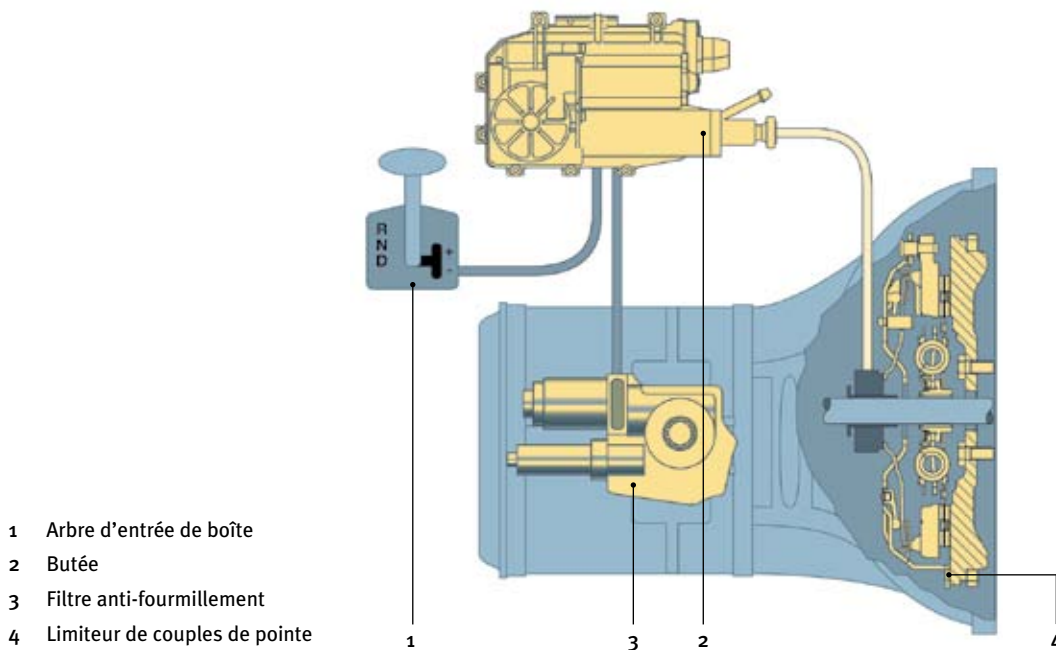
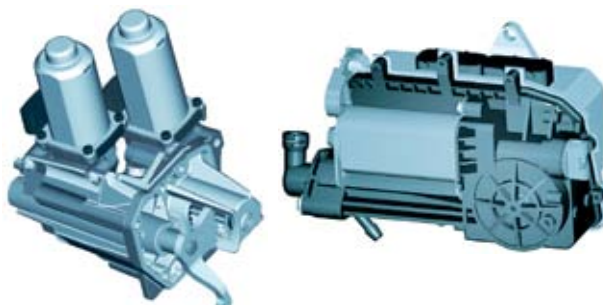


Fig. 51: Coulisse de changement de vitesses ASG (Source: Opel)



Fig. 52: Actuateur de boîte de vitesses / Actuateur d'embrayage



## 8 Les boîtes de vitesses à double embrayage offrent dynamisme et efficacité

### Les boîtes de vitesses parallèles PSG - deux boîtes en une

L'augmentation permanente des coûts du carburant contraint les fabricants automobiles à développer des concepts innovants permettant de réduire la consommation et les émissions. Cela vaut notamment pour les boîtes de vitesses automatiques qui ne parvenaient pas encore à satisfaire les attentes des automobilistes en terme de confort et à optimiser en même temps la consommation des véhicules.

Cependant, en réunissant les avantages des boîtes de vitesses automatiques et ceux des boîtes manuelles, les constructeurs ont réussi à développer une boîte de vitesses automatique confortable, combinant l'efficacité et la réactivité des boîtes manuelles (illustration 54).

### Principe de base de la boîte de vitesses parallèle

L'idée de base de la boîte de vitesses parallèle paraît simple: pour obtenir une grande efficacité, la boîte de vitesses doit être conçue comme une boîte manuelle. Or, pour obtenir le confort offert par la boîte de vitesses automatique, il faut pouvoir passer les rapports sans aucune interruption de la force de traction. Pour ce faire, la boîte de vitesses parallèle est scindée en deux boîtes partielles. Sur l'une de ces boîtes partielles sont logés les rapports pairs, sur l'autre les rapports impairs.

Chacune de ces boîtes partielles se voit attribuer un embrayage. Une commande de boîte de vitesses intelligente règle, ouvre et ferme les deux embrayages en actionnant le système de butée (illustration 53).

Fig. 53: Le couple est transmis d'une boîte partielle à l'autre sans interruption

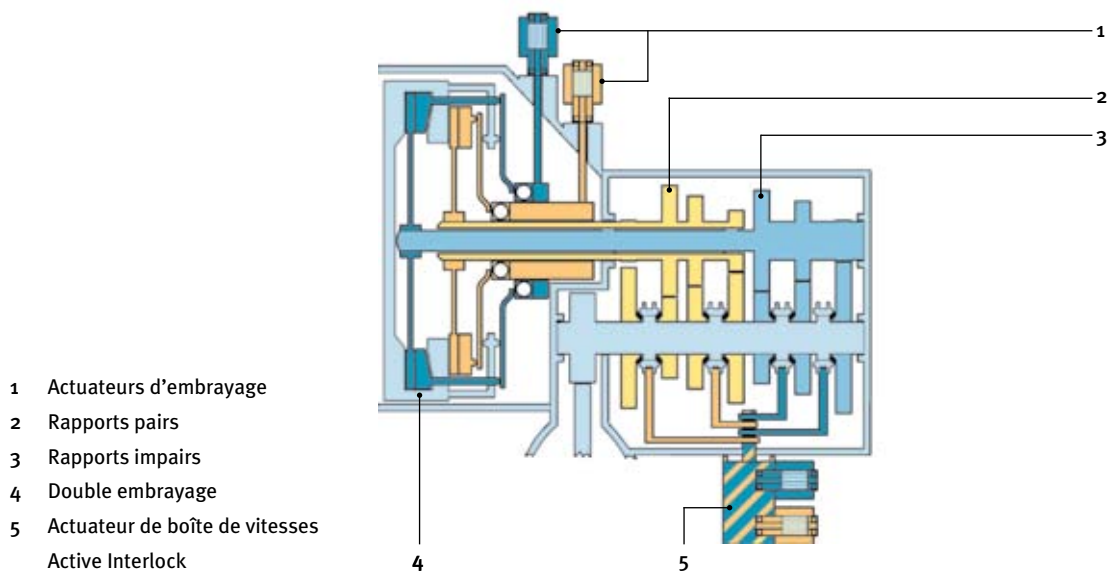
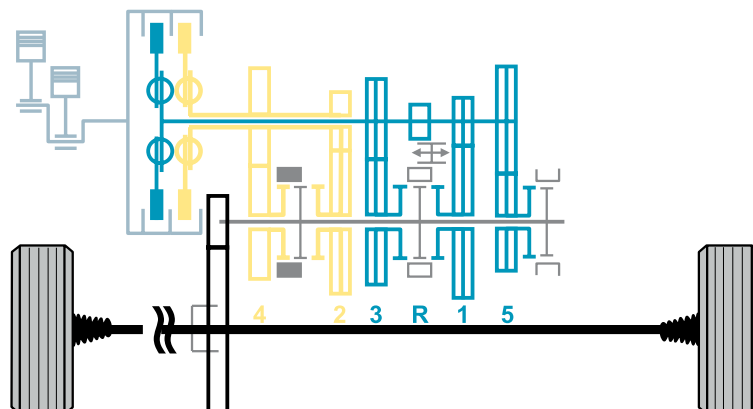


Fig. 54: Boîte de vitesses planétaire



En mode de conduite l'une des boîtes de vitesses partielles est toujours solidarisée tandis que la boîte partielle inactive présélectionne déjà le prochain rapport en fonction des conditions de conduite. Ainsi, il est possible de passer directement d'un rapport à un autre. Etant donné que les deux embrayages s'ouvrent et se ferment simultanément, le couple peut être transmis d'une boîte partielle à l'autre sans interruption. Le passage et la sélection des vitesses se font automatiquement sans que le conducteur s'en rende compte.

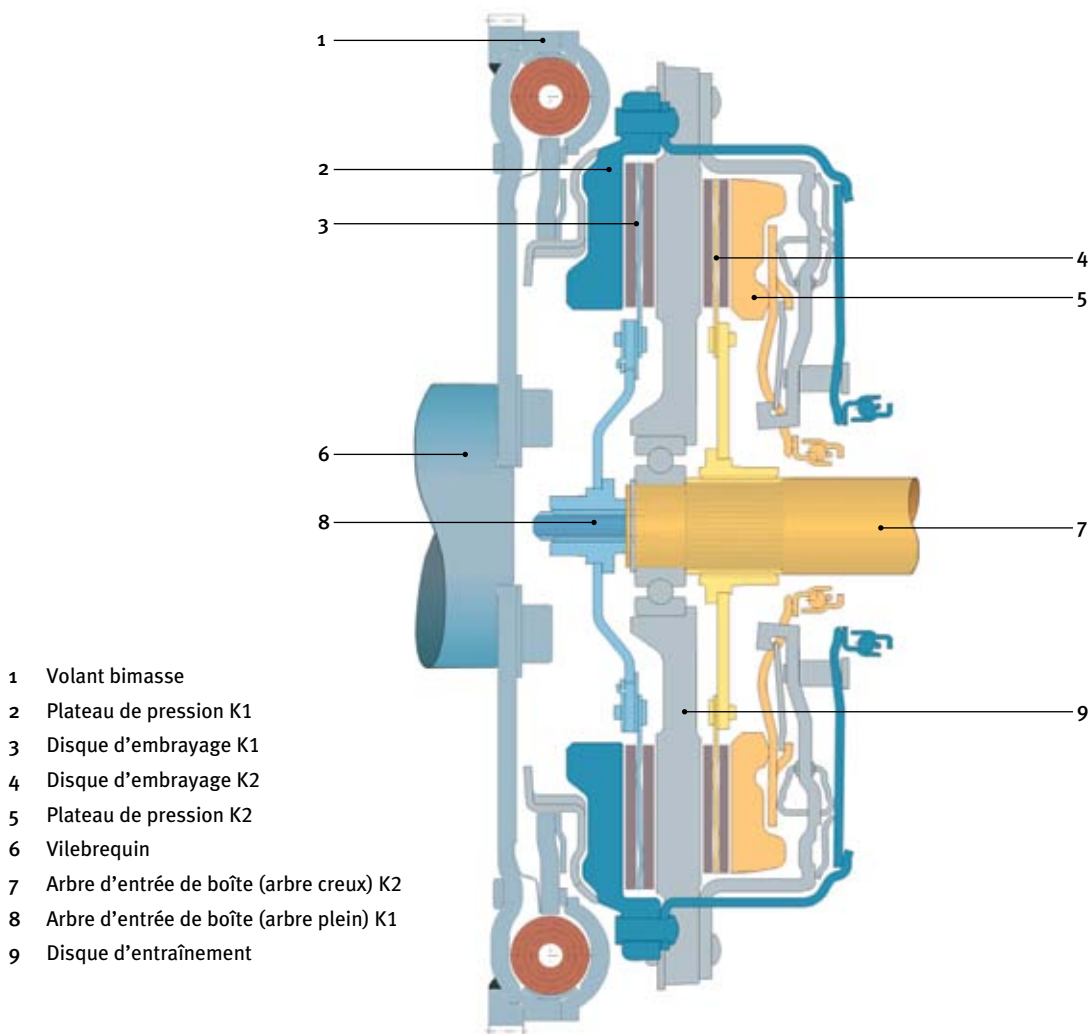
Le défi posé aux ingénieurs consiste à loger deux boîtes de vitesses en parallèle dans un espace aussi réduit que possible.

## Conception du double embrayage

Le cœur de cette boîte de vitesses est le double embrayage (illustration 55). C'est lui qui doit transmettre le couple moteur aux deux boîtes de vitesses partielles. Les deux boîtes partielles sont disposées l'une derrière l'autre et entraînent avec leurs disques d'embrayage les deux arbres d'entrée de boîte emboîtés l'un dans l'autre.

Du fait de leur poids, le double embrayage et le volant bimasse ne sont pas logés sur le vilebrequin comme c'est le cas pour les embrayages manuels, mais sur l'arbre d'entrée de boîte 2.

Fig. 55: Conception du double embrayage



Le couple moteur est transmis au plateau central du double embrayage via la denture intérieure du volant bimasse. Lorsque l'un des deux embrayages est actionné, le couple est transmis du plateau de pression à l'arbre d'entrée de boîtes correspondant en passant par le disque d'embrayage (illustration 56).

Etant donné que les deux embrayages sont actionnés du même côté, l'embrayage 1 subit une inversion de force, permettant de convertir la pression du système de butée en une traction au niveau du plateau de pression. Cela permet de coincer le disque d'embrayage entre le plateau central et le plateau de pression et de transmettre le couple voulu.

Pour l'embrayage 2, une telle inversion de force n'est pas requise. Le ressort du levier s'appuie sur le couvercle de l'embrayage et pousse le plateau de pression en direction du plateau central (illustration 57).

Tout comme le SAC de LuK, le double embrayage dispose, lui aussi, d'un mécanisme de compensation permettant de compenser automatiquement l'usure du disque d'embrayage pendant toute sa durée de vie. Ce mécanisme garantit les courses faibles et constantes pendant toute la durée de vie. La courbe caractéristique constante de l'embrayage offre de grands avantages pour la commande et le réglage de ce type de systèmes.

## **Avantages et innovations des boîtes de vitesses parallèles**

La plus grande innovation dans ce domaine est certainement le double embrayage. Contrairement aux boîtes des vitesses à double embrayage connues sur le marché, le double embrayage nouvellement développé fonctionne à sec. Son concept se distingue par sa grande efficacité qu'il doit au fait que les garnitures d'embrayage ne baignent pas dans un bain d'huile. L'ouverture importante de la boîte de vitesses à 7 rapports utilisée a permis de réduire de façon significative la consommation et les émissions de CO<sub>2</sub>. Dans certaines applications la consommation des boîtes de vitesses parallèles peut même atteindre un niveau inférieur à celui des boîtes manuelles.

L'utilisation et le confort de cette nouvelle génération de boîtes de vitesses sont au même niveau que ceux des boîtes automatiques. L'embrayage est conçu de sorte à permettre le mouvement du véhicule en première et en marche arrière sans que le conducteur ait besoin d'appuyer sur la pédale. Cela facilite considérablement les manœuvres et le stop-and-go. Le démarrage en revanche rappelle la conduite avec une boîte manuelle. Etant donné qu'il n'y a plus besoin d'embrayer ni de passer les vitesses, la pédale d'embrayage a été supprimée et le levier de vitesses remplacé par un sélecteur. Bien évidemment, le conducteur peut également changer les vitesses manuellement en mode Tiptronic.

Depuis début 2007, la première boîte de vitesses mondiale avec double embrayage à sec est fabriquée en grande série. Ce concept de boîte de vitesses/embrayage permet de conjuguer efficacement le confort, la réactivité du véhicule et l'économie de carburant.



Fig. 56: Embrayage 1 fermé

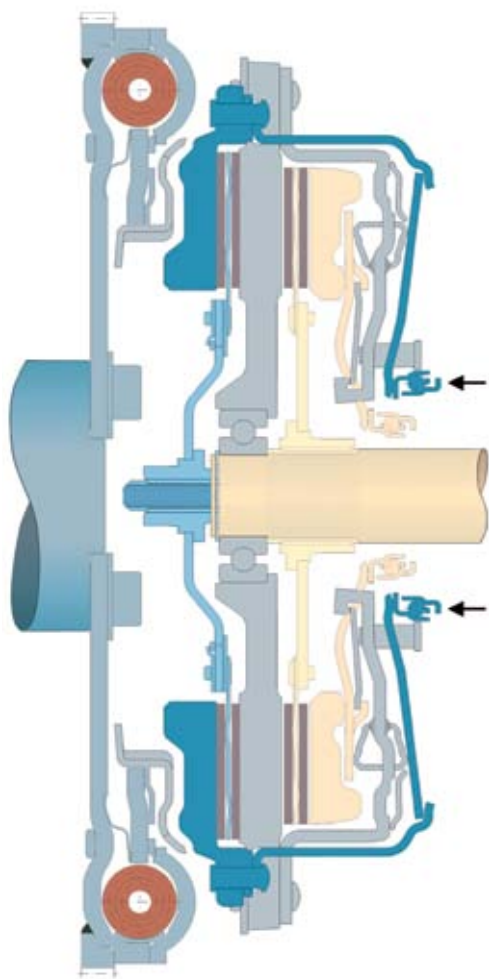


Fig. 57: Embrayage 2 fermé

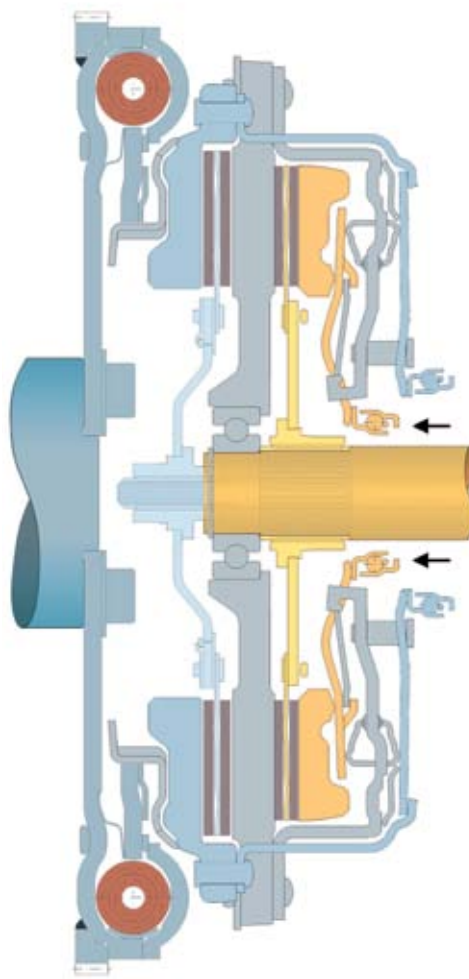
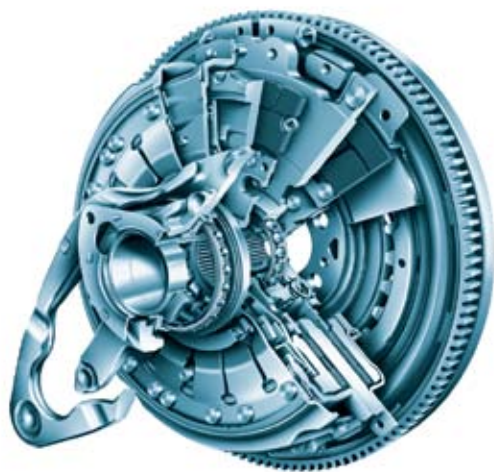


Fig. 58: Double embrayage



## 9 La boîte de vitesses CVT : le confort en continu

### Continuously Variable Transmission CVT – boîte de vitesses à variation continue

Les boîtes automatiques à rapports étagés et les boîtes de vitesses manuelles fonctionnent avec des rapports fixes et de ce fait, ne permettent pas toujours une exploitation optimale du moteur. Ceci n'est possible que si l'on réussit à évoluer en continu entre la transmission maximale (démarrage) et la transmission minimale. La suppression des étages fixes améliore très nettement le confort de conduite et les performances du véhicule et permet de réduire simultanément la consommation.

Depuis 1993, LuK s'est appliqué à développer des composants pour boîtes de vitesses à variation continue sur le principe dit d'enroulement, avec pour objectif d'obtenir un couple moteur transmissible de 300 Nm tout en améliorant les performances et en réduisant la consommation de carburant. L'aboutissement de ses recherches a permis à LuK de se démarquer clairement de la concurrence.

Selon ce principe, la chaîne LuK est guidée entre deux jeux de poulies coniques constitués respectivement d'un disque fixe et d'un disque mobile. Le disque mobile, logé sur l'arbre, peut coulisser axialement sous la commande d'un système hydraulique. Le déplacement axial du disque mobile entraîne une modification du rayon de rotation de la chaîne et de ce fait du rapport de transmission.

Comme dans l'embrayage, la transmission du couple est effectuée par friction. Cela suppose donc que les forces de pression exercées sur les poulies coniques soient suffisamment élevées pour pouvoir assurément transmettre le couple moteur, d'une part, et les couples de pointe côté roue d'autre part, sans que l'élément d'enroulement ne patine. Le serrage et le déplacement des poulies coniques sont opérés par un mécanisme hydraulique.

### Conception de la technologie CVT

Outre l'ajustement du rapport souhaité, la boîte de vitesses doit assurer toute une série d'autres fonctions. Le démarrage et la marche arrière n'en sont que deux parmi tant d'autres. L'illustration ci-dessus correspond à la représentation graphique de la boîte de vitesses CVT de la multitronic® AUDI (illustration 59), telle qu'elle est proposée en série depuis 1999 dans différents modèles.

On reconnaît sur l'illustration 59 l'engrenage planétaire avec marche avant et marche arrière. Il s'agit là d'un double jeu planétaire réalisant une transmission identique en marche avant et en marche arrière. Tout comme le serrage et le déplacement, ces fonctions sont également assurées par la commande hydraulique de

l'embrayage correspondant. Le système hydraulique, quant à lui, est piloté par une commande électronique.

Le démarrage dans la multitronic® est assuré par un embrayage multidisques humide. Il est également possible d'utiliser pour la boîte de vitesses CVT des convertisseurs de couples hydrodynamiques ou encore des embrayages hydrauliques. Le couple est transmis au jeu de poulies coniques primaire via une roue dentée. Cette roue dentée permet d'adapter la transmission globale à différents moteurs. Sur le jeu de poulies primaire, on aperçoit le capteur de couple à double caractéristique, dont le rôle fera ultérieurement l'objet d'une description exhaustive. Les jeux de poulies fonctionnent selon le principe du double piston, c'est-à-dire avec cylindres séparés pour le serrage et le déplacement. La chaîne LuK passe entre les deux jeux de poulies. Le jeu de poulies secondaire est monté directement sur l'arbre de pignon, qui de son côté, entraîne la couronne. C'est à partir de là qu'est transmis le couple, depuis le différentiel via les flasques jusqu'aux arbres de commande du véhicule. L'illustration 60 montre le dispositif hydraulique (y compris la pompe) et la commande électronique rapportée. On reconnaît clairement le système d'entraînement de la pompe qui peut être à engrenage interne ou à palette.

### La transmission continue par friction

Seule une pression de contact suffisante, quels que soient la vitesse et le mode de conduite adoptés, permet de transmettre l'effort par friction en continu. Doser le serrage est une tâche délicate puisqu'il faut trouver le juste milieu entre le patinage et un serrage excessif qui se traduit par une réduction de l'efficacité du système. L'illustration 61 montre le rapport entre le couple d'entrée et la pression requise au niveau des poulies secondaires pour assurer la démultiplication.

En plus des variations du couple moteur, notons l'importance que jouent dans ce contexte les couples erratiques de la roue, générés par des freinages ABS sur routes bitumées ponctuées de plaques de verglas, ou encore les sauts abrupts d'un trottoir au cours desquels la roue tourne dans le vide générant d'énormes gradients de régime et de couple.

C'est en utilisant un capteur de couple hydromécanique, que LuK a réussi à palier ce problème.

Fig. 59: Audi multitronic® avec composants CVT de LuK

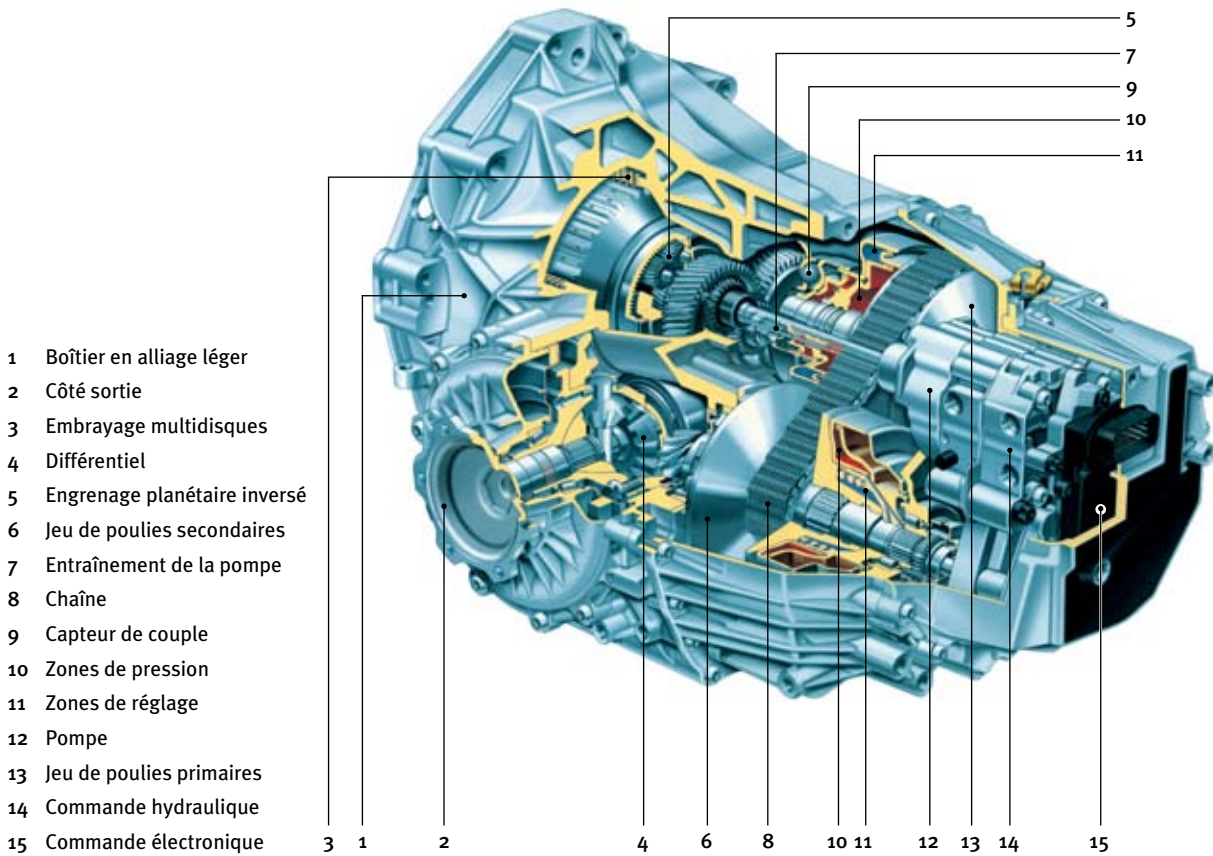


Fig. 60: Composants la CVT de LuK

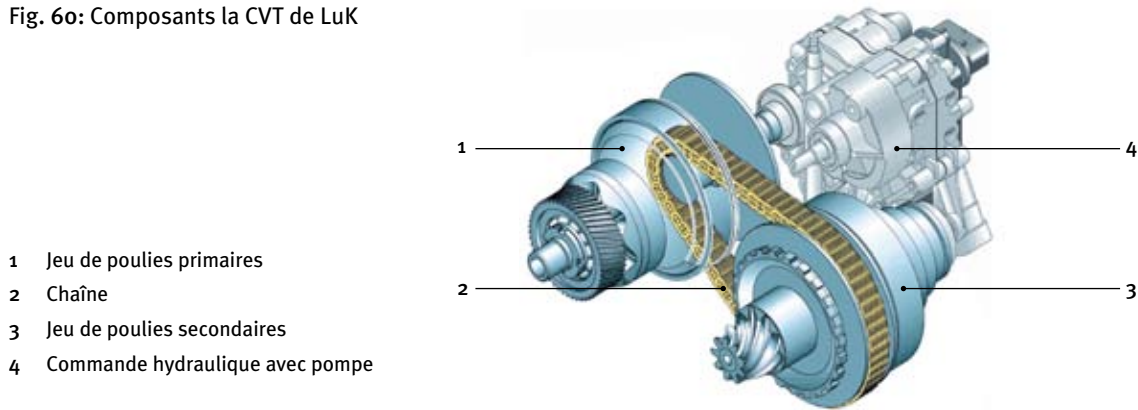
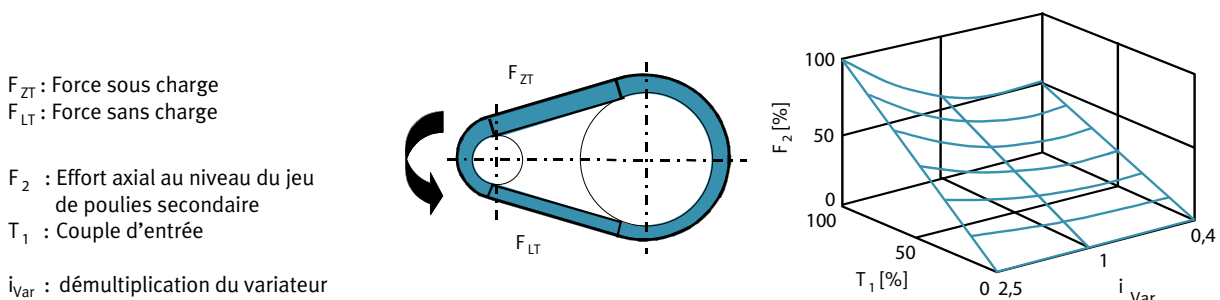


Fig. 61: Transmission continue par friction



## Le capteur de couple à double caractéristique

Le capteur de couple à double caractéristique fonctionne selon le principe présenté ci-après. La représentation dans l'illustration 62 concerne aussi bien le capteur à caractéristique simple que double.

Le couple est introduit par le biais d'un plateau à rampes, à partir duquel le flux de force est transmis par l'intermédiaire de billes au piston-capteur de couple qui coulisse axialement et s'oppose à la pression exercée par l'huile.

L'huile expulsée par la pompe s'écoule par un orifice d'écoulement dont la résistance à l'écoulement est modifiée par la translation du piston-capteur ; l'équilibre entre l'effort axial des rampes et la force de pression est ainsi assuré en permanence. De cette façon, la pression directement introduite dans le cylindre de pression est réglée par le capteur de couple de sorte à être strictement proportionnelle au couple adjacent.

Dès que survient un choc de couple, le plateau-capteur mobile obstrue l'orifice d'écoulement. Au fur et à mesure où le couple augmente, le plateau-capteur expulse l'huile de la chambre du capteur de couple dans les jeux de poulies afin d'augmenter la pression.

Cela signifie que le capteur de couple agit momentanément comme une pompe. En cas de pic de couple, cette pompe complémentaire peut à court terme produire un flux de plus de 30 l/min.

Pour réaliser une double caractéristique, la surface de pression du piston-capteur est divisée en deux parties. Dans la partie „underdrive“, où pour la transmission du couple, il est requis une force de pression importante du fait du faible rayon effectif de la chaîne, seule une zone partielle est mise sous pression. Pour compenser la force de rampe générée par le couple, le capteur de couple et le cylindre de serrage font simultanément monter la pression. Dans la partie „overdrive“, au-delà du point de commutation, les deux surfaces partielles sont mises sous pression ce qui fait que la force de pression, à couple d'entrée égal, est moindre. L'inversion de la courbe caractéristique, réalisée par l'ajout ou non de la deuxième zone partielle, est directement provoquée par le déplacement axial du cône mobile du jeu de poulies primaire.

Comme le montre l'illustration, la deuxième zone partielle de la partie „underdrive“ est ventilée avec la pression environnante par l'orifice de commutation situé à droite. Dans la partie « overdrive », ce perçage est obstrué, c'est l'orifice de commutation situé à gauche qui permet la liaison avec l'huile de pression.

Ce système fait actuellement l'objet de développements plus poussés. Le capteur de couple à double caractéris-

tique présenté peut, moyennant une modification des rampes, être proposé en version continue. En alternative, on peut utiliser un réglage de serrage électronique combiné à un serrage commandé par glissement (SGA).

## Système LuK à double piston avec capteur de couple

Dans les systèmes classiques, les deux jeux de disques, comme représentés dans l'illustration 63, sont chacun assortis d'un cylindre de pression. L'huile circule depuis la pompe jusqu'à l'unité de commande qui règle la pression dans les deux cylindres. Ces derniers assurent la double fonction de serrage et d'ajustement de la transmission.

Souvent, la surface du cylindre primaire est nettement plus importante que la surface secondaire. Ceci est principalement dû au fait que nombre de systèmes hydrauliques CVT n'offrent pas la possibilité de régler le cylindre primaire à une pression plus élevée que le cylindre secondaire. Pour réaliser une commutation rapide en direction du „underdrive“, la pompe doit fournir la totalité du flux requis par la surface secondaire du cylindre.

Dans un même temps, l'huile de pression est évacuée du jeu de poulies primaire dans la bêche, ce qui représente une perte d'énergie. La même chose vaut pour le réglage du „overdrive“. Pour satisfaire aux critères de dynamique requise, l'utilisation d'une pompe à haut volume est indispensable, ce qui est n'est pas sans influencer la consommation en énergie de la pompe.

Dans le système à double piston de LuK, les surfaces du cylindre sont divisées en zones de serrage, représentées en jaune, et en zones - plus petites - de réglage (en bleu ou vert). Le serrage est assuré par le capteur de couple à deux caractéristiques que nous avons déjà présenté. Pour le réglage, il suffit d'un plus petit flux de volume pour les petites zones de réglage. Lors d'un réglage du variateur à haut niveau de pression, l'huile de pression circule directement d'un jeu de poulies à l'autre sans qu'il y ait besoin de beaucoup d'énergie. Comparé aux systèmes classiques, le principe du double piston de LuK permet l'utilisation d'une petite pompe ce qui améliore l'efficacité de la boîte de vitesses et contribue de ce fait à une réduction de la consommation en carburant.

## Conception du jeu de poulies primaire

L'illustration 64 montre la conception du jeu de poulies primaire, assorti du système à double piston de LuK avec capteur de couple à double caractéristique dont le fonctionnement a déjà fait l'objet d'une description détaillée. L'acheminement de l'huile vers le cylindre de serrage est représenté en rouge, et l'alimentation du cylindre de réglage est représentée en vert. La chambre 2 du capteur de couple ainsi que son alimentation sont illustrées en bleu. La transmission du couple entre l'arbre et le disque est assurée par un engrènement dentelé.

Fig. 62: Capteur de couple à simple et à double caractéristique

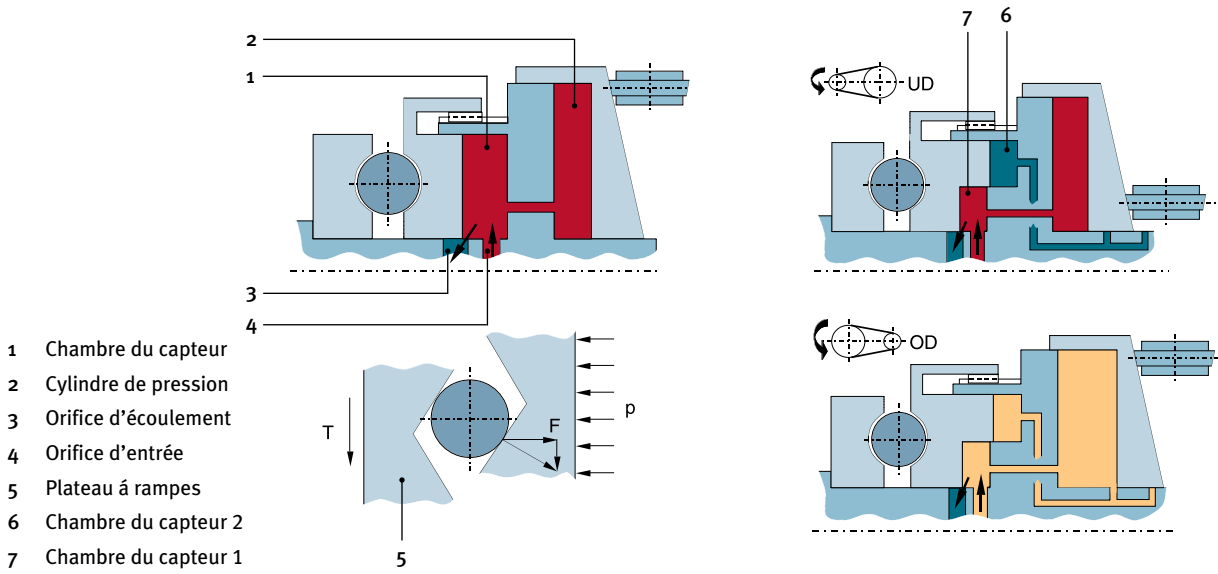


Fig. 63: Comparaison entre un système hydraulique classique et le système LuK

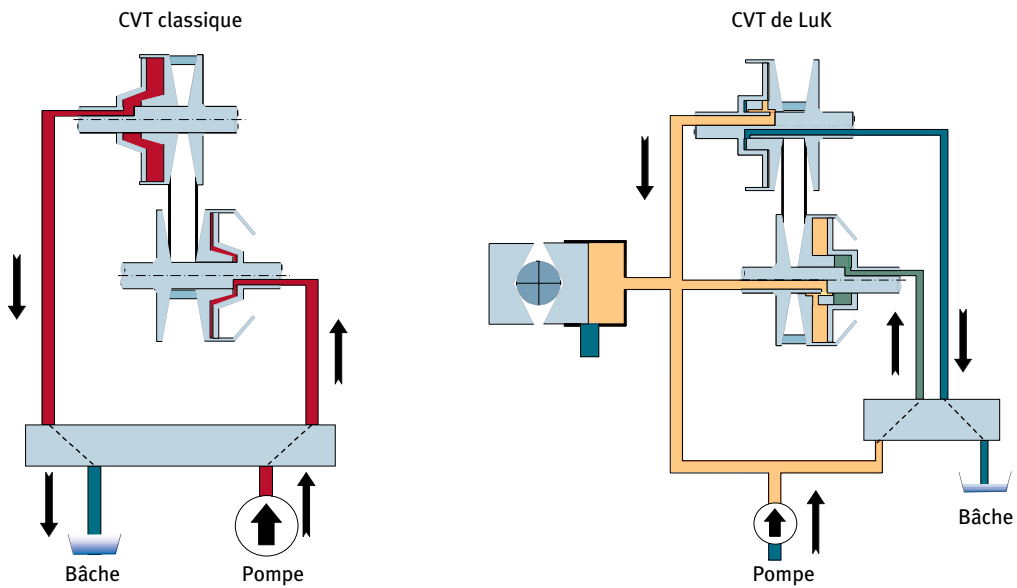
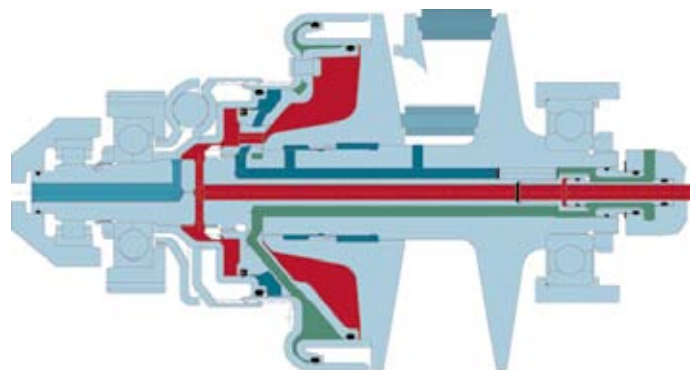


Fig. 64: Jeu de poulies 1 avec capteur de couple intégrée (représentation schématique)



L'acheminement de l'huile vers le cylindre de serrage est représenté en rouge, et l'alimentation du cylindre de réglage est représentée en vert. La chambre 2 du capteur de couple ainsi que son alimentation sont illustrées en bleu. La transmission du couple entre l'arbre et le disque est assurée par un engrènement dentelé.

L'utilisation pour les jeux de disques de pièces en tôles obtenues par formage a permis une fabrication peu onéreuse. De plus, LuK a pu puiser dans les expériences acquises en matière de construction d'embrayages. La géométrie des composants a été constamment améliorée au moyen de calculs par éléments finis pour utiliser de façon optimisée l'ouverture maximale admise.

Des joints gainés assurent l'étanchéité dynamique tandis que l'étanchéité statique est garantie par des joints toriques.

### Schéma simplifié du système hydraulique CVT avec embrayage de démarrage

L'illustration 65 montre de façon simplifiée le système hydraulique CVT avec embrayage de démarrage. Le système est alimenté par une pompe dotée en amont d'un filtre à aspiration. Sont notamment concernées par cette alimentation, la soupape dite d'assistance, la soupape de démultiplication et la soupape d'embrayage. Le tiroir assure la pression de l'embrayage en avant et en arrière.

La soupape d'assistance agit en régulateur de pression. Elle a pour rôle, quand il a été capté peu de pression alors que le besoin pour la démultiplication est important, de satisfaire ce besoin. En fonction du mode de fonctionnement, c'est soit la pression du capteur de couple, soit la pression de réglage de l'un des jeux de disques qui est déterminante.

Un offset garantit l'existence permanente de la pression pilote. Dans la présente illustration, les conduites de la pression pilote ne sont pas représentées. L'huile qui s'écoule par l'orifice d'écoulement du capteur du couple, est acheminée jusqu'au radiateur et utilisée pour le refroidissement et la lubrification du système.

Avec ses 9 tiroirs et ses 3 vannes proportionnelles, la commande est compacte et légère. Sous pleine charge, la pression monte jusqu'à 60 bars, avec des pics jusqu'à 100 bars. La très grande précision dans la fabrication du système permet de créer de petits jeux de tiroirs limitant les fuites.

### La chaîne Luk

C'est sur la base de la chaîne à maillons de la société P.I.V. Antrieb Werner Reimers que LuK a assidûment travaillé sur l'évolution de la chaîne CVT. Dans le but de l'appliquer à l'automobile, LuK a focalisé ses efforts sur le renforcement de la solidité de la chaîne et l'optimisation de son comportement acoustique.

L'illustration 66 montre une chaîne supportant un couple de jusqu'à 300 Nm. Elle est composée d'une enfilade de maillons de tailles différentes, de broches transversales permettant l'articulation et d'éléments de sécurité.

La chaîne CVT est caractérisée par les propriétés suivantes :

- Elle permet de réduire la consommation de carburant et d'obtenir une parfaite dynamique de conduite ; avantages qu'elle doit à son articulation peu soumise à friction qui permet de petits rayons sur les poulies coniques et donc une grande ouverture de la boîte de vitesses.
- La chaîne CVT permet la transmission de couples élevés. La charge reçue se répartit parfaitement sur sa structure „tricotée“.
- Cette pièce se distingue par le peu de pertes de friction internes grâce au roulement des broches transversales, garantissant par conséquent la performance de la boîte de vitesses.
- La surface frontale bombée des broches transversales et son articulation protège la chaîne du désaxage. La combinaison de cette construction et des poulies coniques à face convexe permet de limiter le désaxage dû au déplacement des poulies. Par ailleurs, la chaîne CVT résiste aux déformations des jeux de disques sous charge, aux erreurs angulaires et torsions entre les poulies coniques fixe et mobile.

Fig. 65: Schématisation simplifiée du système hydraulique

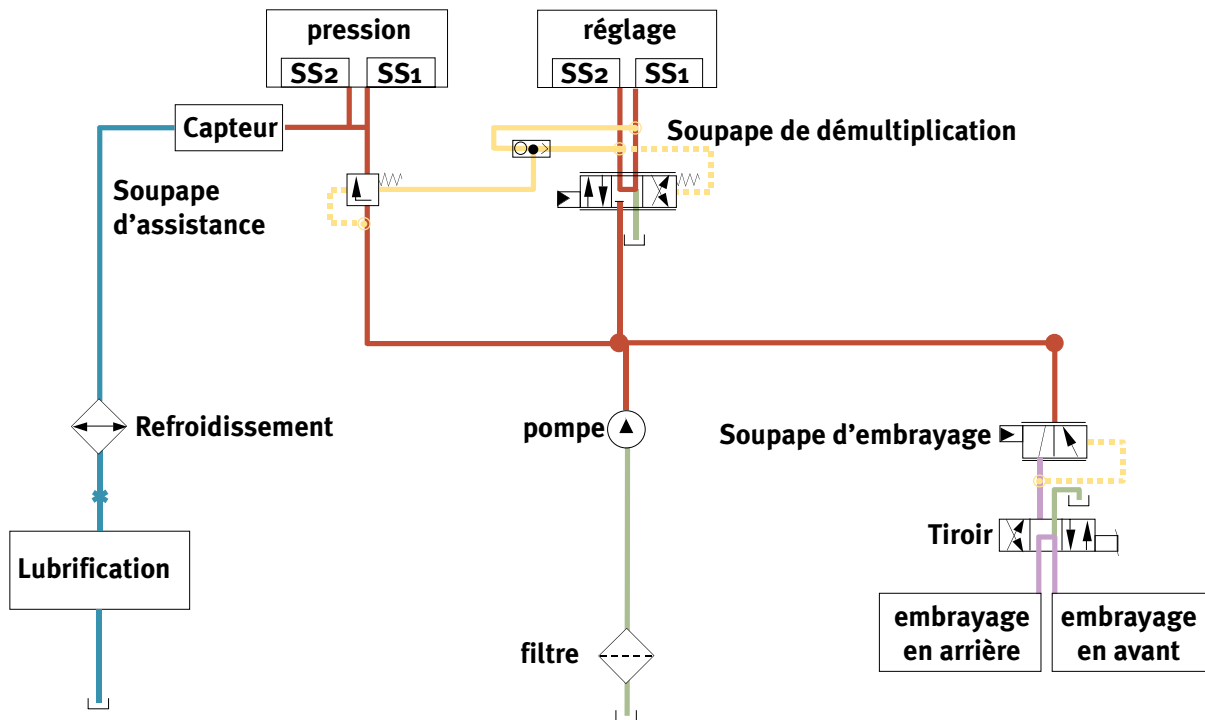
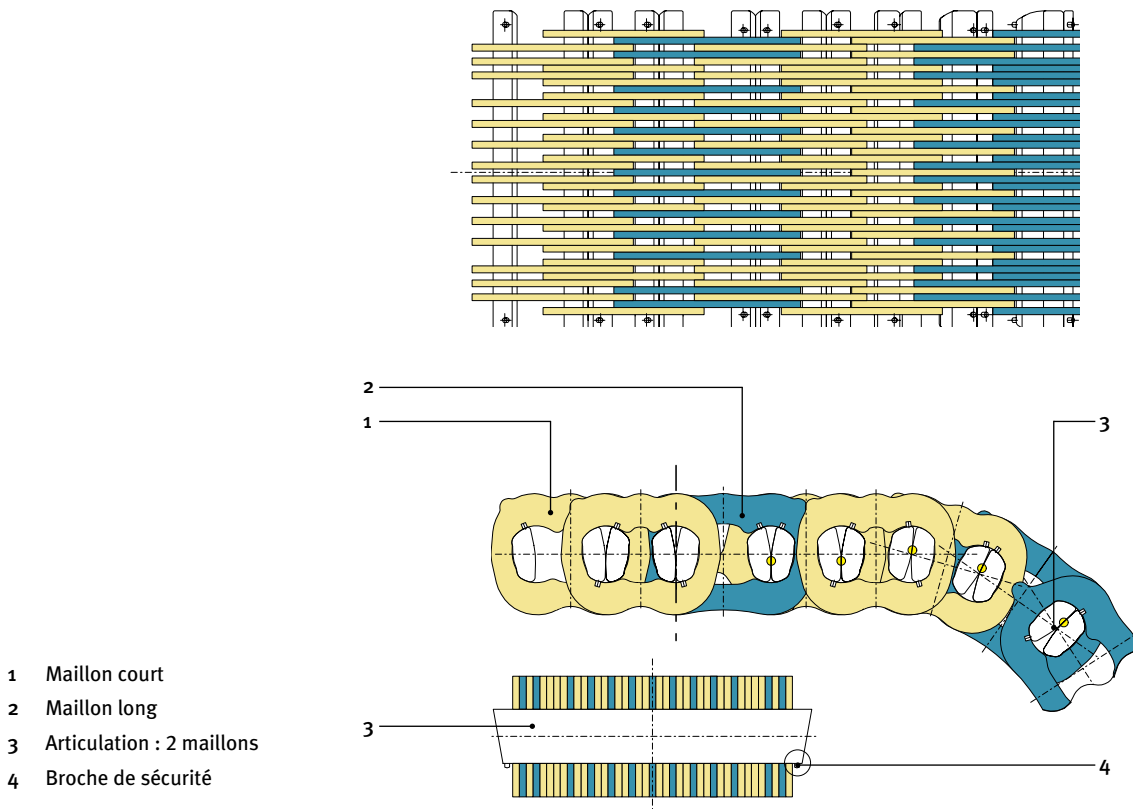


Fig. 66: Conception et composants de la chaîne LuK



## 10 Convertisseurs de couple : des systèmes robustes pour aller plus loin en consommant moins de carburant

### Le convertisseur de couple LuK – un temps d'avance grâce à l'optimisation

Depuis des années, on utilise le convertisseur de couple comme élément de démarrage ou de transmission des boîtes de vitesses automatiques. Selon les pronostics, le convertisseur de couple ne sera pas entièrement évincé par les nouveaux concepts. En effet, l'actuel système convertisseur-boîte de vitesses continue à faire l'objet de développements (illustration 67).

### Amortisseur de torsion

Mais comme le convertisseur de couple ne transmet le couple que lorsqu'il y a patinage, son fonctionnement sera toujours lié à une perte d'efficacité. La solution idéale serait d'utiliser les avantages du convertisseur lors du démarrage et de fermer ensuite immédiatement l'embrayage de pontage en mode conduite. Pour prévenir bruits ou vibrations, LuK propose des amortisseurs de torsion spécialement adaptés, ultra performants et fabriqués en plusieurs millions d'exemplaires, permettant grâce à un amortissement ciblé et l'adaptation des coefficients de frottement de réduire les vibrations existantes. Contrairement aux amortisseurs classiques, l'utilisation des amortisseurs turbines de torsions développés par LuK et de doubles amortisseurs spéciaux, en combinaison avec des pendules centrifuges, permet d'éviter le patinage.

### Fonctionnement régulé à faible patinage

Une autre possibilité d'éviter les vibrations est le fonctionnement régulé à faible patinage. Pour minimiser les vibrations, LuK a développé une technologie innovante de refroidissement des garnitures de friction. De ce fait, les produits LuK se démarquent de la concurrence par leur longue durée de vie et un refroidissement efficace. Cette nouvelle technologie permet des constructions plus simples avec des garnitures standard. Un effet secondaire tout à fait positif est la longévité prolongée de l'huile de la boîte de vitesses : atout particulièrement intéressant pour les boîtes de vitesses fortement sollicitées.

Pour l'optimisation des vibrations, LuK se base sur l'expérience acquise au niveau de la chaîne cinématique et s'appuie sur les techniques de simulation précises permettant de raccourcir considérablement le temps de réalisation des projets.

### Optimisation du circuit des flux

Pour optimiser le circuit des flux, LuK utilise les programmes de simulation des flux en 3 dimensions qui permettent des pronostics anticipés. L'utilisation de ce type de logiciels permet, à performance de flux égale, de réduire l'encombrement et le moment d'inertie ou de concevoir, à encombrement égal, des convertisseurs avec une consommation de carburant moins élevée que ceux de la concurrence. Globalement, LuK propose un ensemble de convertisseurs de couple innovants et adaptables pour boîtes de vitesses automatiques qui montrent clairement que même les systèmes mûrement réfléchis peuvent encore faire des bonds en terme de performance pourvu qu'on mette les innovations pertinentes en pratique.

### Les avantages des convertisseurs de couple LuK:

- Grande efficacité hydrodynamique
- Pontage anticipé grâce à des amortisseurs innovants
- Nouveaux concepts performants pour le refroidissement des garnitures



Fig. 67: Coupe d'un convertisseur hydraulique de couple avec embrayage de pontage

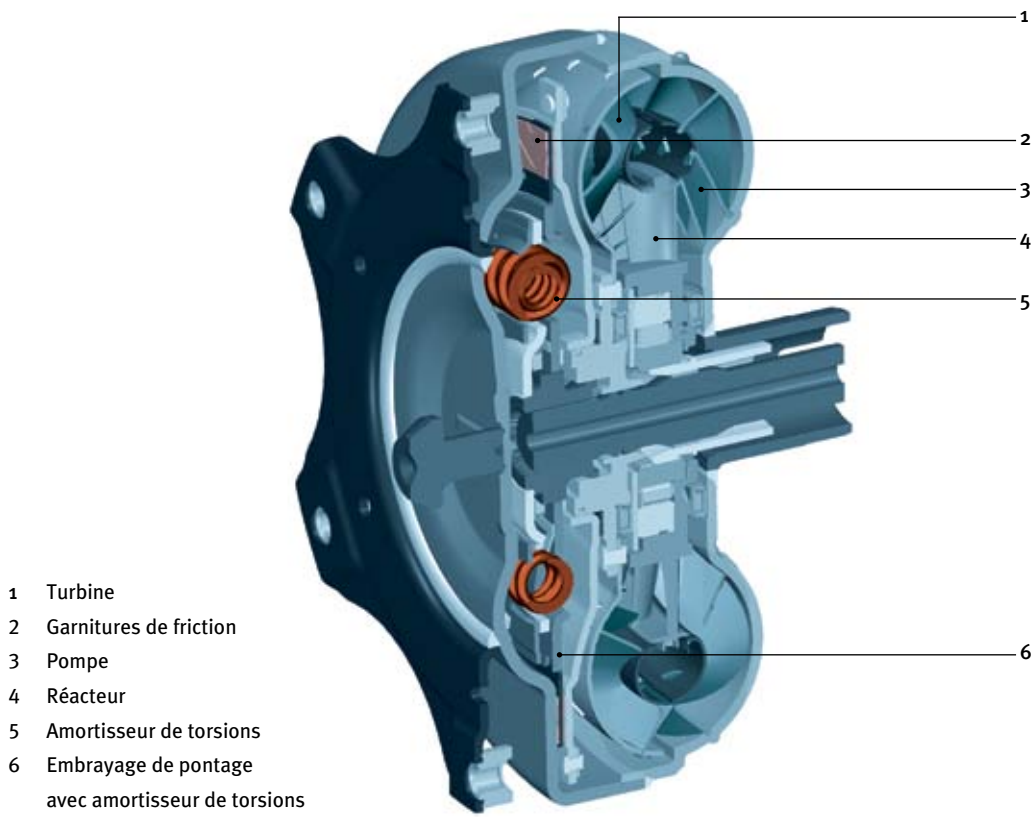
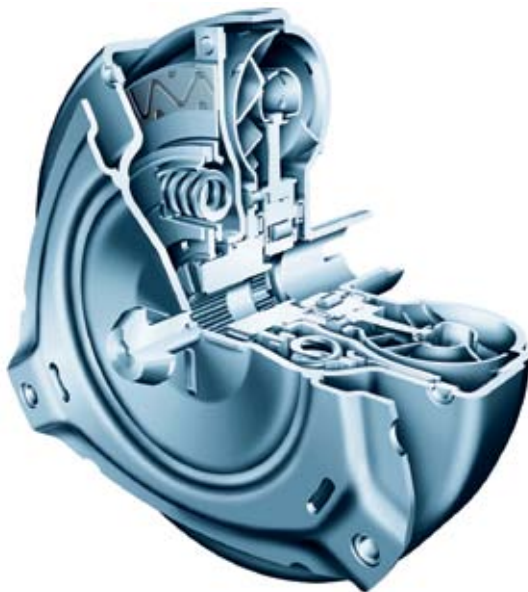


Fig. 68: Convertisseur hydraulique de couple avec embrayage de pontage



## Conclusion

Les attentes de plus en plus exigeantes en terme de confort, de fiabilité, de rentabilité et d'écologie incitent les constructeurs automobiles à poursuivre leurs efforts de développement. Les nouveaux matériaux et les énergies renouvelables font leur entrée dans les moyens de transport actuels.

LuK continuera à faire face à ce type de défis et à proposer de nouveaux composants performants pour une technologie automobile moderne.

**Accompagnez-nous sur ce chemin!**

**Pour plus de renseignements sur les embrayages,  
veuillez consulter nos sites Internet :**

**[www.Schaeffler-Aftermarket.fr](http://www.Schaeffler-Aftermarket.fr)**

**or: PERT.COM">WWW.REPPERT.COM**



						
		●	●	●	●	●
		●	●			
		●	●	●	●	
		●	●	●	●	
		●	●	●	●	
		●	●			
		●	●	●	●	