



par Roger Guyot

40 ans d'hydraulique Citroën

**Des autos
qui refont
la route...**

La suspension hydro-pneumatique Citroën dont nous décrivons dans les pages qui suivent le fonctionnement et la fabrication a bien évi-



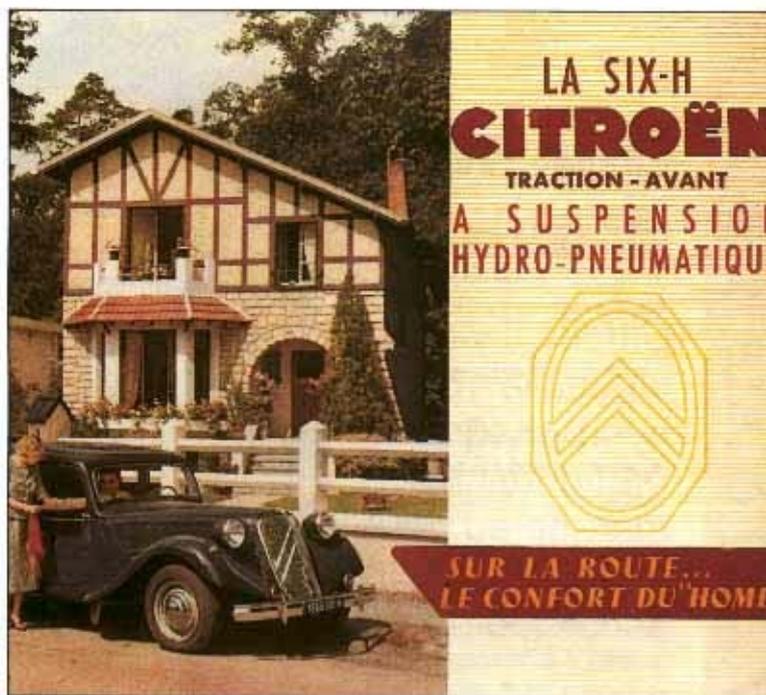
La production Citroën

15 six H : 3061 de 1954 à 1955
 DS : 1 456 115 de 1955 à 1975
 SM : 12 920 de 1970 à 1975
 M 35 : 267 de 1970 à 1971
 GS : 1 874 754 de 1970 à 1980
 GZ : 847 de 1973 à 1975
 GSA : 565 009 de 1979 à 1986
 CX : 1 041 560 de 1974 à 1990
 BX : 2 315 666 de 1982 à 1993
 XM : 276 165 depuis 1989
 Xantia : 398 420 depuis 1993



demment bénéficié aux voitures particulières Citroën. D'autres véhicules de la marque ont également été équipés comme le type H dans sa version ambulance à l'arrière. Certains autocars ont également bénéficié de cette suspension

de même que certaines versions de poids lourds. Mais au delà des voitures frappées du double chevron, certaines applications extérieures à la marque et utilisant la technique Citroën ont été réalisées. Nous vous les présentons en images.



La Peugeot 405 MI 16 X 4 de 1989 possédait une suspension hydraulique à l'arrière avec correction d'assiette. La haute pression est fournie par une électropompe.



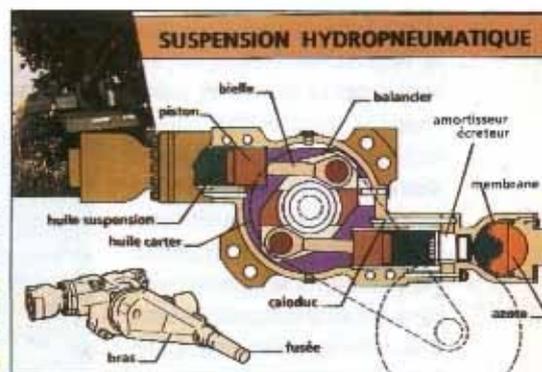
En 1983, les Ligier de Formule 1 ont utilisé en course des sphères et des correcteurs de hauteur Citroën.



Depuis de très nombreuses années, les Bentley et les Rolls sont équipées du système Citroën à l'arrière.

D'autres applications

Spécialiste de l'hydropneumatique, Citroën vend des sphères, des accumulateurs de pression et des correcteurs à plusieurs sociétés pour des applications particulières, notamment : PPM (grues mobiles), ICB (tractos pelles), Komatsu (pelles mécaniques), Case Padain (pelles hydrauliques), RVI, Evrad (engins de pulvérisation), Power Packer (suspensions de cabines), Hobbycar (véhicule routier amphibie).



Depuis plusieurs années, la société SAMM, filiale de PSA, développe des suspensions hydropneumatiques pour véhicules blindés. Elle équipe notamment le char Leclerc.

Une technique d'avant garde...

Citroën il y a plus de 40 ans lançait la 15 six H à suspension hydropneumatique à l'arrière. Elle préfigurait la DS. Aujourd'hui la marque au double chevron en est à hydractive II et à l'anti roulis actif. Que de chemin parcouru.

La suspension d'une voiture a pour rôle essentiel de réduire les chocs provoqués par les irrégularités de la route. Constatant soumise aux franchissements de creux et de bosses chaque roue subit ainsi des déplacements verticaux répétés provoquant chocs et chaos. Plus la liaison carrosserie-roues est rigide, plus la transmission de ces chocs est grande d'où un inconfort certain. Et plus la vitesse du véhicule est grande plus le phénomène est répété, à l'inconfort s'ajoute l'instabilité et donc l'insécurité. Un compromis entre le confort et la tenue de route se doit d'être trouvé.

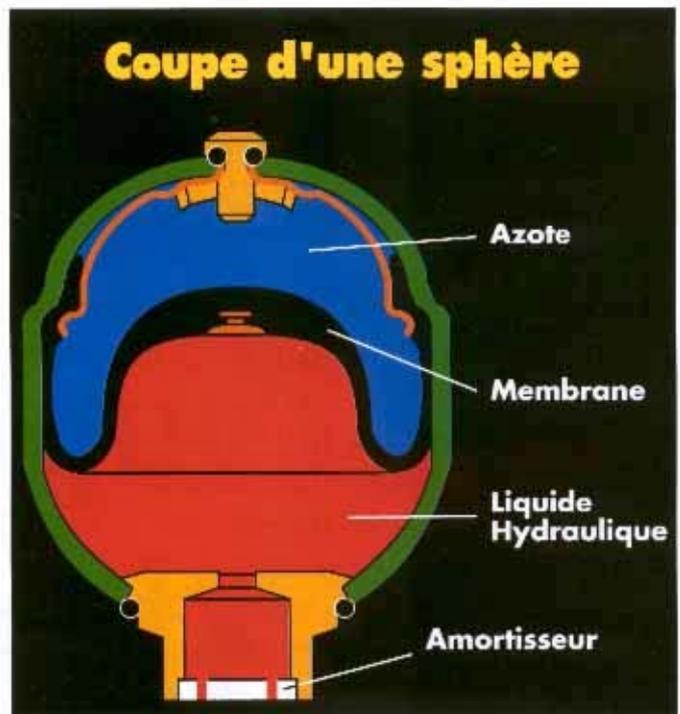
Ce compromis, Citroën le réalise depuis plus de 40 ans avec sa fameuse suspension hydropneumatique. En effet elle fut expérimentée en 1953 puis commercialisée en Avril 1954. La Tracton 15 six H fut la première voiture à être équipée de cette révolutionnaire suspension à l'arrière. Ce fut le point de départ d'un formidable pari technique et industriel qui a conforté la renommée de la marque.

Mais pourquoi Citroën décida-t-il de recourir à cette technique d'avant garde. Paul Magès, le père de l'hydraulique se souvient «...la Traction avait une tenue de route fantastique, on la surnommait la reine de la

route, mais nous avions un problème de confort de suspension à résoudre, les clients supportaient de plus en plus mal sa raideur. Après avoir essayé de nombreuses solutions, nous avons décidé d'adopter l'hydropneumatique parce qu'elle impliquait une centrale haute pression qui pouvait servir à l'assistance d'autres fonctions comme le freinage ou encore la direction. On pen-

Paul Magès, le père de l'hydraulique se souvient...

sait à la future voiture...» On connaît la suite avec les DS, GS, SM, CX, BX, XM et Xantia. Les millions de propriétaires et utilisateurs de ces Citroën doivent leur confort de suspension aux recherches de Mariotte et de Pascal dont les principes combinant l'action d'un liquide et d'un gaz furent appliqués à



l'étude de cette suspension inédite.

Le système hydraulique des voitures frappées du double chevron possède la particularité de bénéficier d'une source de pression utilisée pour la suspension elle-même, mais aussi pour assister le freinage, la direction ou assurer la correction de hauteur du véhicule.

La compressibilité d'un gaz se traduit par la relation simple entre le volume occupé par une masse de gaz et la pression exercée sur cette masse. Il constitue l'élément élastique de la suspension hydraulique, sa pression variant avec la charge. Le liquide, incompressible, assure la liaison entre les différents organes mécaniques et le gaz. Chacune des roues indépendantes est reliée à la caisse par un bras de suspension. Un piston solidaire de ce bras coulisse dans un cylindre en agissant sur un liqui-

de, de l'huile minérale, le LHM, qui comprime par l'intermédiaire d'une membrane une masse constante de gaz contenue dans une sphère en acier. La masse de gaz enfermée dans la sphère ne variant pas, la flexibilité du ressort pneumatique qu'il constitue est proportionnelle à sa pression et à son volume selon la loi de Laplace.

La suspension hydraulique ou hydropneumatique permet par ses caractéristiques une grande flexibilité et grâce à deux cor-

Le propos de cet article ne traite volontairement que le seul principe de la suspension hydropneumatique.

recteurs automatiques une hauteur constante du véhicule au dessus du sol en fonction de la charge transportée.

L'amortissement est obtenu par le passage (laminage) du liquide à travers des trous calibrés ob-

Lois fondamentales

Le fonctionnement de la suspension hydropneumatique fait appel à deux fluides, un liquide (huile minérale) et un gaz (azote) qui sont respectivement régis par les lois fondamentales suivantes :

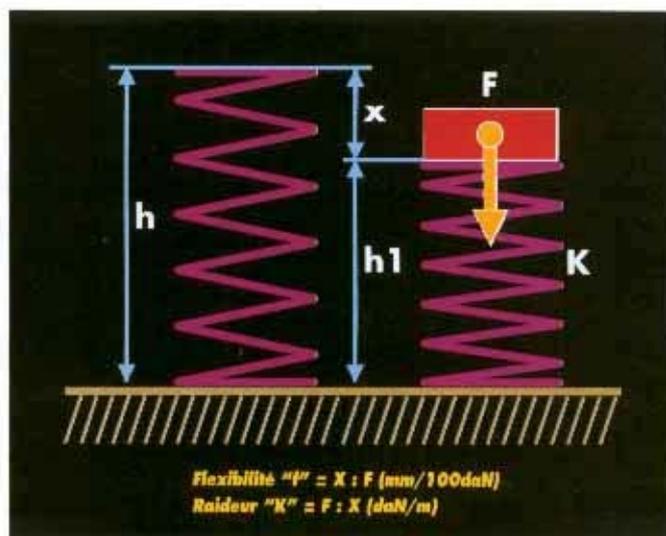
Loi de Mariotte : Pour une masse de gaz donnée maintenue à une température constante, le produit des nombres qui mesurent la pression et le volume est constant. $P \times V = \text{constante}$

Théorème de Pascal : les liquides au repos transmettent intégralement et en tous leurs points, les variations qu'ils subissent.

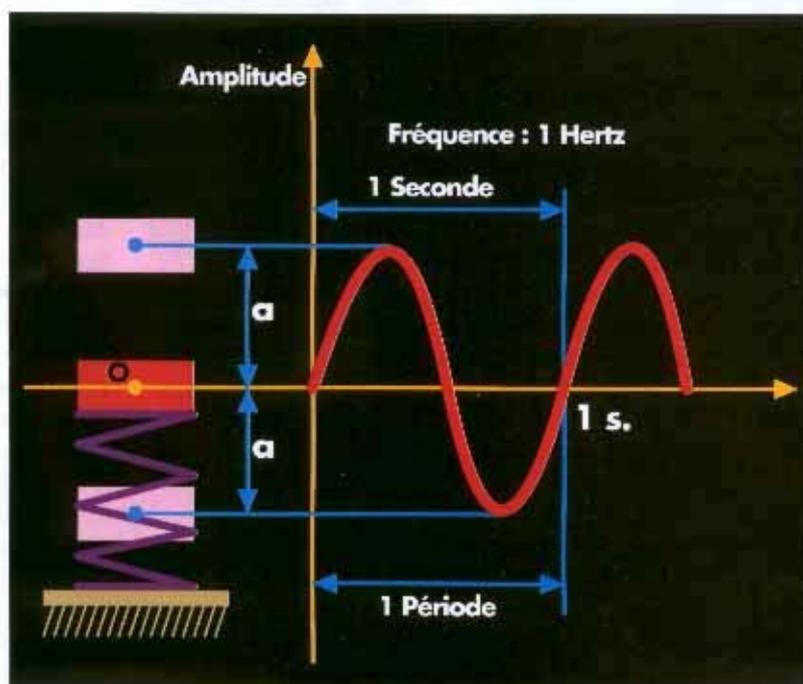
Equation de Laplace : en dynamique, lorsque la température du gaz varie, la relation devient : $P \times V^\gamma = \text{constante}$ (γ est un coefficient égal à 1,4 pour l'azote)

turés plus ou moins selon la pression par des clapets. Cet amortisseur est monté entre la sphère et le cylindre.

Mais voyons les principales caractéristiques d'une suspension. Le paramètre principal à considérer lors de l'avant projet d'une suspension est la fréquence propre des essieux. Cette notion étant fondamentale, il est important de définir auparavant les caractéristiques du ressort en flexibilité et raideur qui lie l'essieu à la caisse. La flexibilité "f" s'exprime par la variation "x" de sa hauteur (h - h1) en fonction



d'une variation de charge de 100 daN (charge F sur le ressort). Elle est exprimée en millimètre par 100 daN. La raideur "K" est l'inverse de la flexibilité "f" : c'est la charge nécessaire pour qu'un ressort subisse une variation unitaire de hauteur. elle s'exprime en daN/m : $K = F : x$. Supposons une masse "M" supportée par un ressort de raideur "K". En partant de la position "0" d'équilibre statique, on dépla-



ce la masse d'une distance "a". Si l'on annule subitement l'effort exercé sur la masse, celle-ci remonte de 2 fois "a" en sens inverse. On amorce ainsi un mouvement d'amplitude périodique "a" (mouvement oscillant de - a à + a de part et d'autre de la position d'équilibre "0"). Ce mouvement périodique a une fréquence déterminée dans le temps : elle s'exprime en hertz (1 hertz = 1 période par seconde). La période est d'autant plus longue et le mouvement oscillatoire est d'autant plus lent, que le ressort est plus souple pour une masse donnée.

Définir la qualité d'une suspen-

sion par sa seule flexibilité est une erreur car la masse du véhicule n'intervient pas. Par contre la notion de fréquence fait intervenir masse et raideur. Au début de l'automobile, on

La notion de fréquence fait intervenir masse et raideur

pensait que la fréquence idéale était celle des pas de l'homme : 1,3 Hz, en fait il faut descendre au moins à 1 Hz pour qu'une suspension soit confortable. Plus la fréquence est faible, plus

l'amplitude des débats des roues est important. Une bonne suspension nécessite des forts débats. Mais la fréquence ne suffit pas à l'obtention d'un bon confort, il faut l'amortissement pour réduire le nombre de ces oscillations et leur amplitude, c'est l'amortisseur qui remplit cette fonction.

Comme nous l'avons décrit, nous avons dans la suspension hydropneumatique un gaz, l'azote, qui constitue l'élément élastique (le ressort) et le liquide LHM qui assure la liaison entre les organes et le gaz. Avec la charge la pression dans la suspension augmente.

Quand les pressions sont égales, $P1 = P2$ le système est en équilibre.

Lorsque l'on ajoute une charge C1, le gaz diminue de volume et $V'1 = V1 \cdot v$ ce qui a pour conséquence :

- un abaissement de la hauteur H en H'
- une augmentation de la pression du gaz P'1 puisque selon la loi de Mariotte $P \times V$ est une constante.

Dans cette nouvelle loi d'équilibre, $P'1 = P'2$ et donc $P'2 > P2$. La pression dans la suspension est indépendante de la hauteur du véhicule. Pour rétablir la hauteur H, il suffit d'ouvrir le robinet (du correcteur) pour que le volume de liquide augmente $V''2 = V'2 + v$ compensant ainsi la diminution du volume de gaz.

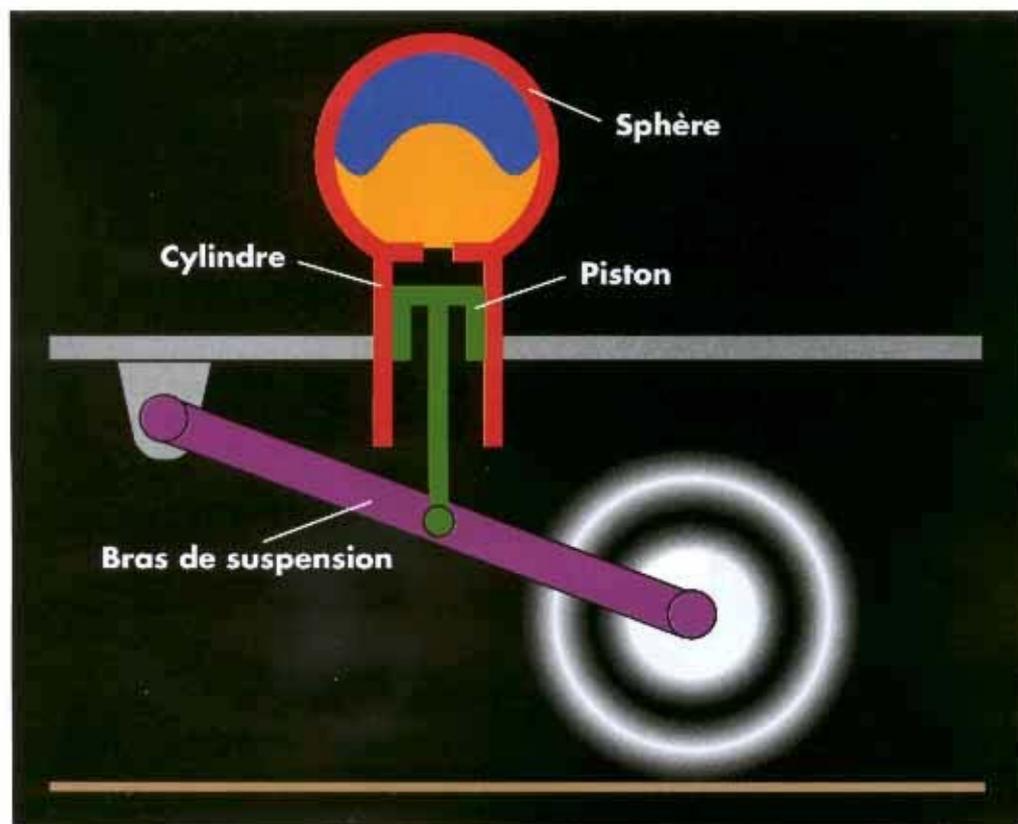
La hauteur initiale H est ainsi retrouvée. Par rapport à la phase précédente le volume de gaz n'a pas varié ainsi donc que sa pression et $P''1 = P'1$ (voir dessin page suivante).

Description et fonctionnement

Chaque roue est indépendante et reliée à la caisse par un bras de suspension. Un piston solidaire de ce bras coulisse dans un cylindre et agit sur un liquide qui comprime, par l'intermédiaire d'une membrane la masse gazeuse contenue dans la sphère.

Lorsque la roue aborde un obstacle, le piston se déplace dans son cylindre. Au passage de la bosse, le piston refoule le liquide contenu dans le cylindre vers la sphère. Le gaz est alors comprimé. Au contraire lorsque la roue "tombe" dans un trou, le piston descend et le liquide passe de la sphère dans le cylindre. Le gaz est alors en détente. Les compressions et détente successives du gaz évitent que soit transmise à la carrosserie, et par conséquent aux occupants l'énergie due aux chocs.

Nous n'allons pas décrire tous les organes constituant le systè-



agissant sur la suspension avant et l'autre sur la suspension arrière. Solidaires de la caisse, ils sont reliés à la suspension (aux barres anti-roulis) par un ressort pour la correction automatique.

Ils agissent par apport de liquide dans le circuit de suspension, à partir de la réserve de pression, ou par retrait de liquide évacué vers le réservoir.

Description

Le correcteur de hauteur est constitué d'un corps en alliage léger à l'intérieur duquel est emmanchée à force une chemise en acier. Un tiroir distributeur se déplace dans un alésage de la chemise pour un apport ou un retrait de liquide lors d'une correction automatique ou manuelle. Aux deux extrémités du tiroir, deux chambres emplies de liquide sans pression et deux canaux permettent le passage du liquide de l'une à l'autre des chambres. L'un de canaux est muni d'un dash-pot constitué de rondelles percées de trous calibrés qui freinent le déplacement du liquide. Par des trous percés radialement dans l'ensemble corps-chemise, le tiroir peut mettre en liaison le circuit de suspension avec la haute pression ou avec le réservoir.

me hydraulique complet qui assure EN PLUS de celle de la suspension, les fonctions de freinage, de direction assistée ou de suspension "hydractive", nous allons décrire la sphère, l'amortisseur et l'organe qui permet la correction de hauteur et donc l'assiette constante de la voiture, qu'elle soit chargée ou non.

La sphère

C'est un bloc pneumatique en tôle emboutie séparée en deux parties par une membrane déformable. Une embase usinée est rapportée par soudure. L'une des deux parties est remplie d'azote sous pression, différente en fonction du type de véhicule et l'autre au joncteur-disjoncteur reçoit le liquide. La membrane est fixée entre l'enveloppe et une plaque de maintien. Une coupelle plastique est solidaire de la membrane. Son rôle est passif et consiste à séparer les deux fluides.

L'amortisseur

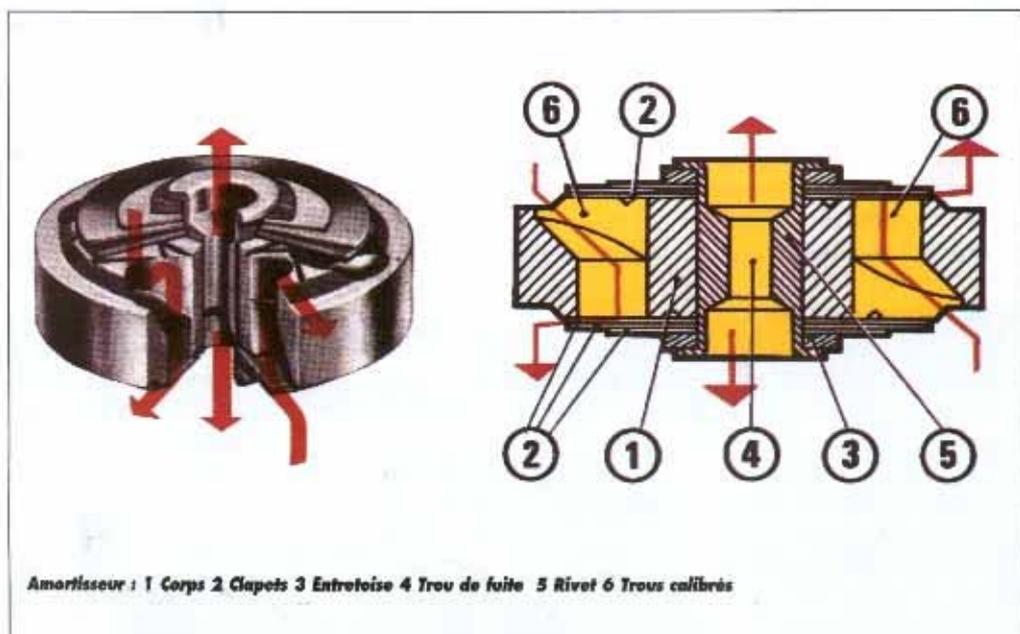
Interposé entre la sphère et le cylindre, il se trouve intégré à la suspension. Il baigne constam-

ment dans une ambiance sous pression, éliminant tout risque de cavitation et assurant intégralement, par laminage du liquide, l'amortissement pour les plus petits déplacements des roues. C'est une rondelle en acier fritté de 27 mm de diamètre et de 13 mm d'épaisseur, sur la périphérie de laquelle sont percés des trous. Ses deux faces sont obturés partiellement par des clapets tarés avec précision. Au

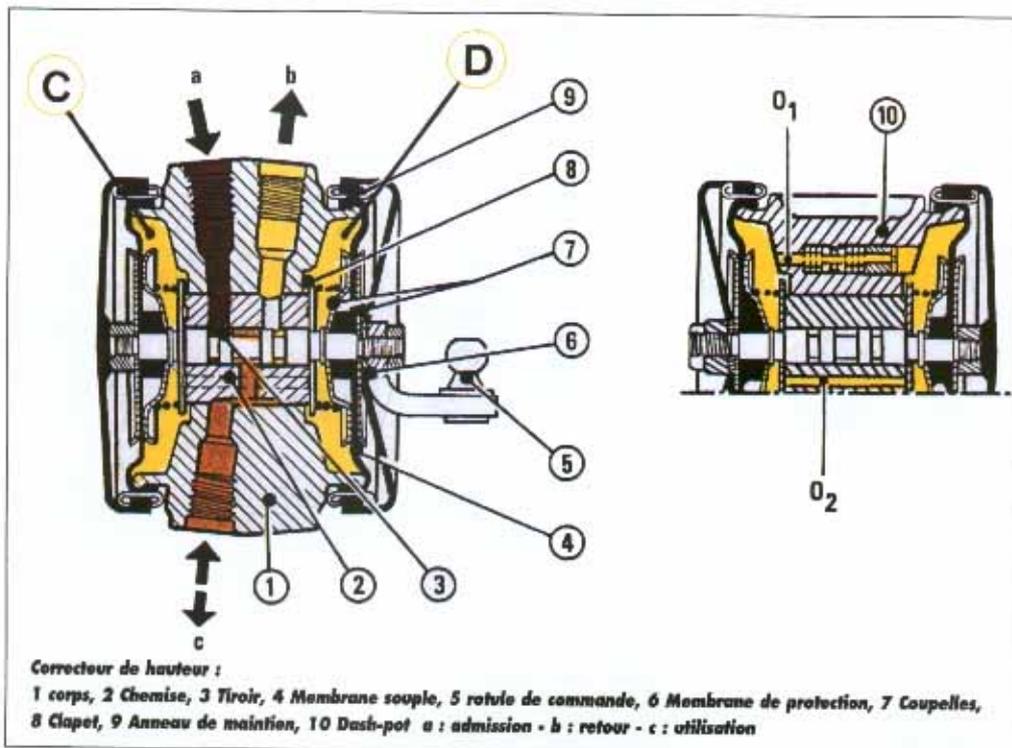
centre, un rivet percé d'un trou calibré maintient l'ensemble. Son sertissage est contrôlé avec un soin extrême. L'amortisseur est lui même serti sur la sphère. Les amortisseurs sont à double effet et s'ils ont longtemps été symétriques ils sont aujourd'hui dissymétriques.

Le correcteur de hauteur

Deux correcteurs de hauteur équipent chaque voiture, l'un



Amortisseur : 1 Corps 2 Clapets 3 Entroise 4 Trou de fuite 5 Rivet 6 Trous calibrés



Fonctionnement

Véhicule chargé : Le tiroir du correcteur de hauteur est sollicité dans le sens admission de liquide par la barre anti-roulis. La communication circuit de suspension - haute pression est assurée. L'augmentation du volume de liquide dans les cylindres provoque alors la remontée de la

carrosserie. Mais pour éviter toute correction intempestive, le tiroir est freiné dans son déplacement. Lorsqu'il s'écarte de la position neutre vers l'admission le clapet est plaqué sur la face de la chemise, obstruant le canal O2. Le liquide passe des chambres D à C au travers du "dash pot" du canal O1 subsis-

sant un laminage important qui freine le déplacement du tiroir. Le retour de la carrosserie à sa position normale provoque une action en sens inverse de la barre anti-roulis qui ramène le tiroir à la position neutre : le circuit suspension est à nouveau isolé. Lorsque le tiroir tend à revenir vers la position neutre, le liqui-

de passe de C en D par le canal lisse O1, le clapet se trouve en appui sur l'épaulement du tiroir, d'où un retour rapide et net du tiroir à cette position.

Délestage du véhicule : Le processus est identique mais se déroule en sens inverse. Le tiroir du correcteur se déplace dans l'autre sens et met en communication le circuit suspension avec le retour au réservoir. Lorsque la carrosserie redescend, la barre anti-roulis ramène le tiroir à la position neutre. Les déplacements du tiroir à l'aller et au retour s'effectuent dans les mêmes conditions que lors du lestage.

Commande manuelle : Par cette commande le conducteur peut déterminer la garde au sol de sa voiture en fonction des conditions de roulage : route, piste, chemin défoncé. Par ailleurs, en cas de crevaison, elle permet aussi de lever hydrauliquement le véhicule et évite à l'opérateur les efforts de manœuvre du cric.

