

La clé de la réussite



DANS NOTRE DERNIER NUMÉRO NOUS AVONS ABORDÉ L'IMPORTANCE DES TRAINS ROULANTS DANS LE COMPROMIS CONFORT TENUE DE ROUTE ET PARLÉ NOTAMMENT DE LA SUSPENSION HORIZONTALE. DANS LE PRÉSENT ARTICLE NOUS EXPLIQUONS LES ARTICULATIONS ÉLASTIQUES ET LEUR RÔLE IMPORTANT. ELLES CONDITIONNENT L'EFFICACITÉ DES TRAINS ROULANTS ET LE BON FILTRAGE.

Les liaisons élastiques sont des pièces qui permettent de réunir deux organes entre eux tout en laissant une certaine flexibilité au niveau de la liaison entre ces organes. Elles sont constituées d'éléments métalliques ou en matériau composite, appelés armatures, et d'éléments élastomériques (en général à base de caoutchouc naturel). Les armatures servent de face d'ancrage pour les organes qui sont reliés par les liaisons élastiques, alors que les pavés en élastomère assurent la flexibilité relative entre les pièces. En fait, les pavés élastomériques assurent non seulement une fonction de flexibilité, mais également une fonction d'amortisseur. Au niveau des liaisons au sol il est très fréquemment fait appel à des liaisons élastiques car, lorsqu'elles sont judicieusement employées, elles permettent de garantir un bon contrôle des mouve-

ments de la roue tout en procurant un effet appréciable de filtrage des perturbations sonores et vibratoires. En effet la partie élastomérique joue le rôle d'un filtre dont le fonctionnement s'apparente à celui d'un ensemble ressort amortisseur. Pour obtenir un bon résultat, il convient de disposer des éléments filtrants sur tous les chemins potentiels de transmission (solidienne) des vibrations et bruits. On trouve donc les liaisons élastiques en de très nombreux endroits : au niveau des bras de suspension, des ressorts de suspension, des amortisseurs, des barres anti-dévers, du berceau, de la direction ... Elles ont des formes très variées afin de répondre à la nature du guidage que souhaite le concepteur, mais elles ont également des réglages spécifiques en terme de flexibilité et d'amortissement. Ces derniers sont obtenus grâce au choix du

mélange chimique qui conditionne les propriétés physiques de l'élastomère, et grâce aussi à la mise en forme géométrique des pavés élastomériques. De ces choix de conception résultent les performances des liaisons au sol en terme de confort et de comportement routier. Il s'agit donc d'un axe prioritaire de développement pour les ingénieurs en charge de la conception et de la mise au point du comportement dynamique des véhicules.

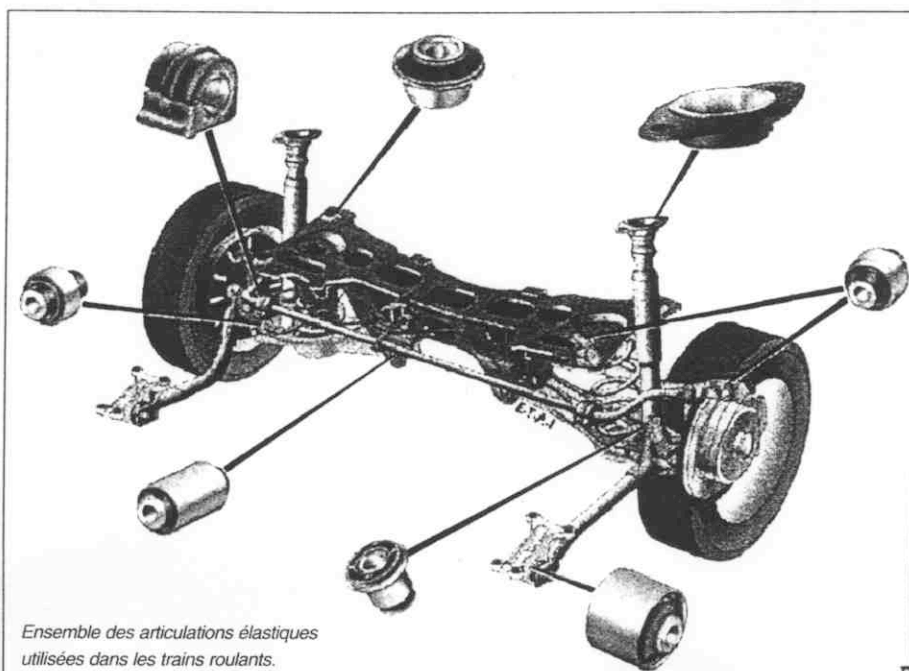
Variété des formes et des usages

La forme la plus basique de liaison élastique est la "liaison cylindrique". Elle est constituée de deux armatures cylindriques concentriques qui sont reliées entre elles par un pavé en élastomère. On trouve très fréquemment ce type de

site d'un châssis

liaisons élastiques au niveau des ancrages d'amortisseur ou des vérins de direction (lorsqu'ils sont montés en parallèle du carter de crémaillère). Typiquement, l'armature extérieure sera emmanchée à force dans un orifice ménagé au niveau du corps d'amortisseur (ou du vérin) alors que l'armature intérieure sera solidarisée, par l'intermédiaire d'une vis, à l'élément sur lequel on souhaite fixer l'amortisseur (par exemple un longeron d'essieu) ou le vérin (dans ce cas il s'agit du carter de direction). Dans ce type d'usage on recherche moins la capacité de filtrage que la tolérance que confère ce type de montage par rapport à des défauts d'alignement des différentes pièces entre elles. L'épaisseur du pavé élastomérique est relativement faible et les caractéristiques de l'élastomère sont déterminées de telle sorte à garantir la tenue en fatigue de l'assemblage ainsi réalisé. Une autre utilisation fréquente de ce type de liaison se situe au niveau des axes de bras de suspension. Elles sont alors souvent appelées articulations élastiques car elles permettent " l'articulation " en rotation du bras par rapport à son support. Elles fonctionnent à l'instar d'un roulement à aiguille en présentant le double avantage d'un prix plus attractif et d'une fonction de filtrage (que ne possède pas le roulement). A l'inverse leur capacité angulaire (c'est-à-dire l'angle maximal autorisé en fonctionnement entre l'armature externe et l'armature interne) est moindre que celle d'un roulement ce qui peut parfois interdire leur usage sur certains liaisons entre pièces (par exemple sur certains véhicules à très grands débattements de suspension).

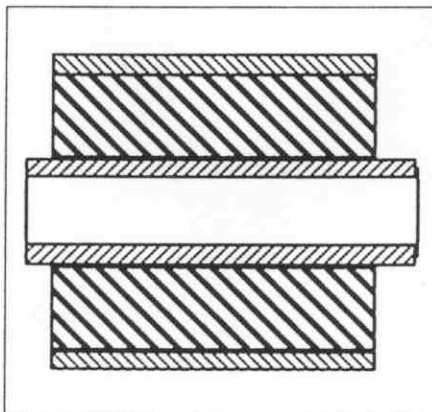
La liaison cylindrique à collerette est dérivée de la conception précédente. Elle s'en distingue par le fait qu'à une, au moins, des extrémités se trouve une collerette recouverte d'élastomère. Globalement le fonctionnement est le même que pour la liaison cylindrique, mais la présence de la collerette permet d'autoriser une fonction supplémentaire pour limiter les débattements axiaux de la liaison élastique. En effet la collerette agit comme une butée,



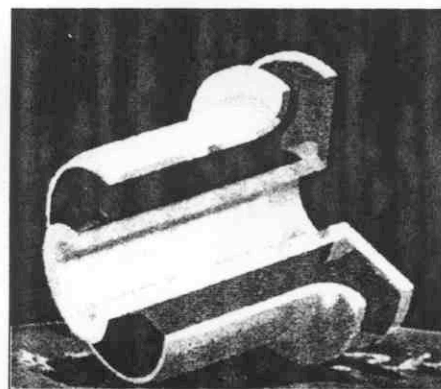
Ensemble des articulations élastiques utilisées dans les trains roulants.



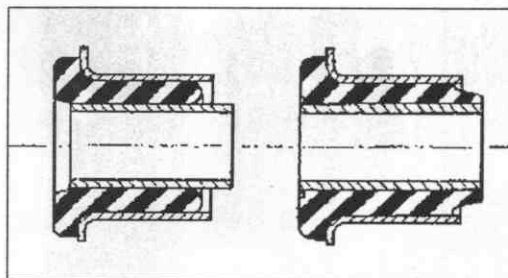
Liaison élastique cylindrique et son schéma de principe.



puisque lors du déplacement axial de l'armature extérieure le bourrelet d'élastomère va venir en contact avec une face d'appui extérieure. La forme du



Liaisons élastiques à collerettes avec épaulement sur armature intérieure

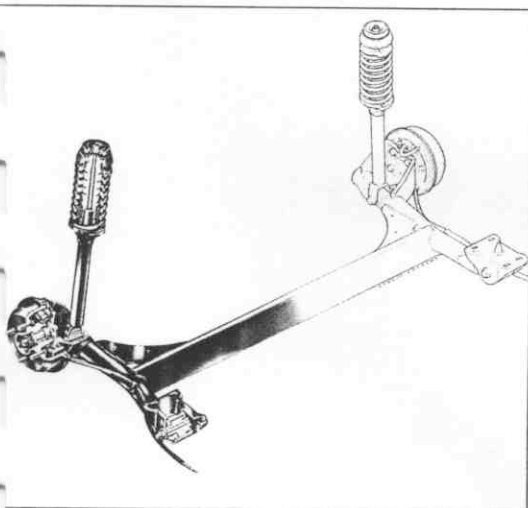


bourrelet permet d'obtenir une limitation progressive, c'est-à-dire telle que l'effort nécessaire au déplacement soit de plus en plus élevé à mesure que le bourrelet se comprime. Cette fonction est très utile au niveau des bras de suspension pour limiter les déplacements longitudinaux de la roue dus à la "Suspension Horizontale de Roue".

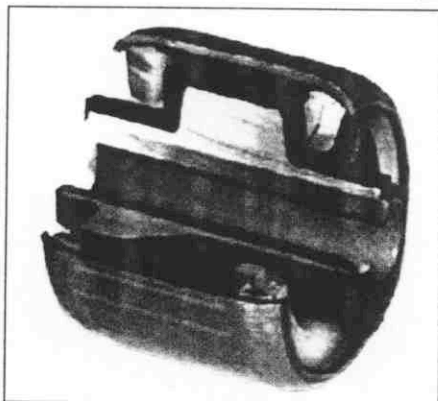
Mais il peut également être utile pour

optimiser la Suspension Horizontale de Roue de distinguer la flexibilité de la liaison élastique en fonction du sens des déplacements. Typiquement pour un bras oscillant (c'est-à-dire positionné transversalement par rapport au véhicule) il est judicieux d'avoir simultanément :

- une grande flexibilité longitudinale (pour abaisser les fréquences propres de Suspension Horizontale de Roue).
- une limitation des déplacements longitudinaux du centre de roue (en raison de la grande flexibilité longitudinale il faut prévoir des butées afin de ne pas risquer d'interférences entre la roue et son environnement consécutifs à une amplitude trop importante des déplacements),
- une grande rigidité transversale



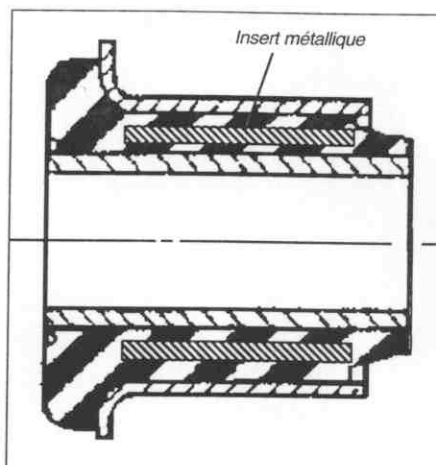
Articulation autobraqueuse (train arrière Ford Fiesta).



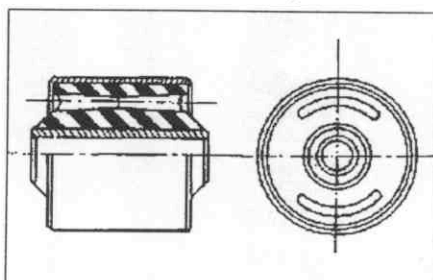
(pour ne pas compromettre la qualité du guidage cinématique du véhicule, notamment en virage),

- une grande flexibilité en torsion (pour ne pas perturber le fonctionnement de la suspension verticale du véhicule).

Une solution intéressante pour répondre à ces exigences consiste à avoir recours à une liaison élastique cy-



Liaison élastique avec insert métallique.



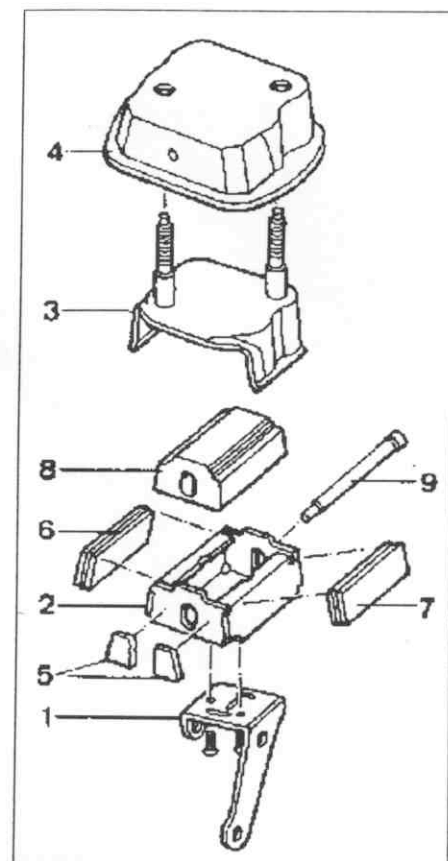
Liaisons cylindriques alvéolées.

lindrique alvéolée avec inserts. L'idée de base repose sur une exploitation optimale des propriétés physiques des élastomères. Pour bien comprendre les phénomènes mis en jeu, il est utile de rappeler quelques caractéristiques comportementales des élastomères. Plus particulièrement nous nous intéresserons ici à trois d'entre elles.

- L'aptitude à l'élongation : une éprouvette soumise à ses extrémités à deux forces de même direction (perpendiculaire à la face sollicitée) mais de sens opposé (vers l'extérieur de l'éprouvette) tend à s'allonger, la valeur de cet allongement étant proportionnel à l'intensité des forces ; la courbe représentant l'allongement en fonction de la force est caractéristique de la flexibilité du matériau.

- L'aptitude au cisaillement : une éprouvette soumise à ses extrémités à deux forces de même direction (parallèle à la face sollicitée) mais de sens opposé tend à s'allonger, la valeur de cet allongement étant proportionnel à l'intensité des forces ; ce qui diffère par rapport à la propriété précédente, c'est la direction des forces (tangentielle ici, alors qu'elle était perpendiculaire à la face pour la manipulation relative à l'élongation).

- L'incompressibilité : une éprouvette, placée dans un espace confiné et soumise à ses extrémités à deux forces de

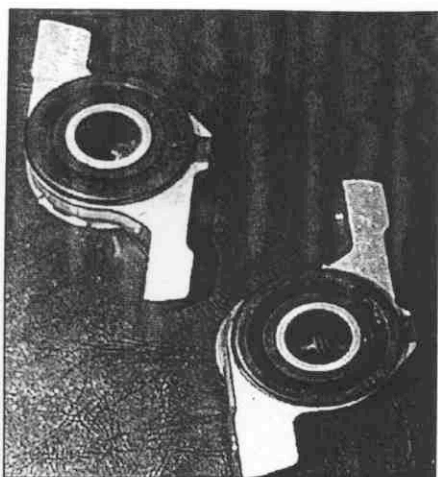


Liaison élastique à effet auto-directionnel. 1 Chape métallique. 2 Armature intérieure. 3 Armature intermédiaire. 4 Armature extérieure. 5 Butées longitudinales. 6 Insert métallique. 7 Pavé latéral. 8 Pavé central. 9 Axe de sécurité.

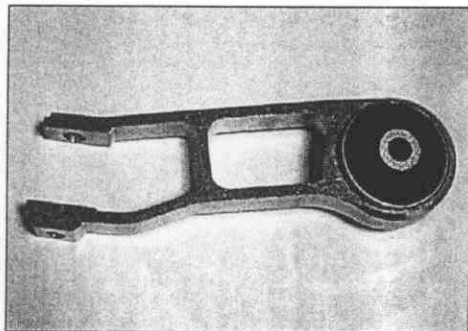
même direction (perpendiculaire à la face sollicitée) mais de sens opposé (vers l'intérieur de l'éprouvette) ne présente pas de déplacement significatif au niveau des faces sollicitées.

Ainsi, pour pouvoir différencier de façon notoire la flexibilité de la liaison en fonction du sens des efforts, il suffit donc de faire en sorte que l'élastomère travaille judicieusement. Par exemple, on fera travailler l'élastomère en cisaillement, ou en élongation, pour les directions devant correspondre à une grande flexibilité. A l'inverse, on fera travailler en compression l'élastomère lorsqu'on souhaite obtenir une très grande rigidité. Ultime raffinement, on peut, même dans le sens de la compression, obtenir un certain niveau de flexibilité, en prenant soin de réaliser localement un vide au niveau du pavé élastomérique. Un tel vide est appelé alvéole. Un pavé alvéolé présente en effet une aptitude à la compression puisque l'alvéole est, par essence même, compressible (elle est vide de matière !).

Dans la pratique les pavés d'élastomère tels que disposés dans les pièces réelles disposent en général de deux surfaces libres. A ce titre ils ne sont pas véritablement dans un espace to-

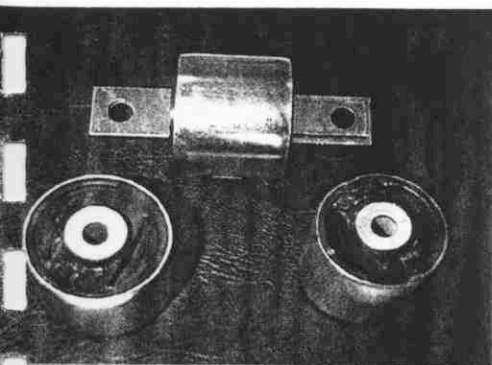


Pièce hydraulique montée sur le train avant de l'Alfa Romeo 156.

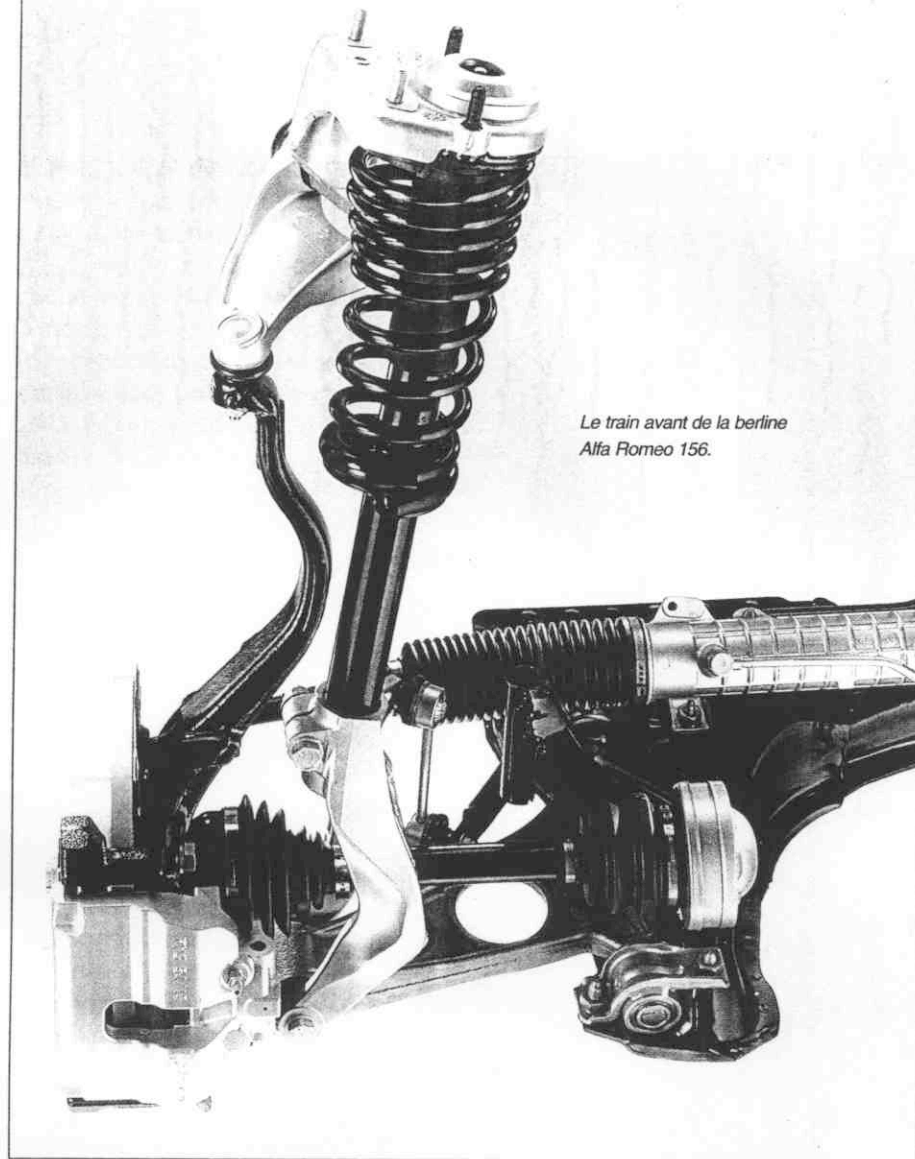


talement confiné et présentent donc une (petite) flexibilité en compression. Pour diminuer ce " reliquat " de flexibilité, sans pour autant affecter de façon significative la flexibilité dans les autres directions, on utilise la technique du feuilletage. Elle consiste à noyer dans le pavé d'élastomère des inserts métalliques (comme dans un mille-feuilles de pâtisserie). La présence de l'insert augmente la rigidité vis-à-vis des efforts s'exerçant perpendiculairement à lui (augmentation de l'incompressibilité), mais n'a que peu d'influence sur les autres directions car celles-ci correspondent à un travail en cisaillement.

La liaison cylindrique alvéolée avec insert réunit ces différentes techniques. Elle est constituée de deux armatures



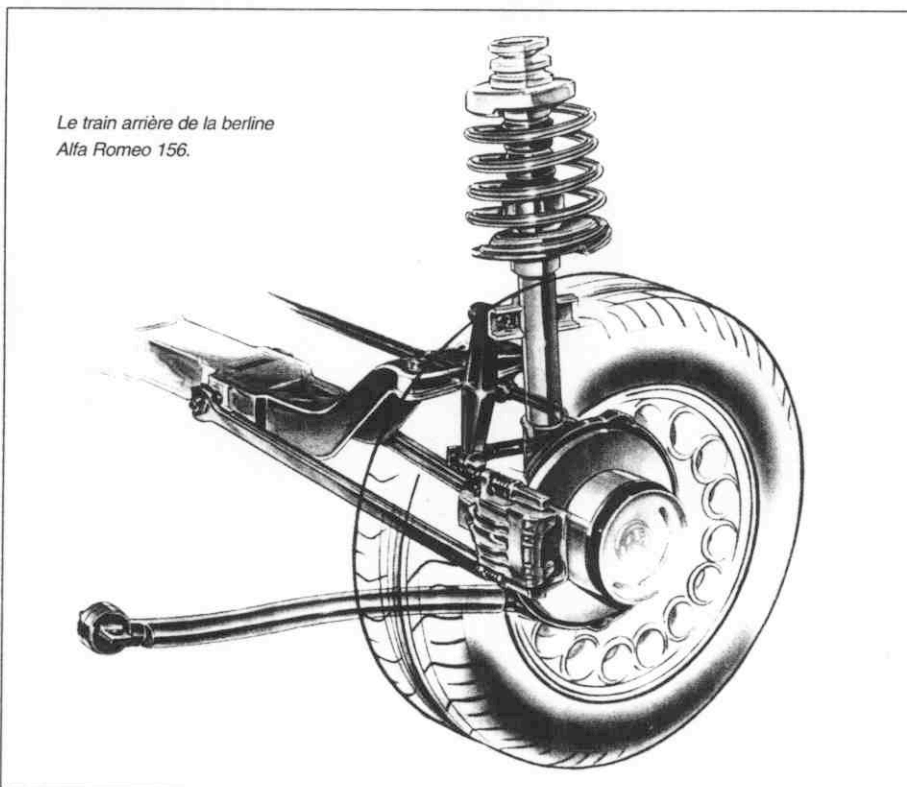
Articulation élastique hydraulique de tirant longitudinal du train arrière de l'Alfa Romeo 156.



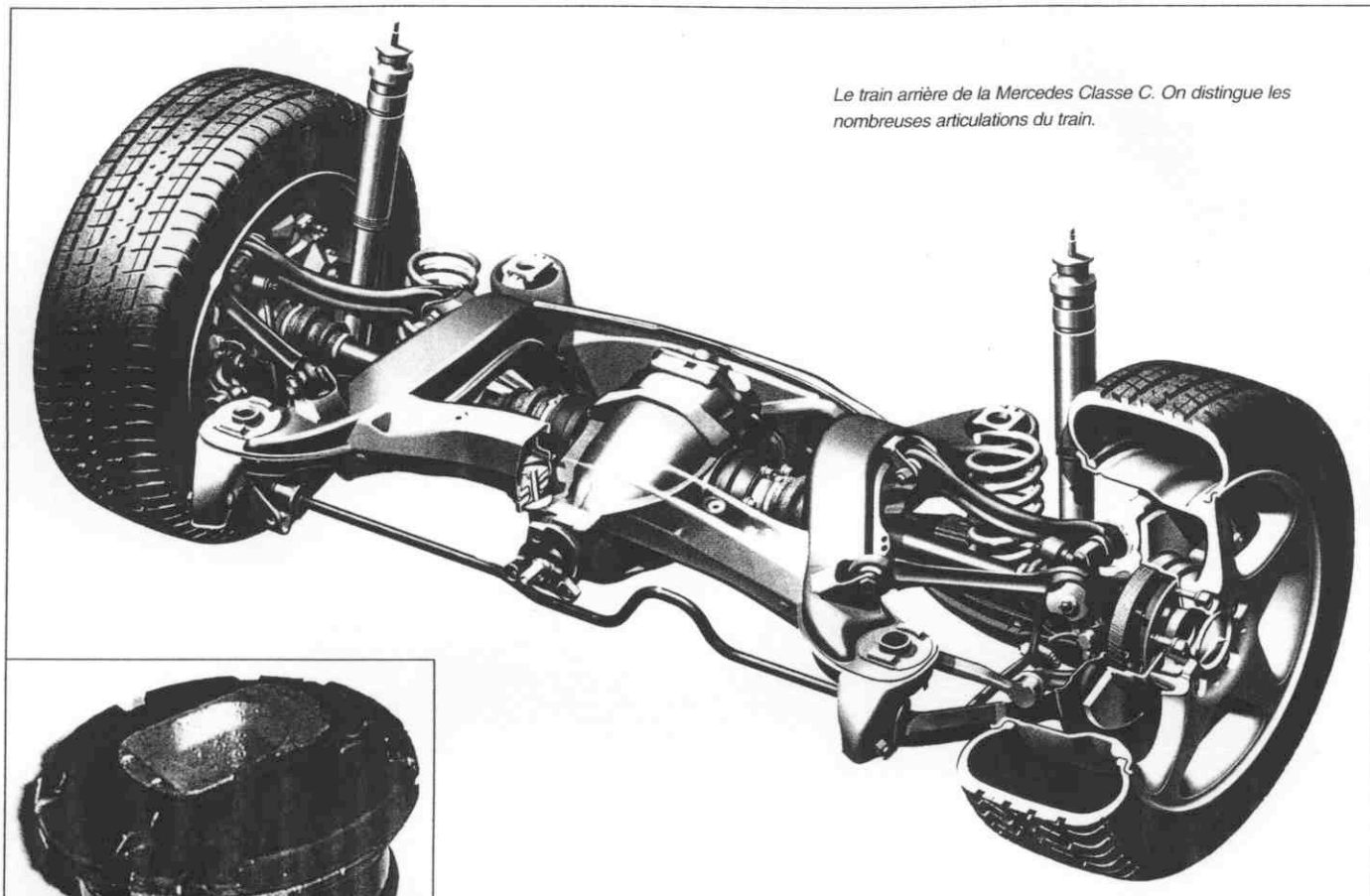
Le train avant de la berline Alfa Romeo 156.

qui sont reliées entre elles par un pavé en élastomère dans lequel se trouve noyé un ou plusieurs inserts métalliques. En outre au sein du pavé, aux

endroits judicieux en regard des propriétés mécaniques recherchées, des alvéoles ont été ménagées. De telles liaisons sont très utilisées au niveau des



Le train arrière de la berline Alfa Romeo 156.



Articulation élastique hydraulique de train arrière de Mercedes Classe C.

attaches de bras, ou des attaches d'essieu sur caisse, car elles autorisent un ajustement très fin des caractéristiques de flexibilité en fonction du sens et de la direction des efforts. Elles sont à la base de la réalisation des essieux à effet auto-directionnel. En effet les effets correcteurs de tels essieux sont obtenus par des agencements particuliers au niveau des liaisons élastiques qui permettent d'obtenir des déplacements du cadre, ou des bras, dont le sens et l'amplitude sont conditionnés par le sens et l'amplitude des efforts s'appliquant à la roue au niveau du contact pneu/sol.

Effet auto-directionnel et liaisons élastiques

Un bon exemple de l'intégration des différents principes régissant la conception des liaisons élastiques peut être trouvé au niveau de l'essieu arrière à effet auto-directionnel introduit par Citroën sur sa ZX. Il est intéressant de

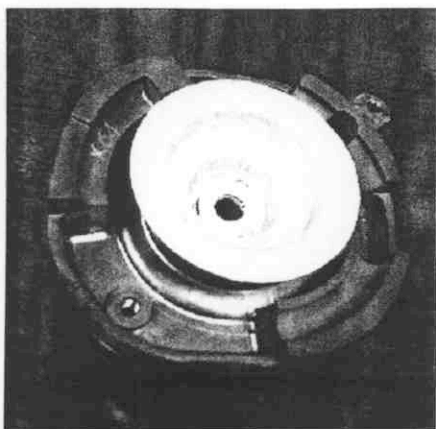
constater que cette réalisation a ouvert la voie à bien d'autres qui en ont repris les fondements. Au niveau des principes cet exemple reste donc parfaitement d'actualité. Plus particulièrement l'attention doit se porter sur les liaisons élastiques situés à l'avant du cadre (voir figure).

La liaison est fixée sur le berceau de l'essieu grâce à une chape métallique (1) qui est solidaire d'une armature intérieure (2) en forme de boîte. Cette armature constitue le cœur du dispositif en ce qu'elle est l'élément focal sur lequel vont être disposés les différents pavés élastomériques. La fonction porteuse de la cale, c'est-à-dire la liaison verticale entre la carrosserie et l'essieu, est principalement réalisée au travers du pavé élastomérique central (8), qui est imbriqué au sein même de l'armature intérieure. Parallélépipédique en partie basse, il a une forme triangulée en partie haute. Cette forme permet de réaliser un appui progressif par rapport à l'armature intermédiaire (3), qui, elle, est reliée à la caisse par le biais de deux vis de fixation. La géométrie particulière du pavé exploite les propriétés d'incompressibilité de l'élastomère et fait que la flexibilité verticale a tendance à diminuer au fur et à me-

sure que l'effort vertical augmente. Ceci permet de limiter le rapprochement relatif de l'essieu et de la caisse lors du passage des obstacles tout en assurant une grande progressivité. Dans le sens inverse, c'est-à-dire lorsque le véhicule décolle au niveau des roues arrière (situation certes rarissime mais qui peut toutefois se produire), c'est l'axe de sécurité (9) qui garantit la limitation du débattement.

La rigidité transversale de la liaison élastique est assurée par les pavés latéraux (7). Leur faible épaisseur en regard de leur surface, cumulée avec la présence d'un insert métallique noyé dans leur épaisseur, les rend très fortement rigides vis-à-vis des efforts qui s'exercent perpendiculairement à la surface libre (propriété d'incompressibilité de l'élastomère). En conséquence cette liaison élastique sera très rigide pour des sollicitations transversales.

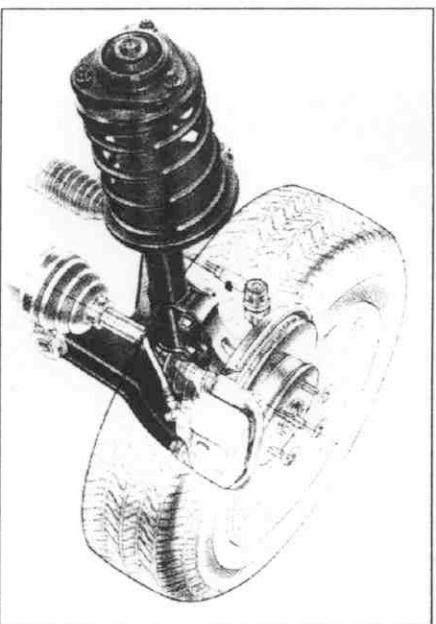
A l'inverse, ces mêmes pavés sont très flexibles dans les deux autres directions car ils travaillent alors en cisaillement. Pour ce qui concerne la direction verticale leur contribution sera négligeable en regard des caractéristiques du pavé central. Mais pour la direction longitudinale ils sont, à l'inverse, les principaux contributeurs. De



Bloc filtrant complet de Renault Megane.



Partie caoutchouc du bloc filtrant supérieur de la jambe de force.



Demi-train avant de Mégane.

ce fait la rigidité longitudinale de la liaison élastique sera faible.

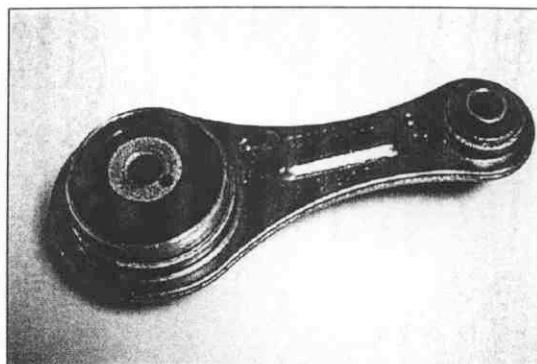
On a donc obtenu simultanément une faible rigidité longitudinale, une forte rigidité transversale et une rigidité verticale qui peut être ajustée indépendamment des deux autres directions. Pour parachever " l'exercice ", il convient d'assurer une limitation de l'amplitude lors des débattements suivant l'axe longitudinal de la liaison élastique. C'est le rôle qui est dévolu aux

butées longitudinales (5). Il y en a quatre au total (deux sur la face avant, deux sur la face arrière). Lors d'un déplacement longitudinal de l'essieu, la chape inférieure (1), et en conséquence l'armature intérieure (2), se déplace par rapport à l'armature extérieure (4) qui est, elle, fixe par rapport à la carrosserie. En raison du déplacement de l'armature intérieure (2), les butées (5) se rapprochent de l'armature extérieure (4). Si l'amplitude du mouvement est importante, ces butées vont venir en contact avec la face intérieure de l'armature extérieure (4) et vont donc être soumises à une sollicitation en compression. Leur forme pyramidale permet de rendre progressif le contact et la saturation en compression de l'élastomère. Elles jouent donc un rôle de butée de raccordement et de limitation de course.

Enfin, pour obtenir l'effet correcteur souhaité ces liaisons ne sont pas montées parallèlement à l'axe longitudinal du véhicule. L'angle d'inclinaison entre l'axe longitudinal de la liaison (qui est le même que l'axe de sécurité) et l'axe longitudinal du véhicule est voisin de 45°. Le rapport élevé existant entre les rigidités longitudinales et transversales permet, en virage, d'engendrer un braquage des roues arrière dans le même sens (mais d'amplitude beaucoup plus restreinte) que celui des roues avant. En fait la notion d'essieu auto-directionnel dépasse largement ce seul effet, et une explication complète sortirait du cadre de cet article. Néanmoins au travers de cet exemple on illustre bien l'importance primordiale de la compréhension des phénomènes régissant le comportement des élastomères dans la recherche d'un optimum au niveau de la dynamique du véhicule.

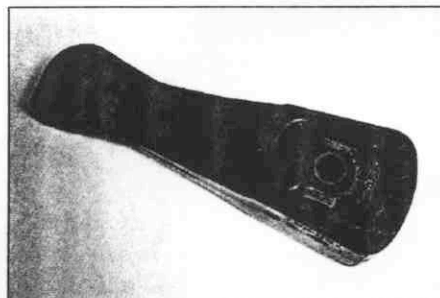
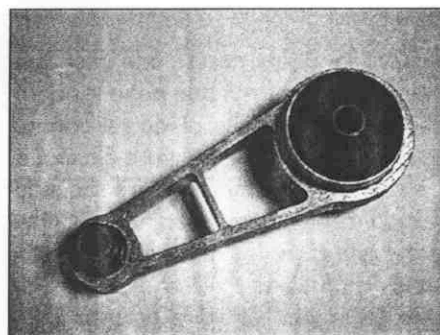
L'apport de l'hydraulique

Nous venons d'illustrer l'apport d'une mise en forme judicieuse des éléments élastomériques pour obtenir des déplacements induits sous efforts qui garantissent un bon comportement routier tout en préservant le filtrage. Cette application ne fait cependant appel qu'à l'utilisation des propriétés de base des matériaux métalliques et élastomériques. Dans certains cas il peut être souhaitable d'obtenir des lois de com-



Biellette hydraulique Renault Kangoo.

portement qui ne peuvent être réalisées par la simple utilisation de tels éléments. En pratique on rencontre cette difficulté lorsqu'on cherche à atténuer un mode de résonance spécifique de l'ensemble rattaché aux liaisons élastiques étudiées. Pour parvenir à ce résultat on peut avoir recours à un procédé qui consiste à ménager, au sein de l'élastomère, deux cavités reliées entre elles



Articulation de liaison de train arrière Clio Sport.



Ces articulations équipent le train arrière de la Toyota Corolla.

par un canal qui assure une intercommunication hydraulique entre les deux chambres. Une telle pièce est connue sous le nom de liaison hydro-élastique. Ce dispositif permet de faire fonctionner la liaison comme un amortisseur hydraulique dont les effets seraient sensibles pour une certaine fréquence d'excitation (c'est-à-dire pour une certaine vitesse de sollicitation). La constitution canonique d'une telle liaison est la suivante :

- un corps assurant la fonction élastique principale,
- une chambre de travail qui est délimitée par le corps,
- une membrane de séparation,
- un canal de liaison entre la chambre de travail et la chambre d'expansion,
- un liquide hydraulique à base de glycol.

Lors des sollicitations à basses fréquences le liquide transite via le canal de liaison de la chambre de compression vers la chambre d'extension. Dans ces conditions les caractéristiques de la liaison sont comparables à celles du corps car la rigidité apportée au niveau de la membrane est négligeable.

Si on augmente la fréquence de sollicitation on met en évidence le phénomène recherché, à savoir une augmentation de l'amortissement apparent au voisinage d'une certaine fréquence. Ceci est dû au fait que le mouvement

de la masse de liquide qui transite d'une chambre à l'autre obéit aux règles physiques qui conditionnent la mécanique vibratoire. Il en résulte que ce système présente un mode de résonance pour lequel les amplitudes du déplacement sont maximales. A cette fréquence de résonance le déplacement du liquide est en opposition de phase par rapport à la sollicitation. Ce déphasage du liquide limite les amplitudes dynamiques de la liaison : l'amortissement apparent est donc très important au voisinage de cette fréquence qui est appelée fréquence de calage.

Lorsque la fréquence de la sollicitation augmente encore la circulation du liquide devient impossible. La liaison hydro-élastique se comporte alors comme une liaison élastique classique de rigidité équivalente à celle du corps, à laquelle il faut toutefois ajouter la rigidification résultante de la présence du liquide confiné. Cette rigidification, liée à l'absence de circulation du liquide, est malheureusement inévitable avec la technologie décrite ci-dessus. Elle se traduit par une baisse des performances au niveau de l'isolation acoustique, mais cet inconvénient est parfois négligeable en regard de l'immense avantage lié à l'obtention d'un amortissement très élevé pour une fréquence déterminante.

La rigidification à hautes fréquences n'est malheureusement pas le seul in-

convénient attaché à l'utilisation des liaisons hydro-élastiques. En effet de tels ensembles exigent une qualité de fabrication irréprochable et des techniques industrielles sophistiquées, ce qui génère un surcoût très important par rapport à des liaisons traditionnelles. En outre, elles nécessitent un volume très important, à la fois sur le plan fonctionnel et sur le plan de la tenue en endurance, car il faut maintenir un volume d'élastomère comparable à celui d'une liaison classique et loger en plus le volume des chambres et des conduits renfermant le liquide hydraulique. En conséquence les liaisons hydro-élastiques ne sont utilisées qu'en dernier recours lorsque l'ensemble des solutions en amont de la cale (traitement de l'excitateur) ou en aval (traitement au niveau des transmetteurs) ont été inefficaces. L'utilisation la plus courante consiste à régler ces liaisons au voisinage de la fréquence de la Suspension Horizontale de Roue car c'est pour cette fréquence que l'essieu présente les amplitudes les plus fortes. L'effet hydro-élastique permet alors d'amortir de façon significative l'amplitude de ces oscillations ce qui améliore le confort vibratoire. Plus particulièrement on peut citer :

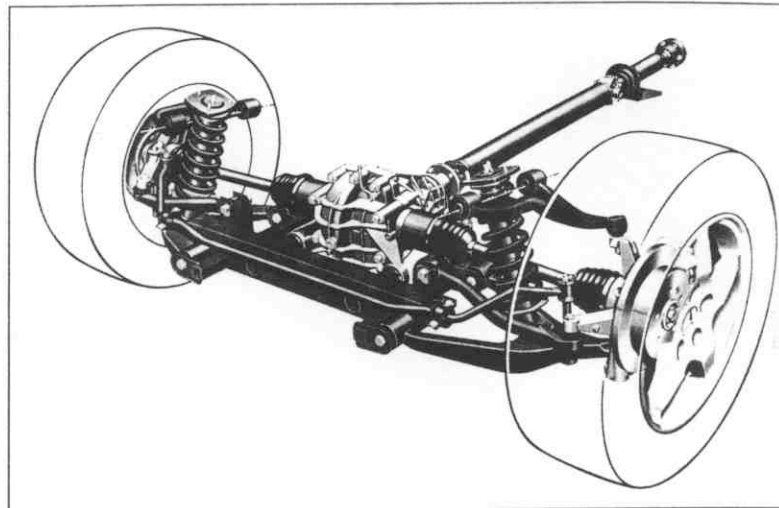
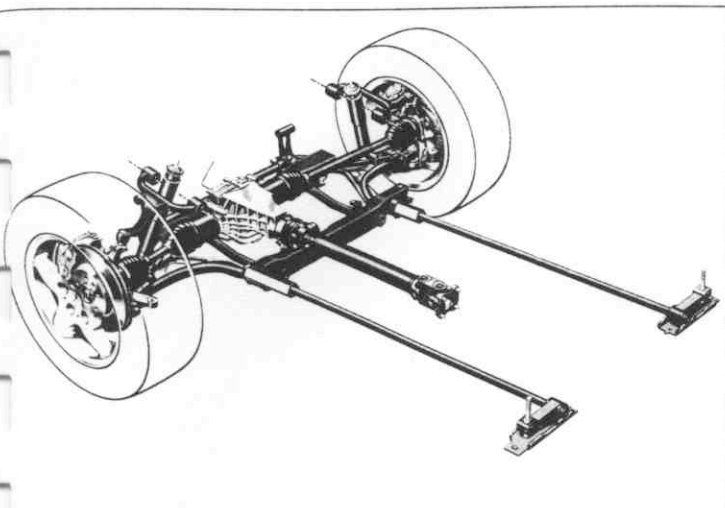
- la suppression des vibrations ressenties lors du freinage par amortissement des modes au niveau du bras de suspension,
- l'amélioration du confort de roulement par suppression des trépidations engendrées par un des modes globaux du cadre arrière. L'amortissement maximal est alors situé à la valeur de la fréquence propre du mode considéré et clans la direction où l'amplitude des cales est maximale pour ce mode. Suivant la position et l'orientation des cales il peut être nécessaire d'avoir des cales à double effet, c'est-à-dire agissant suivant deux directions.

Dans cet esprit les applications les plus courantes au niveau des essieux sont situées au niveau :

- des articulations arrière de bras avant,
- des tirants de chasse,
- des liaisons avant de cadre arrière.

Et le futur ?

La tentation est grande, pour les concepteurs, de différencier le comportement des liaisons élastiques en



Trains roulants de Mercedes Classe M. Ces véhicules bénéficient d'articulations élastiques de grande qualité.

fonction de la situation rencontrée, que celle-ci soit liée à la conduite (par exemple une prise de virage), ou liée au confort (par exemple pour atténuer les vibrations sur mauvais revêtement). On peut imaginer aisément l'intérêt de modifier les rigidités des liaisons élastiques pour optimiser le comportement en courbe, ou d'augmenter le taux d'amortissement quand apparaît une

résonance au niveau de certains éléments du châssis. Dans cette optique, le recours à un pilotage des liaisons élastiques semble une voie prometteuse. Il s'agit de modifier les caractéristiques fonctionnelles de façon discrète (c'est-à-dire en choisissant entre des états prédéfinis) ou de façon continue, en fonction de la situation de conduite. Concrètement un actionneur, intégré

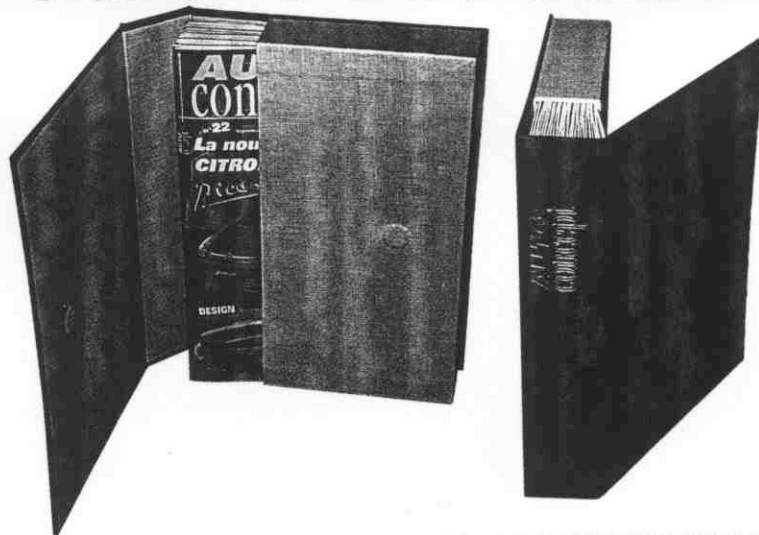
dans la cale, est activé via un calculateur électronique qui détermine l'état le plus adapté en fonction des signaux qu'il reçoit de la part de différents capteurs. Toutefois cette voie se heurte à des difficultés de mise en œuvre en raison, d'une part, de la complexité de mise au point de la logique de commande, et, d'autre part, du surcoût généré. ■

T. Halconrui

Protégez votre collection

AUTO Concept dans de belles reliures-écrin

(Contenance : 12 numéros)



OUI, je souhaite protéger ma collection AUTO
Concept et je commande :

_____ reliure(s) X 15 € + 2,30 € par reliure de
frais d'envoi = _____ €

Je joins mon règlement par chèque bancaire ou postal
à l'ordre de : AUTO CONCEPT.

Nom :

Prénom :

Adresse :

.....

Code : [] [] [] [] Ville :

Date : Signature :