

CITROËN

LES PROBLEMES DE LA SUSPENSION
ET LA SOLUTION HYDROPNEUMATIQUE

*SUSPENSION PROBLEMS
AND THE HYDROPNEUMATIC ANSWER*



RELATIONS PUBLIQUES CITROËN 

LES PROBLEMES DE LA SUSPENSION ET LA SOLUTION HYDROPNEUMATIQUE

SUSPENSION PROBLEMS AND THE HYDROPNEUMATIC ANSWER

La première partie de cette brochure (pages 2 à 15) expose ce dont il faut tenir compte pour concevoir une suspension. La seconde partie (pages 16 à 44) décrit la suspension hydropneumatique adoptée par Citroën sur la DS, puis reconduite sur les modèles SM, GS, GSA et CX. Système qui a permis de concilier des paramètres souvent inconciliables avec une suspension mécanique, mais nécessaires à l'obtention d'une suspension de bonne qualité.

The first part of this leaflet (pages 2 to 15) discusses what must be taken into consideration when designing a suspension system. The second part (pages 16 to 44) describes the hydropneumatic suspension system adopted by Citroën for the DS model and then carried over to models SM, GS, GSA and CX. This system has made it possible to reconcile parameters that are often unreconcilable with a mechanical suspension system, but needed to obtain good quality suspension.

SOMMAIRE :

LES PROBLEMES DE LA SUSPENSION

Pourquoi une suspension ?	2
Les Fonctions d'une suspension	4
Définitions et unités	5
Caractéristiques d'une suspension : fréquence propre, raideur, déflexion statique	7
Amortissement :	9
• Courbes caractéristiques	10
• Taux d'amortissement	10
• Calcul de l'amortissement	12
• Symétrie de l'amortisseur	12
• Description de l'amortisseur	13
• Débattement des roues	14
Accord d'une suspension	15

LA SOLUTION HYDROPNEUMATIQUE

La réserve de pression	16
• Réservoir	17
• Pompe	18
• Conjoncteur-Disjoncteur	20
• Accumulateur	24
• Vanne de sécurité	26
La suspension	27
• La sphère	28
• L'amortisseur	28
• Le cylindre de suspension	29
• Principes généraux	30
• Correction de hauteur	31
Essieu anti-cabreur	34
Accord d'une suspension	36

CONTENTS:

SUSPENSION PROBLEMS

What's the use of a suspension system?	2
Functions of a suspension system	4
Definitions and units	5
Characteristics of a suspension system: natural frequency, stiffness, static deflection	7
Damping:	9
• Characteristic curves	10
• Damping level	10
• Calculation of absorption	12
• Symmetry of the shock absorber	12
• Description of the shock absorber	13
• Wheel travel	14
Suspension tuning	15

THE HYDROPNEUMATIC ANSWER

Pressure reserve	16
• Storage tank	17
• Pumps	18
• Pressure regulator	20
• Accumulator	24
• Priority valve	26
Suspension system	27
• Sphere	28
• Shock-absorber	28
• Pressure cylinder	29
• General principles	30
• Height correction	31
Anti-roll axle	34
Suspension tuning	36

Les dessins de couverture reproduisent deux des affiches inspirées en 1964 à André François par le thème de l'interaction d'un gaz et d'un liquide, de l'air et de l'eau, expression résumant le principe de la suspension hydropneumatique Citroën.

The cover design shows two 1964 posters by André François, inspired by the theme of the interaction between a gas and a liquid, air and water—an expression which summarises the principle of the Citroën hydropneumatic suspension.

LES PROBLEMES DE LA SUSPENSION

SUSPENSION PROBLEMS

POURQUOI UNE SUSPENSION ?

Les voies sur lesquelles se déplacent les véhicules ne sont jamais parfaitement planes, et les roues, du fait de la charge qu'elles supportent, doivent en suivre le profil.

Continuellement soumises à ces franchissements de creux et de bosses, les roues subissent des déplacements verticaux répétés et d'amplitude variable provoquant chocs et chaos.

Si la caisse du véhicule est reliée rigidement aux roues ou aux essieux qui les joignent, chaque choc, donc chaque déplacement vertical est intégralement transmis, au véhicule et à son chargement, (passagers ou marchandises).

Plus la vitesse du véhicule est grande, plus ce phénomène est répété, voire amplifié et très rapidement succède l'insécurité à l'inconfort.

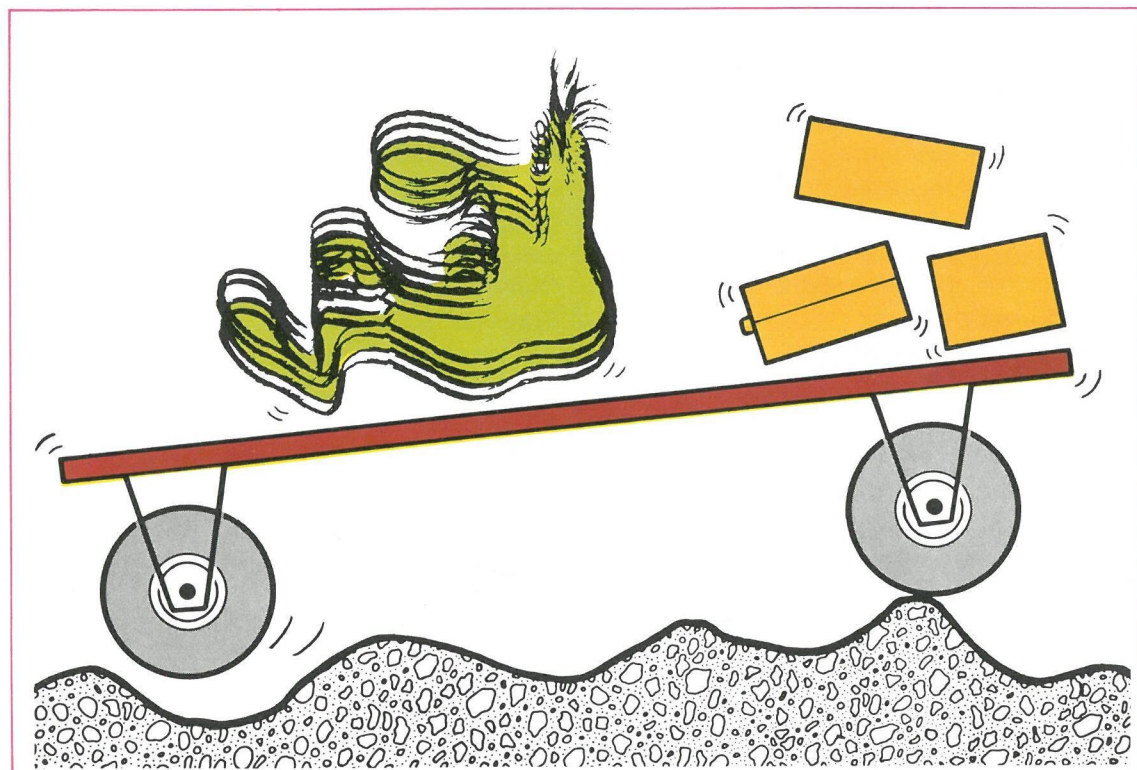
WHAT'S THE USE OF A SUSPENSION SYSTEM?

The roads on which vehicles are driven are never perfectly flat and, owing to the load they support, the wheels must follow the road profile.

Since they must constantly negotiate depressions and ridges, the wheels are subjected to repeated vertical movements of varying amplitude that cause shocks and jolts.

If the body-shell is rigidly connected to the wheels or the axles, each shock, and thus each vertical movement, is integrally transmitted to the vehicle and its load (passengers or goods).

The faster the vehicle travels, the more this phenomenon is repeated and even amplified, which quickly gives way to lack of safety and comfort.



Transmission intégrale des chocs au véhicule (démuni de suspension).

Integral transmission of the jolts to a vehicle lacking a suspension system.

Il importe donc de filtrer et de réduire les chocs provoqués par les inégalités de la route. C'est le rôle de la suspension.

L'interposition d'un élément élastique (ressort par exemple) entre la roue et le châssis en est le principe.

Pour obtenir un bon confort, il faut que la suspension absorbe le plus possible les inégalités de la route. Si le ressort est trop raide, les bosses ne sont absorbées que partiellement. Elles le sont totalement avec un ressort plus souple, plus flexible : d'où l'intérêt d'une suspension à grande flexibilité.

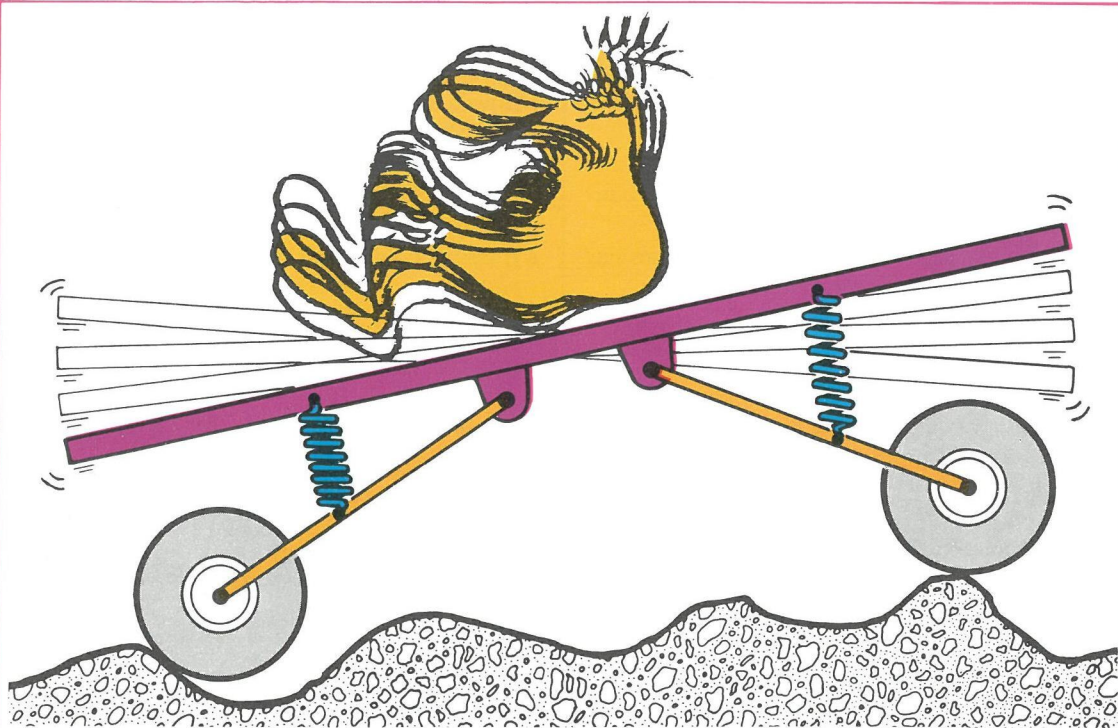
Therefore, the shocks caused by the irregularities of the road must be absorbed and reduced. This is the role of the suspension system.

The insertion of a flexible component (such as a spring) between the wheel and the chassis gives the principle of suspension.

In order to obtain a satisfactory level of comfort, the suspension system must absorb the irregularities of the road surface as much as possible. If the spring is too stiff, the bumps are only partially absorbed. They are totally absorbed if the spring is softer and more flexible, which demonstrates the advantage of a highly flexible suspension system.

Mais lorsque le véhicule se déplace, les sollicitations dues aux inégalités de la route donnent naissance à un mouvement oscillatoire répété qui est désagréable et nuit à la tenue de route.

But, as the vehicle moves, the effects of the uneven road surface generate an repeated oscillatory movement that is very unpleasant and affects road-holding.

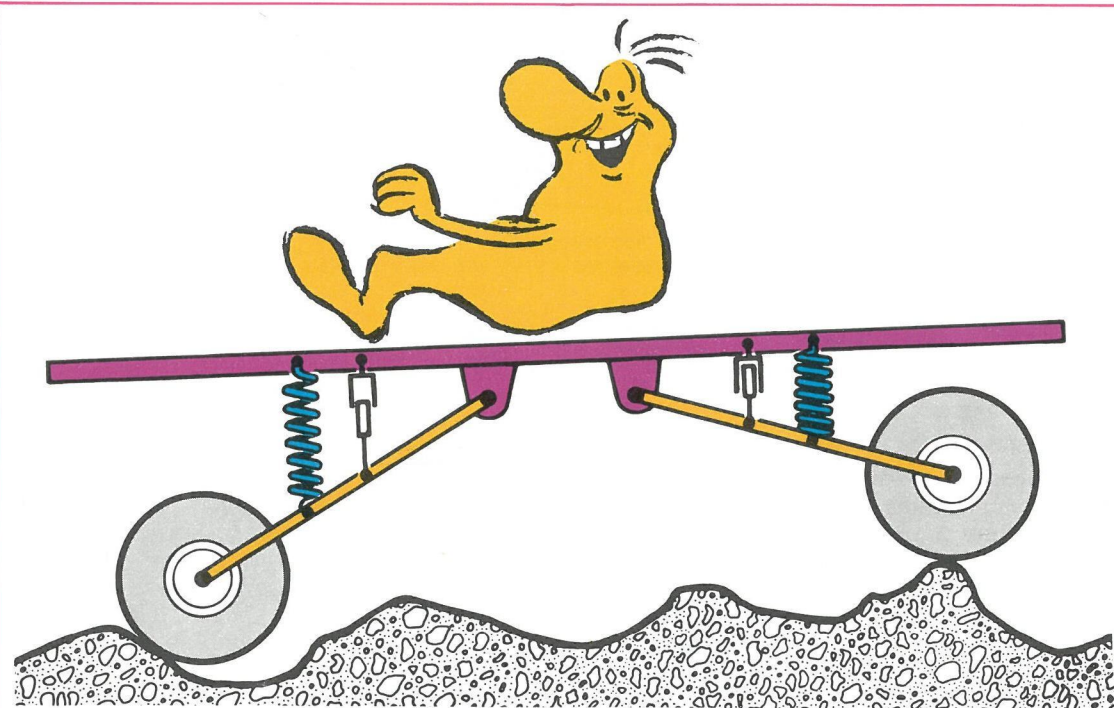


Mouvement oscillatoire dû aux franchissements répétés des inégalités de la route.

Oscillatory movement due to repeated negotiation of the irregularities of the road surface.

Il est donc indispensable de les contrôler dès leur apparition. C'est le rôle de l'amortisseur. Il doit freiner simultanément les oscillations de la caisse et celles des roues afin d'éviter leur rebondissement sur le sol.

Therefore, it is essential to control them as soon as they appear. This is the role of the shock absorber. It must simultaneously restrain the oscillations of the body-shell and those of the wheels in order to keep the wheels from bouncing on the ground.



Suspension (ressort) et amortisseurs (frein ou mouvement) équilibrent la caisse.

Suspension (spring) and shock absorbers (braking or movement) balance the body-shell.

FONCTIONS D'UNE SUSPENSION

- Permettre aux roues de suivre les inégalités du sol sans communiquer à la carrosserie des efforts trop importants.
- Assurer le maintien du contact des roues avec le sol.
- Réduire au maximum les mouvements de la carrosserie et des passagers.
- Maintenir la carrosserie à une distance constante du sol (suspension à correction de hauteur).
- Assurer une position déterminée du plan des roues lors de leurs débattements.

Ce dernier point (important pour la tenue de route) dépend essentiellement de la géométrie de la liaison au sol.

ELEMENTS CONSTITUTIFS DE LA SUSPENSION

- Le pneumatique ① avec son amortisseur (caoutchouc),
- le ressort (métallique ou pneumatique) ②,
- l'amortisseur ③,
- le siège ④ avec son amortisseur (mousse).

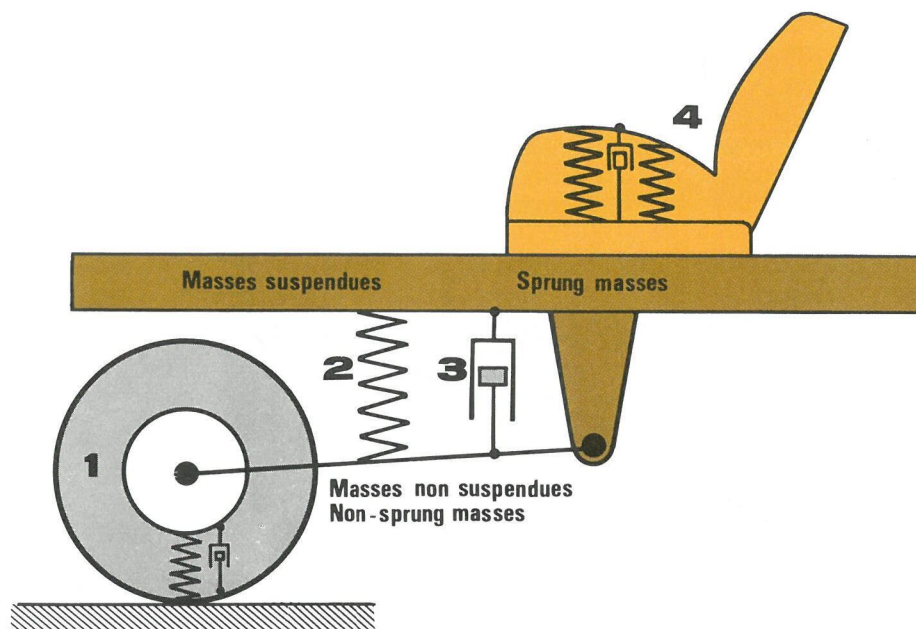
FUNCTIONS OF A SUSPENSION SYSTEM

- It allows the wheels to follow the irregularities of the ground, without transmitting excessive forces to the body.
- It keeps the wheels in contact with the ground.
- It reduces movement of the body and the passengers to a minimum.
- It keeps the body at a constant distance above the ground (height-correction suspension system).
- It ensures a predetermined position of the wheel plane as the wheels travel.

This last point, which is important for road-holding, basically depends on the geometry of the link to the ground.

COMPONENTS OF THE SUSPENSION SYSTEM

- The tyre ① and its damper (rubber),
- the metal or air spring ②,
- the shock absorber ③,
- the seat ④ and its damper (foam).



ETUDE DE LA SUSPENSION

Une suspension est un système qui apparaît extrêmement complexe dynamiquement quand on sait que la voiture a 4 roues, que les 4 suspensions unitaires réagissent les unes sur les autres, que les sollicitations de la route ne sont pas définies, que les mouvements de la voiture s'effectuent dans 3 plans. On imagine que l'analyse mathématique de l'ensemble ne soit pas simple ; ce n'est qu'avec les possibilités nouvelles offertes par les ordinateurs que l'on peut approcher de plus près la définition d'une suspension, surtout pour l'analyse de ses réactions sur la tenue de route.

DESIGNING THE SUSPENSION SYSTEM

A suspension system appears to be extremely complex from the dynamic viewpoint when we know the vehicle has 4 wheels, that the 4 individual suspension systems react upon one another, that the irregularities of the road surface are undefined and that the vehicle moves in 3 planes. It is easy to imagine that mathematical analysis of the ensemble is not an easy matter; it is only with the new possibilities afforded by computers that it has been possible to more closely design a suspension system, especially for analysis of its effects on road holding.

QUELQUES DEFINITIONS

- **Roulis - Galop ou Tangage - Lacet.**

Ils sont dus aux mouvements de la voiture autour des axes OX (Roulis), OY (Tangage), OZ (Lacet).

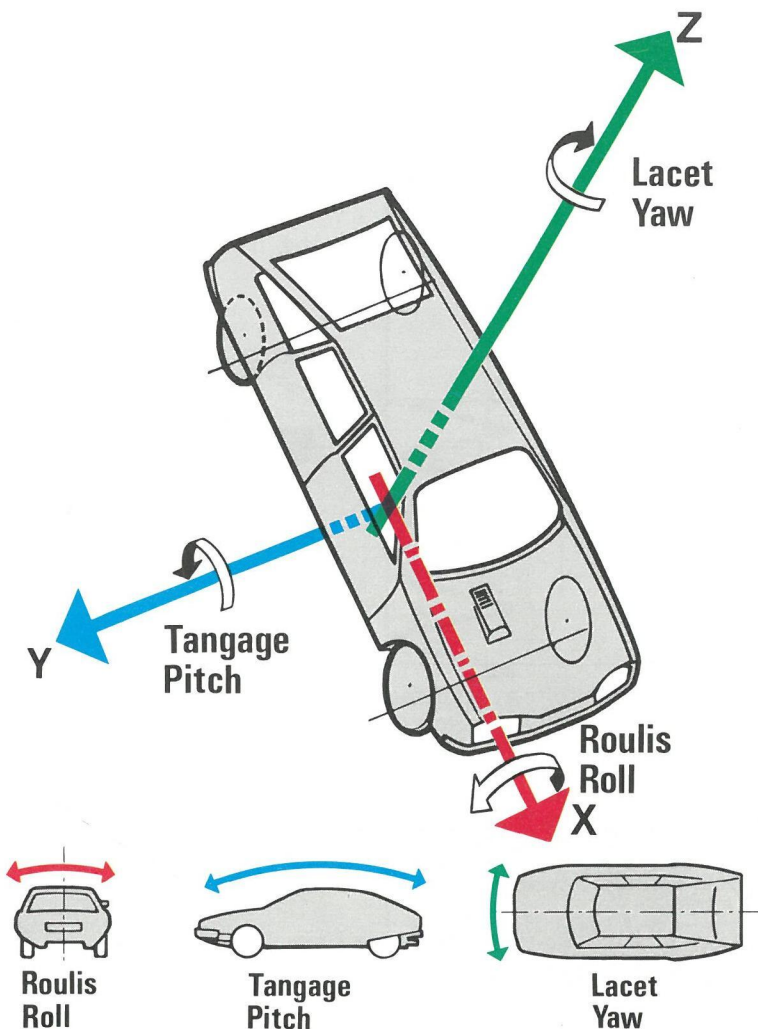
- **Pompage :** mouvement vertical des masses suspendues, suivant l'axe OZ.

A FEW DEFINITIONS

- **Roll - Pitch - Yaw.**

These phenomena are due to movements of the vehicle about axes OX (Roll), OY (Pitch) and OZ (Yaw).

- **Pumping:** vertical movement of the sprung masses along axis OZ.



- **Assiette :** position de la structure par rapport au sol.
- **Cabrage :** assiette du véhicule lors d'une accélération (l'avant du véhicule se lève, l'arrière s'affaisse).
- **Plongée :** assiette du véhicule lors d'un freinage (mouvement inverse).
- **Masses suspendues :** ensemble des éléments du véhicule portés par la suspension : carrosserie, moteur, boîte de vitesses...
- **Masses non suspendues :** ensemble des organes non portés par la suspension : roues, moyeux, pivots, une partie de transmission, blocs de freinage (frein dans les roues), une partie des bras de suspension.
- **Fréquence :**
Grandeur caractéristique des phénomènes vibratoires.

- **Ride-height:** position of the structure in relation to the ground.
- **Rearing:** vehicle ride-height during acceleration (the front of the vehicle rises and the back sinks).
- **Dipping:** vehicle ride-height during braking (opposite movement).
- **Sprung masses:** all the vehicle parts supported by the suspension system: body, engine, gear-box, etc.
- **Non-sprung masses:** all the parts not supported by the suspension system: wheels, hubs, pivot pins, part of the transmission, braking units (brake in the wheels), part of the suspension arms.
- **Frequency:**
Characteristic magnitude of the vibration phenomena.

Notion de fréquence

En partant de la position O d'équilibre statique, on déplace la masse d'une distance "a". Si on annule subitement l'effort exercé sur la masse, elle remonte d'une distance 2a en sens inverse, c'est-à-dire qu'on amorce un mouvement périodique d'amplitude $\pm$ "a" (mouvement oscillatoire a de part et d'autre de la position d'équilibre O).

La fréquence représente le nombre d'oscillations ou de cycles effectués en 1 seconde.

L'unité est le Hertz (Hz)

1 Hz : 1 cycle par seconde.

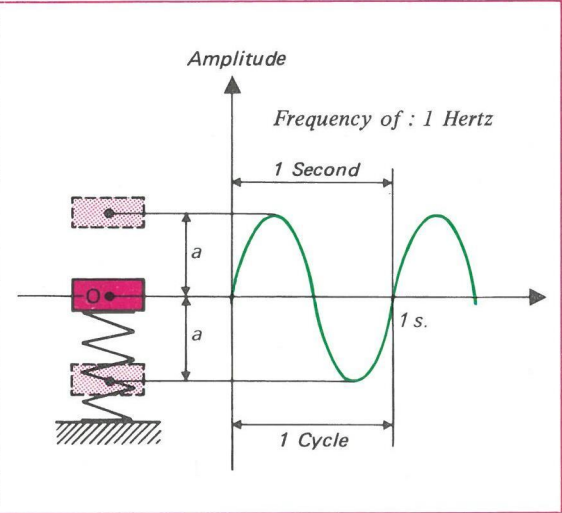
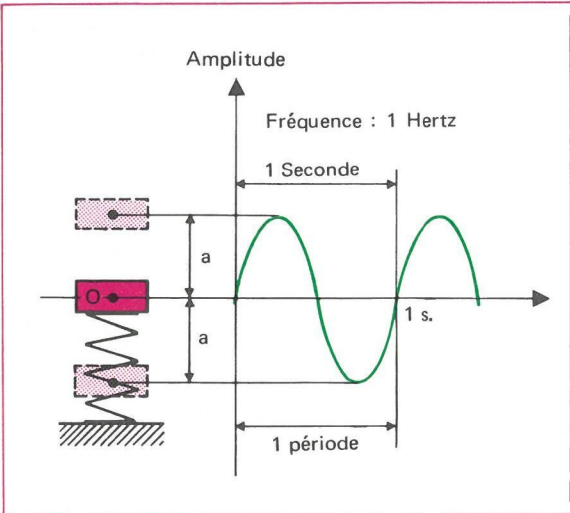
Frequency concept

Starting from static equilibrium position 0, the sprung mass is moved a distance "a". If the force exerted on the mass is suddenly cancelled, the mass moves in the opposite direction by a distance 2a, i.e. a cyclic movement of amplitude $\pm$ "a" is generated (oscillatory movement a on either side of equilibrium position 0).

The frequency represents the number of oscillations or cycles occurring in 1 second.

The unit used is the Hertz (Hz).

1 Hz = 1 cycle per second (cps).



Exemple d'un mouvement oscillatoire ayant une fréquence de 1 Hertz.

Exemple :

Fréquence : 1,6 Hz soit 1,6 cycle par seconde.

Période :

C'est l'inverse de la fréquence. Elle indique le temps durant lequel se déroule 1 cycle.

Example of an oscillatory movement with a frequency of 1 Hertz.

Example:

Frequency: 1.6 Hz, i.e. 1.6 cps.

Period:

This is the opposite of the frequency. It indicates the duration of 1 cycle.

• Unités

Grandeurs	Unités Système international	Autres unités	Corres- pondances
Longueur	m (mètre)		
Masse	kg (kilogramme)		
Temps	s (seconde)		
Force	N (newton)	kgf	1 kgf = 9,81 N
Moment	N.m (newton-mètre)	m.kgf	1 m.kgf = 9,81 N.m
Fréquence	Hz (Hertz)		1 Hz = 1 cycle par seconde
Pression	N,m ² ou Pa Newton m ² ou Pascal		

• Units

Magnitudes	S.I. units	Other units	Equivalent values
Length	m (metre)		
Weight	kg (kilogramme)		
Time	s (second)		
Force	N (newton)	kgf	1 kgf = 9.81 N
Moment	N.m (newton-metre)	m.kgf	1 m.kgf = 9.81 N.m
Frequency	Hz (Hertz)		1 Hz = 1 cycle per second
Pressure	Nm ² or Pa Newton m ² or Pascal		

CARACTERISTIQUES D'UNE SUSPENSION

Le système de suspension élémentaire est constitué d'une masse et d'un ressort.

1 - Fréquence propre

Le premier paramètre à considérer lors de l'établissement de l'avant-projet d'une suspension est la fréquence propre des essieux.

Cette notion étant fondamentale, il importe au préalable de définir ce qu'est la raideur du ressort qui lie l'essieu à la caisse.

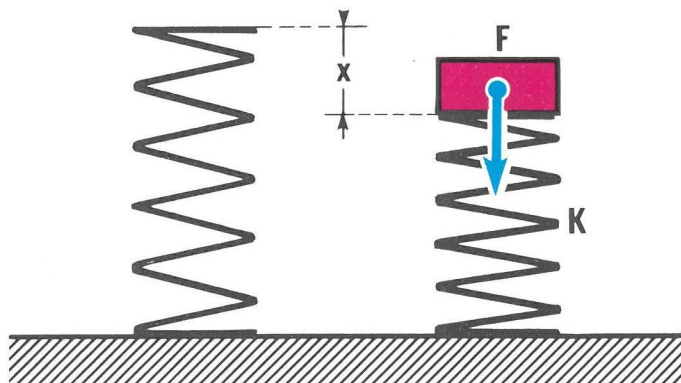
Raideur (d'un ressort)

Un ressort est caractérisé par sa raideur K . C'est le rapport qui existe entre la charge F et la déflexion X (ou écrasement correspondant du ressort). On l'exprime généralement en daN/m, soit sensiblement en kgf/m.

$$K = \frac{F}{X}$$

K = raideur en daN/m (ou kgf/m)
 F = charge en daN (ou kgf)
 X = déflexion en mètre

K = stiffness in daN/m (or kgf/m)
 F = load in daN (or kgf)
 X = deflection in metre



Exemple : Si, sous une charge de 100 kgf un ressort s'écrase de 0,10 m sa raideur est :

$$K = \frac{100}{0,1} = 1.000 \text{ kgf/m}$$

Nota : Très souvent, les mécaniciens caractérisent une suspension par le terme "flexibilité". Il s'agit de l'inverse de la "raideur" : grande flexibilité = faible raideur. Elle est exprimée en mm pour 100 kgf.

Ainsi, dans l'exemple précédent :

- si le ressort fléchit de 100 mm pour un effort de 100 kgf, on dit qu'il a une flexibilité de 100 pour 100 (à ne pas confondre avec un pourcentage).
- Si le ressort fléchit de 40 mm pour un effort de 100 kgf, sa flexibilité est de 40 pour 100.

Définition de la fréquence propre "N" :

Considérons une masse M supportée par un ressort de raideur K .

Si l'on écarte la masse M de sa position d'équilibre, on constate qu'elle oscille autour de celle-ci à une fréquence telle, que :

CHARACTERISTICS OF A SUSPENSION SYSTEM

The basic suspension system consists of a mass and a spring.

1 - Natural frequency

The first parameter to be considered when preparing the preliminary design for a suspension system is the natural frequency of the axles.

Since this is a fundamental concept, we must first define what we mean by the stiffness of the spring connecting the axle to the body-shell.

Stiffness (of a spring).

A spring is characterized by its stiffness (K). This is the ratio between the load (F) and the corresponding deflection (X) (or compression of the spring). It is usually expressed in daN/m, i.e. practically in kgf/m.

Example: If a spring is compressed by 0.10 m under a load of 100 kgf, its stiffness is:

$$K = \frac{100}{0,1} = 1.000 \text{ kgf/m}$$

Note: Quite often, mechanics characterize suspension by the term "flexibility". This is the opposite of "stiffness": high flexibility = low stiffness. It is expressed in mm for 100 kgf.

Thus, in the preceding example:

- If the spring deflects 100 mm under a force of 100 kgf, it is said to have a flexibility of 100 per 100 (this is not to be confused with a percentage).
- If the spring deflects 40 mm under a force of 100 kgf, it has a flexibility of 40 per 100.

Definition of natural frequency "N":

Let us take a mass M supported by a spring having a stiffness K .

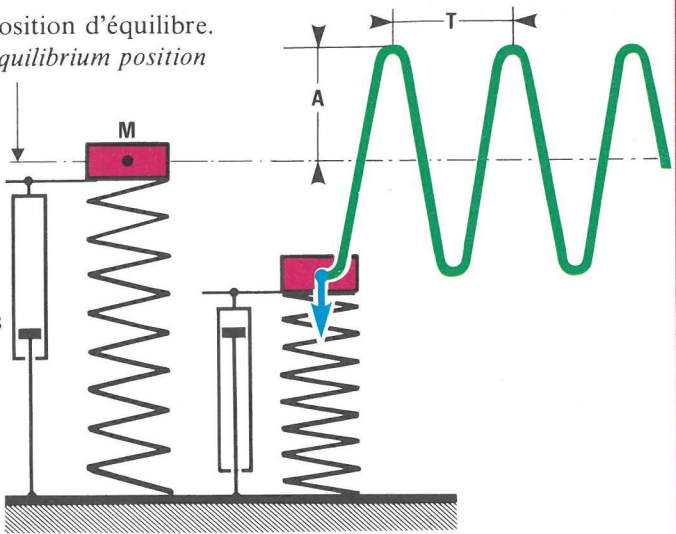
If mass M is moved away from its equilibrium position, it oscillates about this point at a frequency such that:

$$N = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{K}{M}}$$

N = fréquence propre en Hertz
ou cycles par seconde.
 K = raideur en daN/m.
 M = masse suspendue en kilogrammes

N = Natural frequency in Hertz or
cycles per second.
 K = stiffness in daN/m.
 M = sprung mass in kg.

O = Position d'équilibre.
O = Equilibrium position



C'est une erreur de définir la qualité d'une suspension par sa seule flexibilité car celle-ci ne fait pas intervenir la masse du véhicule, par contre la notion de fréquence fait intervenir à la fois la notion de raideur et de masse.

Exemple : Un camion et une 2 CV pourraient avoir la même flexibilité, donc les mêmes ressorts, c'est-à-dire que pour une charge donnée, leur affaissement serait de même valeur. Mais leur masse suspendue, à vide, est très différente et de ce fait, la 2 CV, plus légère que le camion déjà très lourd à vide, n'aurait aucune suspension.

2 - Déflexion statique "X"

La "déflexion statique" c'est l'écrasement du ressort sous la masse. Elle ne dépend que de la fréquence propre du système.

Il y a une relation qui montre que pour une fréquence donnée - obtenue par les différentes combinaisons possibles de $\frac{K}{M}$ - la valeur de la déflexion statique est toujours la même. La valeur de cette déflexion statique est 25 cm environ pour une fréquence de 1 Hz.

Au début de l'automobile, les spécialistes pensaient que la fréquence idéale était celle des pas de l'homme, soit sensiblement 1,3 Hz.

En fait l'expérience a montré par la suite qu'il fallait descendre au moins à 1 Hz pour qu'une suspension soit confortable.

Plus la fréquence est faible, plus l'amplitude des débattements des roues est importante. Une bonne suspension nécessite des débattements de roues importants.

Ce tableau représente un classement succinct des qualités de suspension :

Fréquence en Hz	Qualité suspension
0,5 à 1	douce : très confortable
1 à 1,3	ferme : assez confortable
1,3 à 1,5	dure : inconfortable
au-delà de 1,5	très dure : très inconfortable

It is wrong to define the quality of a suspension system by its flexibility alone, since it does not bring the weight of the vehicle into play. In contrast, the concept of frequency brings the concepts of both stiffness and weight into play.

Example: A lorry and a 2 CV could have the same flexibility and thus the same springs, i.e., for a given load, their compression would have the same value. But their sprung mass unladen is quite different and, because of this, the 2 CV, which is lighter than the lorry, itself already quite heavy unladen, would not have any suspension.

2 - Static deflection "X"

"Static deflection" is the compression of the spring under the mass. It only depends on the natural frequency of the system.

There is a relationship showing that, for a given frequency (obtained by the various possible combinations of $\frac{K}{M}$), the static deflection always has the same value. The value of this static deflection is about 25 cm for a frequency of 1 Hz.

When the automobile was first invented, the specialists thought the ideal frequency was that of man's stride, i.e. practically 1.3 Hz.

Experience later demonstrated that, in fact, it was necessary to drop to at least 1 Hz in order for a suspension system to be comfortable.

The lower the frequency, the higher the frequency of the wheel travel is. A good suspension system requires a high amount of wheel travel.

The following table gives a brief classification of the suspension qualities:

Frequency in Hz	Suspension quality
0.5 to 1	soft: very comfortable
1 to 1.3	firm: fairly comfortable
1.3 to 1.5	hard: uncomfortable
beyond 1.5	very hard: very uncomfortable

Exemple : Fréquence GSA :

- A vide
 - avant : 0,64 Hz
 - arrière : 0,60 Hz
- En charge
 - avant : 0,71 Hz
 - arrière : 0,84 Hz

En conclusion : le premier critère à retenir pour calculer une suspension, connaissant la masse suspendue donnée par le cahier des charges du véhicule, est de définir le ressort tel que sa raideur conduise à la fréquence souhaitée, à l'aide de la formule $N = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{K}{M}}$

AMORTISSEMENT

La fréquence propre n'est qu'une condition nécessaire mais non suffisante à l'obtention d'un bon confort, l'autre paramètre fondamental est l'amortissement.

Example: Frequency of the GSA:

- Unladen
 - front: 0.64 Hz
 - rear: 0.60 Hz
- Laden
 - front: 0.71 Hz
 - rear: 0.84 Hz

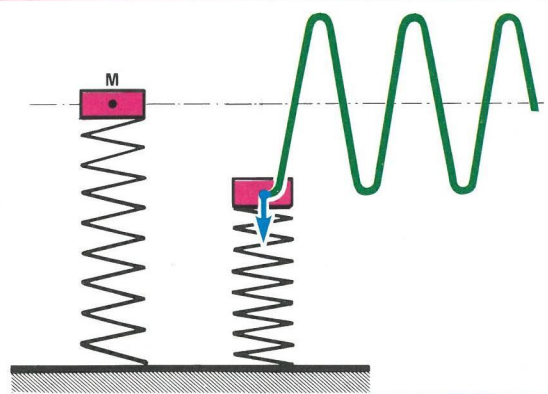
In conclusion: When the sprung mass given in the vehicle specifications is known, the first criterion to be retained when designing a suspension system is to define the spring so that its stiffness gives the desired frequency, using the formula $N = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{K}{M}}$

DAMPING

The natural frequency is a necessary condition, but it is not enough to obtain good comfort. The other fundamental parameter is damping.

Une suspension non amortie n'est pas envisageable car elle oscillerait constamment.

An undamped suspension system is unthinkable since it would not stop oscillating.



Il faut donc introduire un **amortissement**.

Principes fondamentaux :

- 1° - Un amortisseur est un organe qui **dépense de l'énergie**, alors qu'un ressort l'emmagasine pour la restituer par la suite. Le terme "amortisseur" est quelquefois utilisé à tort pour désigner un ressort.
- 2° - La **courbe caractéristique** : elle représente les variations de la force d'amortissement en fonction de la vitesse de fonctionnement de l'amortisseur.

Sur les premiers amortisseurs dits "à friction" la force d'amortissement était due au frottement de pièces entre elles (ex. : frotteur 2 CV). Leur courbe caractéristique était une droite horizontale.

Avec les suspensions à ressorts à lames multiples, une partie de l'amortissement est obtenue par frottement des lames entre elles. Ce frottement, incontrôlé, a pour effet de bloquer la suspension pour de faibles dénivellements.

Les roues d'un véhicule se déplacent avec des amplitudes et des vitesses qui varient en fonction du relief du sol. Donc, il est vite apparu la nécessité d'obtenir une force d'amortissement tenant compte de la vitesse de débattement des roues, ce qui est obtenu avec l'amortisseur hydraulique.

Damping must therefore be provided.

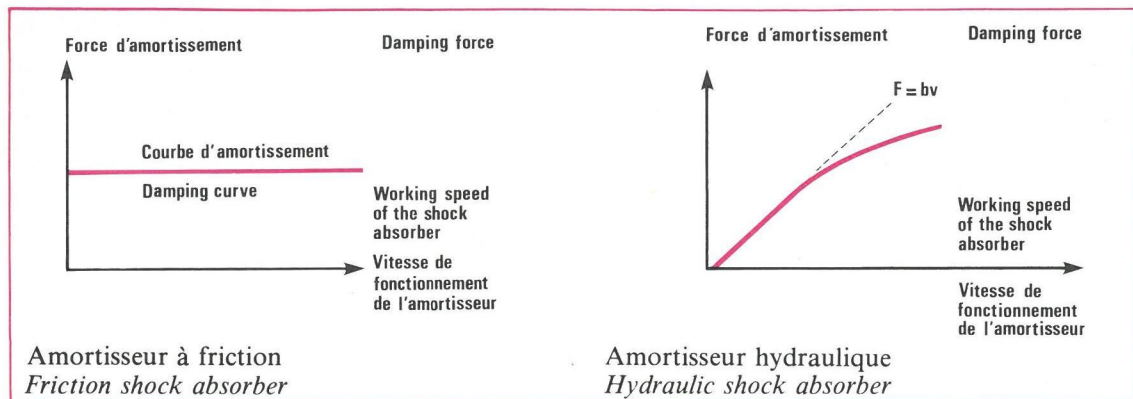
Fundamental principles:

- 1) A shock absorber is a device that **consumes energy**, whereas a spring stores up energy for subsequent release. The term "shock absorber" is sometimes incorrectly used to designate a spring.
- 2) The **characteristic curve** represents the variations in the damping force based on the operating speed of the shock absorber.

With the first so-called "friction" shock absorbers, the damping force was due to rubbing of the parts against one another (e.g. 2 CV friction piece). Their characteristic curve was a horizontal line.

With multiple-leaf spring suspensions, part of the damping is obtained by rubbing of the leaves against one another. This uncontrolled friction results in blocking of the suspension system in the case of minor irregularities.

The wheels of a vehicle move at amplitudes and speeds varying with the profile of the ground. Therefore, it quickly became apparent that there was a need to obtain a damping force taking wheel travel into consideration. This is obtained with the hydraulic shock absorber.



TAUX D'AMORTISSEMENT :

Dans la partie linéaire de la courbe caractéristique de l'amortisseur hydraulique, il est facile de calculer le taux d'amortissement.

Cette notion théorique permet de prédéterminer la courbe caractéristique d'un amortisseur dès que l'on connaît la masse suspendue et sa répartition par roue ainsi que la raideur des ressorts.

En pratique, cela permet de définir et de réaliser les amortisseurs avant même que le prototype ne roule, d'où un gain de temps appréciable dans la mise au point du véhicule.

Dans ce but, on doit faire appel à la notion du taux d'amortissement (ρ) qui est le rapport entre l'amortissement réel (b) et l'amortissement critique (b_c)

$$\rho = \frac{b}{b_c}$$

b et $b_c = \text{N/m/sec}$ (ou kgf/m/sec)

sachant que :

- **L'amortissement critique (b_c)** est l'amortissement de valeur telle que la masse M écartée de sa position d'équilibre puis relâchée y revient directement sans osciller. Cet amortissement n'est jamais utilisé car il conduirait à une suspension très dure.

DAMPING LEVEL:

It is easy to calculate the damping level in the linear part of the characteristic curve for the hydraulic shock absorber.

This theoretical notion makes it possible to predetermine the characteristic curve for a shock absorber as soon as we know the sprung mass and its distribution per wheel, together with the stiffness of the springs.

In practice, this makes it possible to design and manufacture the shock absorbers even before the prototype is operational, which results in a considerable gain of time in developing the vehicle.

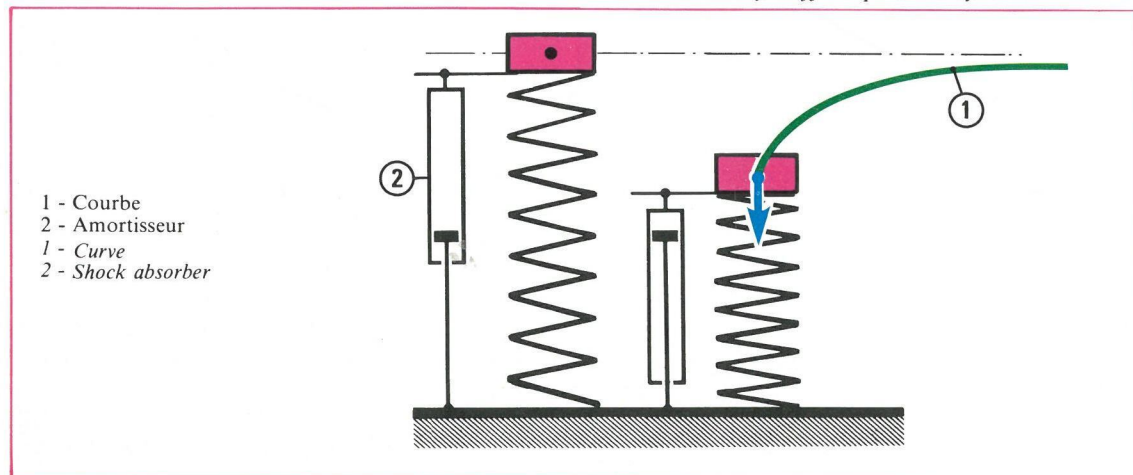
In order to achieve this, we must call upon the notion of the damping level (ρ) which is the ratio between real damping (b) and critical damping (b_c).

$$\rho = \frac{b}{b_c}$$

b and $b_c = \text{N/m/sec}$ (or kgf/m/sec)

knowing that:

- **Critical damping (b_c)** is the amount of damping having a value such that mass M moved away from its equilibrium position and then released, directly returns to it without oscillating. Critical damping is never used since it would result in an excessively stiff suspension system.



C'est à partir de l'amortissement critique que l'on va déterminer la suspension.

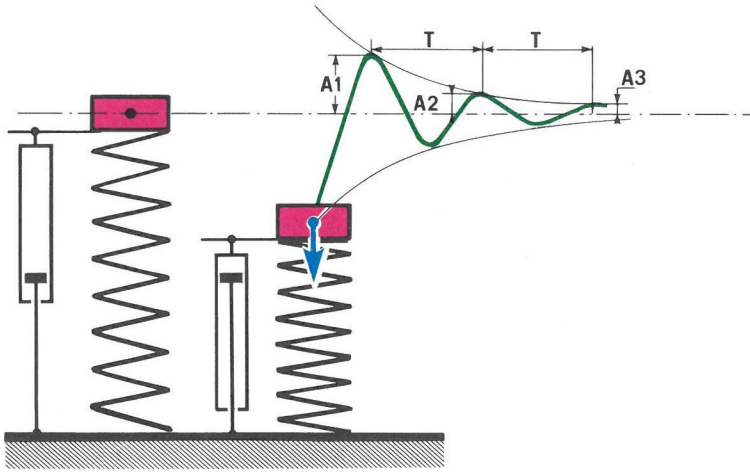
The critical damping value is used to determine the suspension.

- L'amortissement réel est le rapport entre la force d'amortissement et la vitesse de déplacement de l'amortisseur.

- *Real damping is the ratio between the damping force and the speed of motion of the shock absorber.*

Amortissement réel avec $\rho = 0,25$

Real damping where $\rho = 0.25$.



$$A2 = \frac{A1}{5}$$

$$A3 = \frac{A2}{5}$$

La masse éloignée de sa position d'équilibre, y revient, la dépasse puis y revient à nouveau au bout d'un certain temps.

Pour un amortissement de taux 0,25 ($\rho = 0,25$) - ce qui signifie que l'amortissement réel est de 25 % de l'amortissement critique - le rapport entre les amplitudes de même sens est de 5 :

$$A2 = \frac{A1}{5}; A3 = \frac{A2}{5}$$

$\rho = 0,25$ est un taux d'amortissement de bon confort, adopté sur les modèles Citroën.

Un tel amortissement associé à une très basse fréquence (cas des Citroën) fait que l'on ne ressent pas le rebondissement de la suspension. De ce fait, et à tort, les suspensions des véhicules Citroën ont souvent été dites "apériodiques".

Remarques :

Dans le cas d'un amortisseur linéaire ou $F = bv$, il est démontré que :

$$b = 4 \pi \rho NM$$

Cette relation montre que :

- pour un véhicule donné de masse M le coefficient "b" croît proportionnellement à la fréquence N . Donc, plus la fréquence est élevée, plus il faut amortir,
- pour un véhicule dont la fréquence d'un essieu est N , le coefficient "b" croît proportionnellement à la masse M .

On s'aperçoit donc que les caractéristiques de l'amortisseur devraient évoluer en fonction de la charge du véhicule. Tous les constructeurs adoptent un compromis et il est indéniable qu'il y a des progrès à réaliser en la matière. (La suspension hydropneumatique, de par sa conception, permet de s'affranchir dans une certaine mesure de ce compromis).

The mass removed from its equilibrium position, comes back to it, goes beyond it and returns to it again after a certain time.

For damping with a ratio of 0.25 ($\rho = 0.25$) - which means there is 25% real critical damping - the ratio between the amplitudes having the same direction is 5:

$$A2 = \frac{A1}{5}; A3 = \frac{A2}{5}$$

$\rho = 0.25$ is a damping level giving a good degree of comfort and is the one used on the Citroën models.

Such a damping level associated with a very low frequency (case of Citroën vehicles) is such that rebounding of the suspension system is not noticeable. Therefore, the suspension systems of the Citroën vehicles have often been called "aperiodic", which is not true.

Remarks:

In the case of a linear shock absorber for which $F = bv$, it is shown that:

$$b = 4 \pi \rho NM$$

This relationship demonstrates that:

- *for a given vehicle having a mass M , factor "b" increases in proportion to frequency N . Therefore, the higher the frequency, the more damping is needed;*
- *for a vehicle for which the frequency of an axle is N , factor "b" increases in proportion to mass M .*

Thus, it can be seen that the characteristics of the shock absorber should vary based on the vehicle load. All manufacturers make a compromise, and it is undeniable that progress must be made in this area. (Owing to its very design, hydropneumatic suspension makes it possible to do away with the need for a compromise to a certain extent).

COMMENT CALCULER L'AMORTISSEMENT D'UNE SUSPENSION

1° - Choisir le taux d'amortissement (ρ).

Pour les véhicules de tourisme, à pleine charge, ρ est un compromis entre 0,2 et 0,3.

- 0,2 correspond au taux de l'époque classique des grosses voitures américaines.
- 0,3 correspond au taux de l'ensemble des voitures européennes.
- 0,25 taux moyen des véhicules Citroën.

2° - Calculer l'amortissement critique (b_c)

$$b_c = 2 \sqrt{KM}$$

Il est fonction de la raideur du ressort (K) et de la masse suspendue à pleine charge qui sont des éléments connus.

3° - Calculer l'amortissement réel (b)

$$\rho = \frac{b}{b_c} \text{ d'où } b = \rho b_c$$

b et b_c en kgf/m/sec.

A partir de là, il est possible de réaliser un amortisseur.

SYMETRIE DE L'AMORTISSEUR

La mise au point d'un amortisseur se fait en général en prenant comme référence la courbe caractéristique tracée jusqu'à 2 m/s (vitesse relevée à la roue).

HOW TO CALCULATE THE DAMPING VALUE FOR A SUSPENSION SYSTEM

1) Choose the damping level (ρ).

In the case of fully laden private vehicles, ρ ranges between 0.2 and 0.3.

- 0.2 corresponds to the level during the classical period of large American cars.
- 0.3 corresponds to the level of all European cars.
- 0.25 is the average level of Citroën vehicles.

2) Calculate the critical damping value (b_c)

$$b_c = 2 \sqrt{KM}$$

This value depends on the stiffness of the spring (K) and the sprung mass fully laden, which are known values.

3) Calculate the real damping value (b)

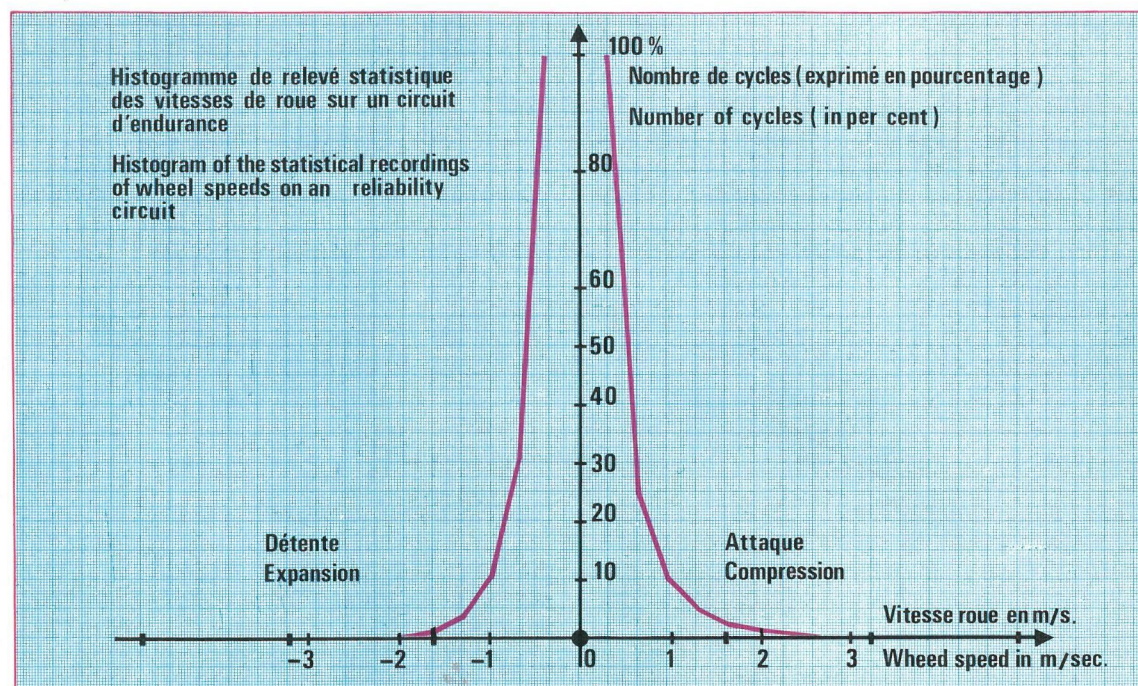
$$\rho = \frac{b}{b_c} \text{ which gives: } b = \rho b_c$$

b and b_c = kgf/m/sec.

These values are then used to produce a shock absorber.

SYMMETRY OF THE SHOCK ABSORBER

A shock absorber is usually finalized taking the characteristic curve plotted up to 2 m/sec. as a reference (wheel speed).



Cet enregistrement effectué sur un véhicule d'essai montre :

- qu'un nombre très réduit de cycles s'effectue au-delà de 2 m/s,
- que la plus grande partie du travail d'un amortisseur (soit 90 % des cycles enregistrés) s'effectue au-dessous de 1 m/s.

Ces remarques justifient le fait que le gros du travail sur la courbe d'amortisseur va porter sur la

This recording made on a test vehicle shows that:

- a very small number of cycles occurs beyond 2 m/sec.
- most of the work of a shock absorber (i.e. 90% of the recorded cycles) occurs below 1 m/sec.

These remarks justify the fact that most of the work on the shock absorber curve lies in the area

zone comprise entre 0 et 1 m/s (tant en attaque qu'en détente).

L'expérience montre que, sauf dans de rares exceptions, l'amortisseur doit être symétrique dans cette zone. Cela se traduit par des courbes d'attaque et de détente identiques.

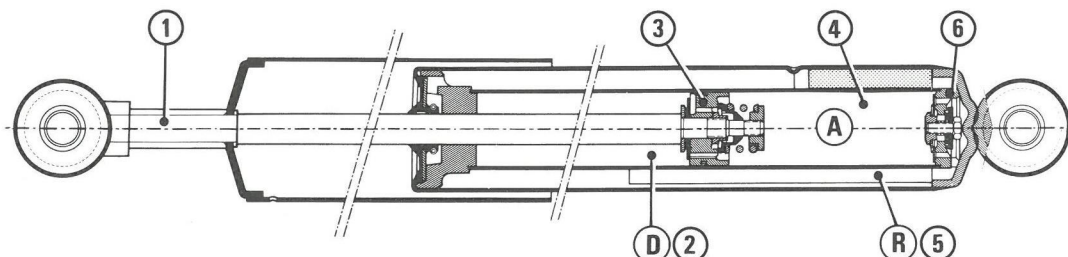
Au-delà de 1 m/s, il est intéressant de limiter l'amortissement que ce soit en attaque ou en détente.

between 0 and 1 m/sec. (both for compression and expansion).

Experience shows that, except in rare cases, the shock absorber must be symmetrical in this area. This results in identical compression and expansion.

Beyond 1 m/sec., it is best to limit the amount of damping, for both compression and expansion.

AMORTISSEUR HYDRAULIQUE



- 1 - Tige
- 2 - Cylindre "Détente"
- 3 - Piston
- 4 - Cylindre "Attaque"
- 5 - Réservoir
- 6 - Clapet de fond

HYDRAULIC SHOCK ABSORBER

- 1 - Rod
- 2 - (Expansion) cylinder
- 3 - Piston
- 4 - "Compression" cylinder
- 5 - Reservoir
- 6 - Bottom plate valve

DESCRIPTION D'UN AMORTISSEUR HYDRAULIQUE

Chaque roue est reliée à la caisse par un bras de suspension. Un piston (percé de trous et muni de clapets) solidaire de ce bras par l'intermédiaire d'une tige se déplace dans un cylindre étanche rempli d'huile. Un clapet dit "clapet de fond" détermine 2 chambres A et R dans ce cylindre.

Fonctionnement :

La perte de charge que crée le passage de l'huile au travers des clapets du piston lors de son déplacement dans un sens ou dans l'autre, donne naissance à la force d'amortissement.

Le problème à résoudre est celui de la compensation du volume de tige qui pénètre dans le cylindre ou en ressort.

Aussi :

En compression (attaque) : la tige pénétrant, il faut retirer de la chambre A un volume de liquide équivalent. Ce volume de liquide excédentaire, à travers le clapet de fond, passera de A en R. La juste répartition des pertes de charge au niveau des clapets de "piston" et de "fond", constitue l'un des points les plus délicats de la conception d'un amortisseur. En extension (détente) : en A, la tige libère un certain volume devant être comblé par de l'huile en provenance de R. Son passage de R en A au travers du clapet de fond devra être contrôlé avec précision pour éviter toute cavitation. Une fuite annulaire au niveau du clapet de piston règle la force d'amortissement qui est limitée par le tarage du ressort d'appui de ce clapet.

Remarque sur l'amortissement des roues :

Un contact permanent des roues avec le sol est nécessaire à une bonne tenue de route. Il faut donc éviter les rebondissements de roues, appelés communément "battements de roues".

DESCRIPTION OF A HYDRAULIC SHOCK ABSORBER

Each wheel is connected to the body-shell by a suspension arm. A piston (drilled with holes and fitted with plate valves) attached to this arm by means of a rod moves in a sealed cylinder filled with oil. A plate valve, called a "bottom valve" delimits 2 chambers (A and R) in the cylinder.

Operation:

The pressure drop created by the flow of oil through the piston plate valves as it moves in one direction or the other, generates the damping force.

The problem to be solved is to compensate for the volume of the rod entering or leaving the cylinder.

Thus:

During compression: since the rod enters the cylinder, an equivalent amount of liquid must be removed from chamber A. This excess volume of liquid flows from chamber A to chamber R, through the bottom plate valve. Equal distribution of the pressure drops at the "piston" and "bottom" plate valves is one of the most delicate aspects in designing a shock absorber.

During release (expansion): The rod disengages a certain volume in chamber A which must be filled with oil from chamber R. Flow from R to A through the bottom valve must be precision-controlled to prevent cavitation. An annular leak at the piston plate valve regulates the damping force which is limited by calibrating the bearing spring of this plate valve.

Remark concerning damping of the wheels:

The wheels must constantly touch the ground in order to obtain good road-holding. We must, therefore, prevent rebounding of the wheels, commonly called "wheel travel".

Le battement de roue est une oscillation entretenue du système "masse-ressort" constitué par la masse non suspendue et le ressort qui est en l'occurrence le pneu.

Au niveau de la roue, la masse non suspendue comprend : la roue, le frein (lorsqu'il est dans la roue), le pivot (à l'avant) et une partie du bras de suspension et de la transmission.

Lorsque cette masse non suspendue est importante (pont arrière rigide par exemple), il faut amortir la caisse plus qu'il n'est nécessaire car le même amortisseur amortit la roue et la caisse, ce qui entraîne une suspension ferme.

Le meilleur compromis est donc obtenu avec une suspension douce (à basse fréquence) et à roues indépendantes (faible masse non suspendue).

DEBATTEMENT DES ROUES

On constate expérimentalement que la valeur du débattement des roues doit être au moins égale à 80 mm de part et d'autre de leurs positions statiques (vide et charge) pour qu'une suspension puisse agir convenablement.

Wheel travel is sustained oscillation of the "mass/spring" system consisting of the non-sprung mass and the spring which, in this case, is the tyre.

The non-sprung mass at the wheel-level includes the wheel, the brake (when it is in the wheel), the pivot pin (to the front) and part of both the suspension arm and the transmission.

When this non-sprung mass is heavy (rigid rear axle for example), the body-shell must be damped more than necessary, since the same shock absorber damps the wheel and the body-shell, resulting in firm suspension.

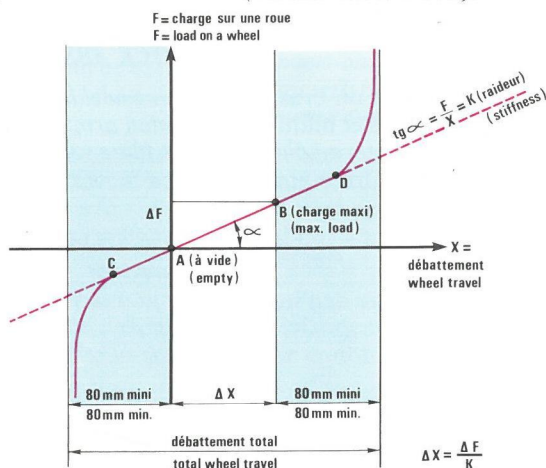
The best compromise is thus obtained with a soft suspension system (at low frequency) with independent wheels (light non-sprung mass).

WHEEL TRAVEL

Experiments have shown that the wheels must travel at least 80 mm on either side of their static positions (empty and laden) in order for a suspension system to function properly.

Diagramme de variation de charge sur une roue (en fonction du débattement)

Diagram of the load variation on a wheel (versus wheel travel).



En ordonnées sont représentées les variations de charge, le point A représentant le véhicule à vide.

En abscisses sont représentées les débattements des roues.

Les points C et D représentent l'attaque par le bras des butées caoutchouc de débattement (voir croquis pages 38 et 39). On voit que ΔX (différence de hauteur entre véhicule à vide et véhicule en charge) est d'autant plus grand que la raideur K est faible.

Sur une suspension à correction d'assiette (GSA et CX), les points A et B sont confondus en A car, quelle que soit la charge du véhicule, la hauteur reste constante. Ce dispositif permet d'utiliser pour un meilleur confort le débattement total permis ou possible.

Exemple : soit un véhicule dont le poids suspendu est de 150 kgf pour une roue AR à charge mini, et de 300 kgf à charge maxi.

The load variations are plotted on the Y-axis, point A representing the empty vehicle.

The wheel travel is plotted on the X-axis.

Points C and D represent compression by the arms of the rubber bump and rebound buffers (cf. sketches on pages 38 and 39).

It can be seen that ΔX (difference in height between the empty vehicle and the laden vehicle) is greater when stiffness K is lower.

In the case of a suspension system with ride-height correction (GSA and CX models), points A and B coincide at A since the height is constant, regardless of the vehicle load. This device enables use of the total allowable or possible wheel travel to obtain increased comfort.

Example: Let us consider a vehicle with a sprung weight of 150 kgf for a rear wheel at minimum load and 300 kgf at maximum load.

On suppose la fréquence égale à 1 Hz à charge maxi. Ce qui conduit à une valeur $K = 1200 \text{ kgf/m}$ d'après la formule de la fréquence.

A charge mini, la fréquence sera égale à 1,414 Hz (suspension dure) et la variation de hauteur sera :

$$\Delta X = \frac{150}{1,2} = 125 \text{ mm}$$

On constate que la fréquence à charge mini est élevée et que la variation de hauteur est déjà importante. Le débattement total doit en effet être égal à :

$$125 + (2 \times 80) = 285 \text{ mm}$$

Si l'on avait voulu obtenir une fréquence à charge mini égale à 1 Hz (suspension douce), la raideur aurait dû être égale à 600 kgf/m et la variation de hauteur aurait été égale à 250 mm. Ceci est évidemment impossible à réaliser car alors le débattement total serait égal à :

$$250 + (2 \times 80) = 410 \text{ mm}$$

Il apparaît donc qu'il n'est pas possible d'améliorer le confort d'un véhicule, à charge mini, sans utiliser un système de correction de hauteur, au moins sur l'essieu arrière.

ACCORD D'UNE SUSPENSION

Ce chapitre est traité avec la suspension hydro-pneumatique à la page 36.

The frequency is assumed to be 1 Hz at maximum load. This gives a value of $K = 1,200 \text{ kgf/m}$ according to the frequency formula.

At minimum load, the frequency is 1.414 Hz (stiff suspension) and the height variation is:

$$\Delta X = \frac{150}{1.2} = 125 \text{ mm}$$

It can be seen that there is a high frequency at the minimum load and that there is already a considerable height variation. Indeed, the total wheel travel must be:

$$125 + (2 \times 80) = 285 \text{ mm}$$

If we had wanted to obtain a 1 Hz frequency at minimum load (soft suspension), the stiffness would have to have been 600 kgf/m with a height variation of 250 mm. Obviously, it is impossible to achieve this since the total wheel travel would then be:

$$250 + (2 \times 80) = 410 \text{ mm}$$

It thus seems impossible to improve the comfort of a vehicle at minimum load without using a height correction system, at least on the rear axle.

SUSPENSION TUNING

You will find this chapter dealt with the hydro-pneumatic suspension on page 36.

LA SOLUTION HYDROPNEUMATIQUE

THE HYDROPNEUMATIC ANSWER

LA SUSPENSION HYDROPNEUMATIQUE

Avec les suspensions classiques mécaniques il est difficile techniquement ou financièrement de concilier tous les paramètres évoqués (grande flexibilité - faible fréquence - grands débattements...) nécessaires à l'obtention d'un bon confort et d'une tenue de route optimisée.

Afin de résoudre cette difficulté, pour le bien-être et la sécurité des utilisateurs de ses modèles, Citroën a fait appel à la technique d'avant-garde qu'est l'hydropneumatique. Testée depuis 1953 sur la suspension arrière de la Traction avant 15 chevaux - six cylindres (3.000 véhicules), cette technique devait être largement développée dès 1955 sur les modèles DS puis SM où l'hydraulique assistait les fonctions direction et freinage ainsi que, associée à un gaz, la fonction suspension (avant et arrière) du véhicule. Aujourd'hui cette technique très fiable et très au point, confirme sur les GSA et les CX, la réputation des modèles Citroën considérés dans le monde comme exceptionnellement confortables et sûrs.

THE HYDROPNEUMATIC SUSPENSION SYSTEM

With conventional mechanical suspension systems it is technically or financially impossible to reconcile all the parameters discussed above (high flexibility, low frequency, high wheel travel, etc.) and needed to obtain a good level of comfort and optimum road-holding.

In order to solve this difficulty, for the comfort and safety of the users of its models, Citroën has used the avant-garde technique of hydropneumatics. This technique, which had been tested since 1953 on the rear suspension system of the 15 hp, 6-cylinder front-wheel-drive car (3,000 vehicles), was extensively developed on the DS model followed by the SM model on which hydraulics assisted the steering and braking functions, as well as the front and rear suspension function of the vehicle in association with a gas. Today, this highly reliable and perfected technique on the GSA and CX models confirms Citroën's reputation throughout the world as the manufacturers of exceptionally comfortable and safe vehicles.

Suspension et réserve de pression

Le propos de cette brochure se limitant à la suspension, seules seront présentées dans les pages qui suivent cette fonction et celle de "Réserve de Pression" à laquelle elle est intimement liée.

La fonction "Réserve de Pression" consiste à puiser un liquide hydraulique minéral (huile LHM) dans un réservoir, à le porter à une haute pression (175 bars) et à le stocker avant utilisation... dans la suspension par exemple.

Suspension and pressure reserve

Since the scope of this brochure is limited to the suspension system, only this function and the closely related "Pressure Reserve" function will be discussed in the following pages.

The "Pressure Reserve" function consists in drawing a mineral hydraulic liquid (MHL oil) from a storage tank, bringing it to a high pressure (175 bars) and storing it before use, for example, in the suspension system.

LA RESERVE DE PRESSION

Elle est constituée par un ensemble d'organes tels que : réservoir, pompe, joncteur-disjoncteur, accumulateur, tuyauteries...

Sa fonction consiste, à partir d'un réservoir, à porter et à maintenir à une haute pression une certaine quantité de liquide (huile minérale : LHM).

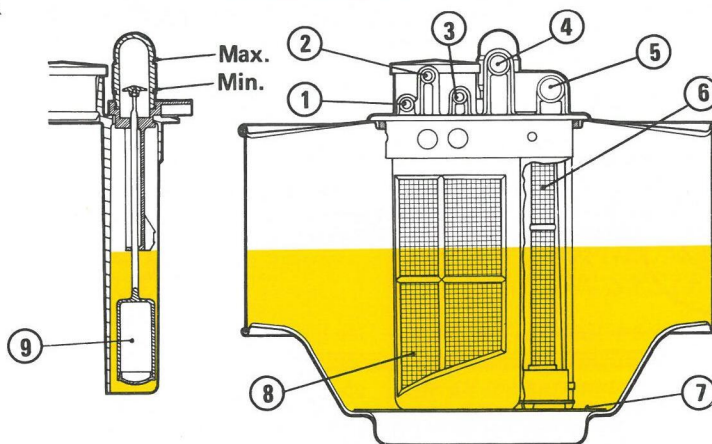
A la demande, ce liquide haute pression assistera la mécanique dans l'accomplissement des fonctions essentielles d'une voiture : suspension, freinage, direction.

PRESSURE RESERVE

It consists of a group of components such as a storage tank, pump, pressure regulator, accumulator, piping, etc.

Its function is to take a certain amount of liquid (MHL mineral oil) from a storage tank, bring it to a high pressure and hold it there.

This high-pressure liquid assists the mechanism, as needed, in accomplishing the essential functions of a car: suspension, braking and steering.



- 1 - Retour fuites cylindres suspension AV-AR
- 2 - Retour fuites vanne de priorité - correcteur haut AV-AR
- 3 - Retour utilisation doseur frein
- 4 - Retour utilisation conjoncteur-disjoncteur - correcteur AV-AR
- 5 - Aspiration pompe H.P.
- 6 - Filtre aspiration pompe H.P.
- 7 - Défecteur
- 8 - Filtre retour fuites et utilisation
- 9 - Flotteur indication de niveau avec contacteur

- 1 - Return from rear suspension cylinders
- 2 - Return from priority valve, front and rear levelling valves
- 3 - Operational return from brake control
- 4 - Operational return from pressure regulator and front and rear levelling valves
- 5 - Outlet to HP pump
- 6 - HP pump suction pump
- 7 - Sediment trap
- 8 - Filter for return fluid
- 9 - Level-indicator float with electric contact

POMPE VOLUMETRIQUE HAUTE PRESSION

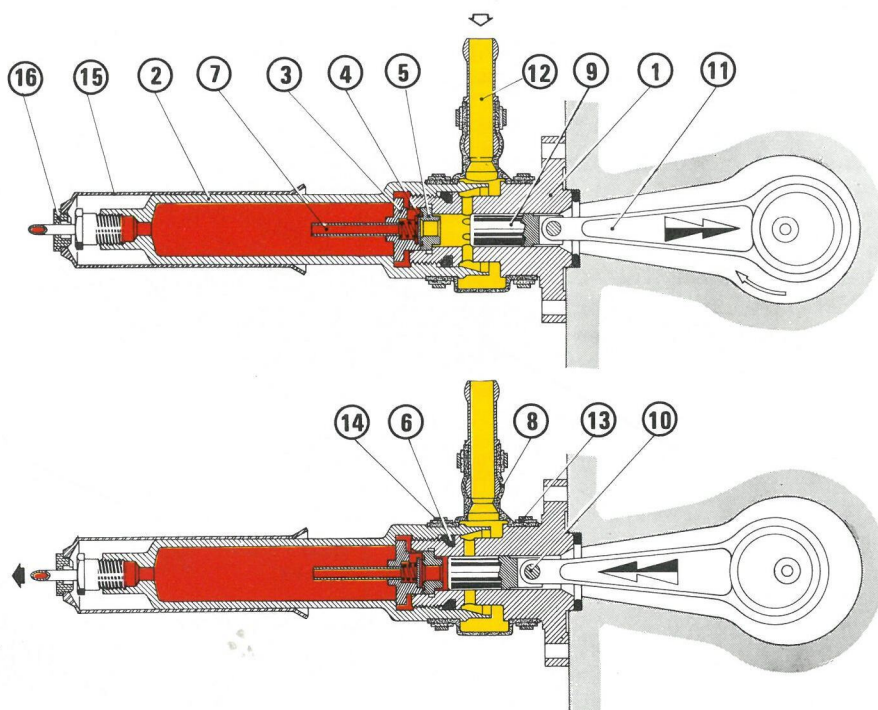
Constamment entraînée, elle aspire le liquide (LHM) du réservoir et le refoule suivant la

HIGH-PRESSURE POSITIVE-DISPLACEMENT PUMP

This constantly driven pump draws the liquid (MHL) from the storage tank and discharges it, as

POMPE VOLUMETRIQUE GSA

GSA POSITIVE - DISPLACEMENT HYDRAULIC PUMP



ASPIRATION
INTAKE

REFOULEMENT
OUTPUT

- 1 - Corps de pompe
- 2 - Bouchon de capacité
- 3 - Cage de clapet
- 4 - Clapet
- 5 - Siège de clapet
- 6 - Joint de capacité
- 7 - Tube amortisseur
- 8 - Membrane d'aspiration
- 9 - Piston
- 10 - Axe de bielle
- 11 - Bielle
- 12 - Manchon
- 13 - Bague
- 14 - Collier
- 15 - Jupe de protection
- 16 - Bouchon

- 1 - Pump cylinder
- 2 - Delivery chamber wall
- 3 - Valve housing
- 4 - Valve
- 5 - Valve seat
- 6 - Seal
- 7 - Damped delivery
- 8 - Inlet gaiter
- 9 - Piston
- 10 - Connecting-rod gudgeon pin
- 11 - Connecting rod
- 12 - Sleeve
- 13 - Bushing
- 14 - Collar
- 15 - Protection cover
- 16 - Grommet

demande soit vers le circuit d'utilisation (réserve de pression), soit vers le réservoir.

Suivant les exigences, 2 types de pompes sont utilisées :

POMPE MONOCYLINDRIQUE :

Utilisée dans le cas où ne sont assistées hydrauliquement que les fonctions "suspension" et "freinage" (GSA par exemple).

Description (pompe GSA) :

Elle offre la synthèse de toutes les expériences effectuées en ce domaine par Citroën depuis plus de 25 ans. La pompe est commandée par une bielle entraînée par un excentrique solidaire de la pompe à huile.

Fonctionnement :

Le piston recule, commandé par l'ensemble bielle-excentrique et démasque les orifices d'aspiration. Le liquide pénètre dans le cylindre. C'est l'**aspiration**.

Le piston avance, obture les orifices d'aspiration, et chasse le liquide emprisonné qui soulève le clapet. C'est le **refoulement**.

Diamètre du piston : 15 mm

Course totale : 10 mm

Cylindrée théorique : 1,34 cm³

POMPE 5 PISTONS

Son débit supérieur à la précédente lui permet d'assister une fonction supplémentaire : la direction (CX par exemple).

Entraînée par courroie à partir de l'arbre à cames, elle tourne à demi-vitesse du moteur.

Description

Elle est constituée de 5 éléments (pistons - chemises) identiques, disposés circulairement. Chaque piston est percé de 4 trous : ce sont les orifices d'admission.

needed, either to the pressure reserve operational circuit or to the storage tank.

Two types of pumps are used, depending on the requirements:

SINGLE-CYLINDER PUMP:

This type of pump is used if the "suspension" and "braking" functions are the only ones to be hydraulically assisted (GSA for instance).

Description (GSA pump):

It is the result of all the experiments carried out by Citroën for over 25 years. The pump is controlled by a connecting rod driven by an eccentric attached to the oil pump.

Operation:

*The piston draws back under control from the connecting rod/eccentric assembly and uncovers the intake ports. The liquid enters the cylinder. This is the **intake** cycle.*

*The piston moves forward, covers the intake ports and expels the trapped liquid which raises the valve. **This is the output cycle.***

Piston diameter: 15 mm.

Total stroke: 10 mm.

Theoretical displacement: 1.34 cm³.

5-PISTON PUMP

Its higher delivery than for the preceding type of pump allows it to assist an additional function: steering (CX for instance).

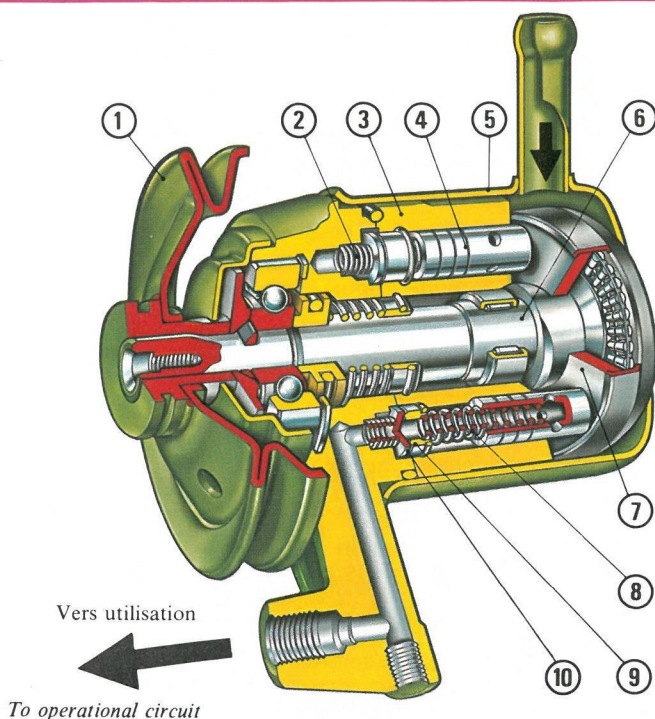
It is driven by a belt off the cam shaft and rotates at half the engine speed.

Description

It consists of 5 identical elements (pistons - liners) arranged in a circle. Four holes are drilled in each piston. These are the intake ports.

- 1 - Poulie d'entraînement
- 2 - Ressort de rappel du clapet
- 3 - Bloc cylindre (chemise)
- 4 - Piston avec trous
- 5 - Couvercle de pompe
- 6 - Arbre de pompe
- 7 - Plateau oscillant
- 8 - Ressort de rappel de piston
- 9 - Siège de clapet
- 10 - Clapet

- 1 - Drive pulley
- 2 - Valve return spring
- 3 - Cylinder unit (liners)
- 4 - Piston with holes
- 5 - Pump cover
- 6 - Pump shaft
- 7 - Swashplate
- 8 - Piston return spring
- 9 - Valve seat
- 10 - Valve



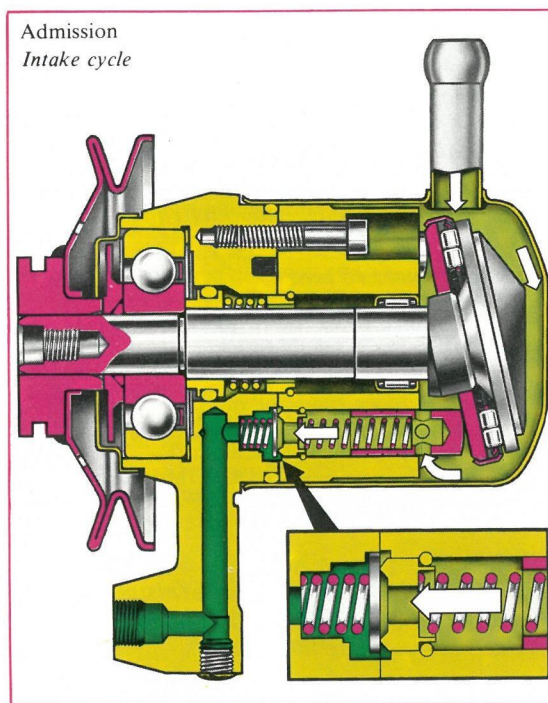
Chaque ensemble est muni d'un clapet de refoulement plaqué sur son siège par un ressort. Tous les conduits de refoulement communiquent entre eux et avec l'utilisation.

Le déplacement axial des pistons est commandé par la rotation du plateau oscillant.

Fonctionnement : (pour une rotation complète de la poulie)

- premier 1/2 tour : fig. 1

Dans son mouvement de retrait assuré par un ressort de rappel, le piston crée une dépression dans la chemise. Les orifices d'admission découverts, le liquide contenu dans la cloche est aspiré dans le cylindre. C'est l'admission.



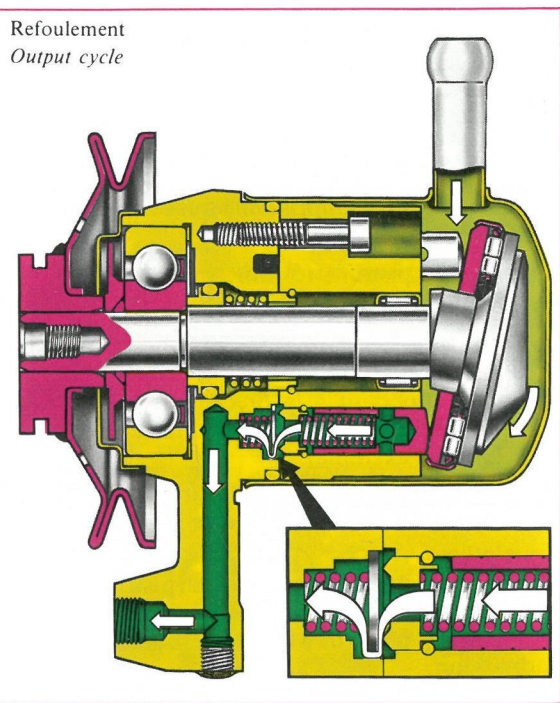
Each assembly is provided with a discharge valve held tight against its seat by a spring. All the discharge pipes are interconnected and linked to the operational circuit.

Axial movement of the pistons is controlled by rotation of the swashplate.

Operation: (for one complete rotation of the pulley).

- first half-revolution: fig. 1.

During its return motion ensured by a return spring, the piston creates a negative pressure in the liner. Once the intake ports are uncovered, the liquid contained in the sphere is drawn into the cylinder. This is the intake cycle.



- deuxième 1/2 tour : fig. 2

La compression débute lorsque les orifices d'admission sont obturés.

Le liquide comprimé, pour une pression supérieure à celle du circuit d'utilisation, repousse le clapet et s'échappe vers le circuit d'utilisation. C'est le refoulement.

Caractéristiques :

Débit : 4 cm³ par tour de pompe
 Ø des pistons : 12 mm
 Course totale : 9,85 mm
 Course utile : 7,07 mm

CONJONCTEUR-DISJONCTEUR :

Il est associé directement à l'accumulateur principal. Il a pour rôle de limiter la pression fournie par la pompe, entre 2 valeurs :

- Pression de conjonction : 140 à 150 bars
- Pression de disjonction : 165 à 175 bars.

Fonctionnement :

Trois cas sont à considérer :

1° - **Repos :** vis de purge ouverte.

Le moteur en marche, le liquide qui pénètre

- second half-revolution: fig. 2.

The compression cycle starts when the intake ports are covered.

At a pressure higher than that of the operational circuit, the compressed liquid pushes the valve and escapes to the operational circuit. This is the output cycle.

Characteristics:

Flow rate: 4 cm³
 Piston diameter: 0.472 in.
 Total stroke: 0.388 in.
 Useful stroke: 0.278 in.

PRESSURE REGULATOR:

It is directly associated with the main accumulator. Its function is to limit the pressure delivery by the pump between 2 values:

- Cut-in pressure: 140 to 150 bars.
- Cut-out pressure: 165 to 175 bars.

Operation:

Three cases are to be considered:

1) **Home position:** drain screw open.

When the engine is running, the liquid entering

dans le conjoncteur-disjoncteur, soulève la bille libérée par l'ouverture de la vis de purge "b" et s'échappe vers le "retour au réservoir".

Pressions lues :

- chambre A = 62 ± 2 bars sur GSA et CX (pression de tarage)
- chambres B, C, D = pression atmosphérique.

Le clapet anti-retour "a" est ouvert.

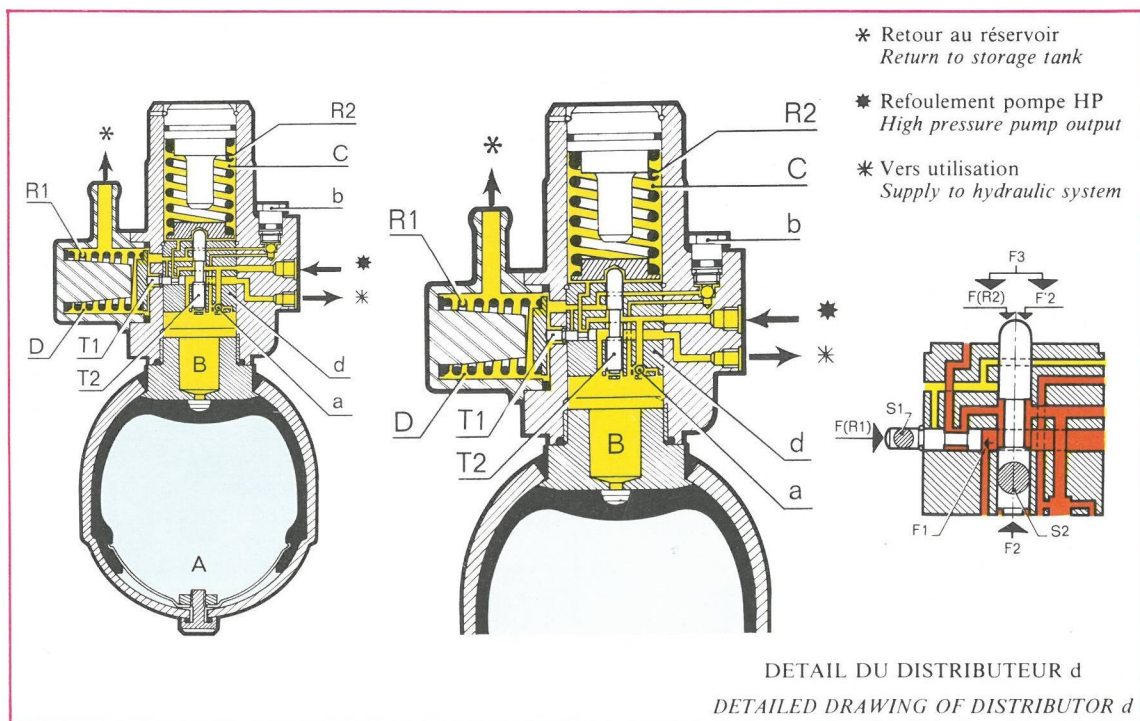
Les tiroirs T1 et T2 sont en position de repos.

the pressure regulator raises the ball freed by opening drain screw "b" and escapes to the "return to storage tank line".

Pressure readings:

- chamber A = 62 ± 2 bars on the GSA and CX models (calibration pressure)
 - chambers B, C and D = atmospheric pressure.
- Check valve "a" is open.

Slide valves T1 and T2 are in their home positions.



2° - Aspiration → Disjonction

La vis de purge étant fermée progressivement, la pression croît simultanément dans les chambres A, B, C.

La chambre D en communication avec le réservoir reste à la pression atmosphérique.

Le tiroir pilote T1 est soumis à l'action de 2 forces opposées F1 et F(R1) : voir croquis.

- F1, engendrée par la pression régnant dans la chambre B agissant sur la surface S1 :

$$F1 = P \times S1$$

- F(R1) est due à l'action du ressort R1. Le tiroir T2 est également soumis à l'action de 2 forces opposées F2 et F3 : voir croquis.

- F2, engendrée par la pression en B agissant sur S2.

$$F2 = P \times S2$$

- F3, somme de 2 forces F(R2) due à l'action du ressort R2 et F2 pression de la chambre C, identique à celle de B agissant sur la surface S2.

$$F2 = P \times S2$$

$$F3 = F(R2) + F'2$$

2) Intake Cut-out

As the drain screw is gradually closed, the pressure increases simultaneously in chambers A, B and C.

Chamber D, which communicates with the storage tank, remains at atmospheric pressure.

Pilot slide valve T1 is subjected to the effects of 2 opposing forces, F1 and F(R1) (cf. sketch):

- F1 is generated by the pressure in chamber B acting on surface S1:

$$F1 = P \times S1$$

- F(R1) is due to the effect of spring R1

Slide valve T2 is also subjected to the effects of 2 opposing forces, F2 and F3 (cf. sketch):

- F2 is generated by the pressure in chamber B acting on surface S2

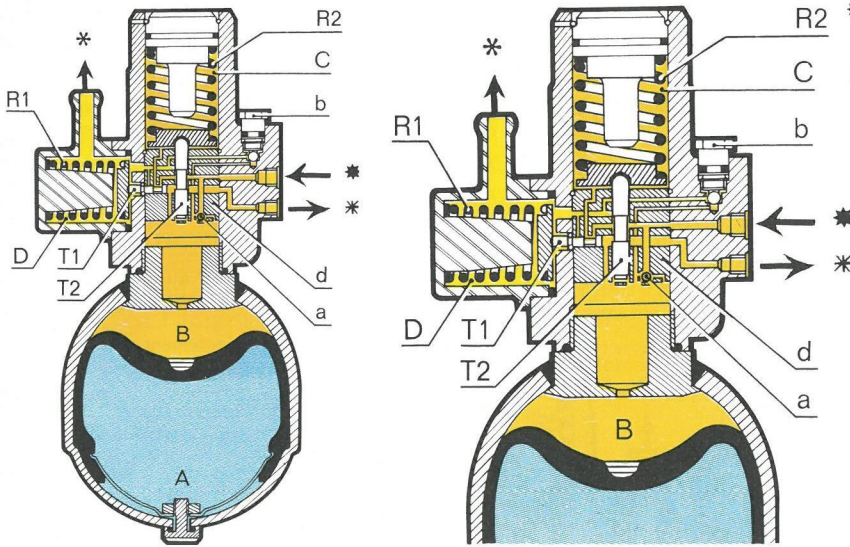
$$F2 = P \times S2$$

- F3 is the sum of 2 forces which are F(R2) due to the effect of spring R2, and F2 which is the pressure in chamber C. F3 is identical to the pressure in chamber B acting on surface S2.

$$F2 = P \times S2$$

$$F3 = F(R2) + F'2$$

- * Retour au réservoir
Return to storage tank
- * Refoulement pompe HP
High pressure pump output
- * Vers utilisation
Supply to hydraulic system



Lorsque F_1 devient supérieure à $F(R_1)$, le tiroir pilote T_1 se déplace et met la chambre C en communication avec la chambre D (pression atmosphérique).

Alors : $F_2 = 0$

Donc : $F_3 = F(R_2)$

F_2 devient prépondérante = $F_2 > F_3$.

Le tiroir T_2 se soulève, il y a disjonction (la pompe haute pression débite sans pression dans le réservoir ; le clapet anti-retour (a) se ferme).

When F_1 becomes greater than $F(R_1)$, pilot slide valve T_1 moves and places chamber C in communication with chamber D (atmospheric pressure).

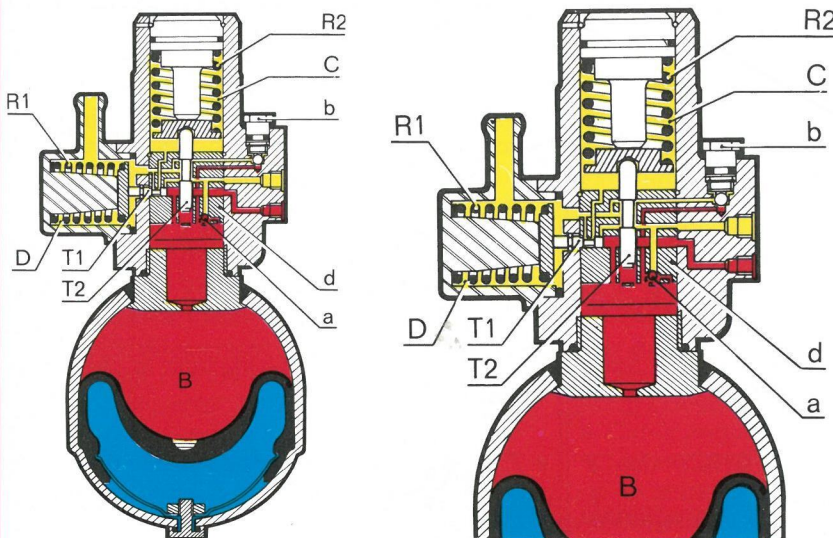
Then: $F_2 = 0$

Thus: $F_3 = F(R_2)$

F_2 becomes predominant = $F_2 < F_3$.

Slide valve T_2 rises and there is cut-out (the high-pressure pump draws from the storage tank at zero pressure; the check valve (a) is closed).

- * Retour au réservoir
Return to storage tank
- * Refoulement pompe HP
High pressure pump output
- * Vers utilisation
Supply to hydraulic system



3° - Conjonction

Après une faible consommation de liquide dans les circuits d'utilisation (suspension par exemple), la pression en B chute et provoque le retour à sa position initiale du tiroir pilote T1

$$F(R1) > F1$$

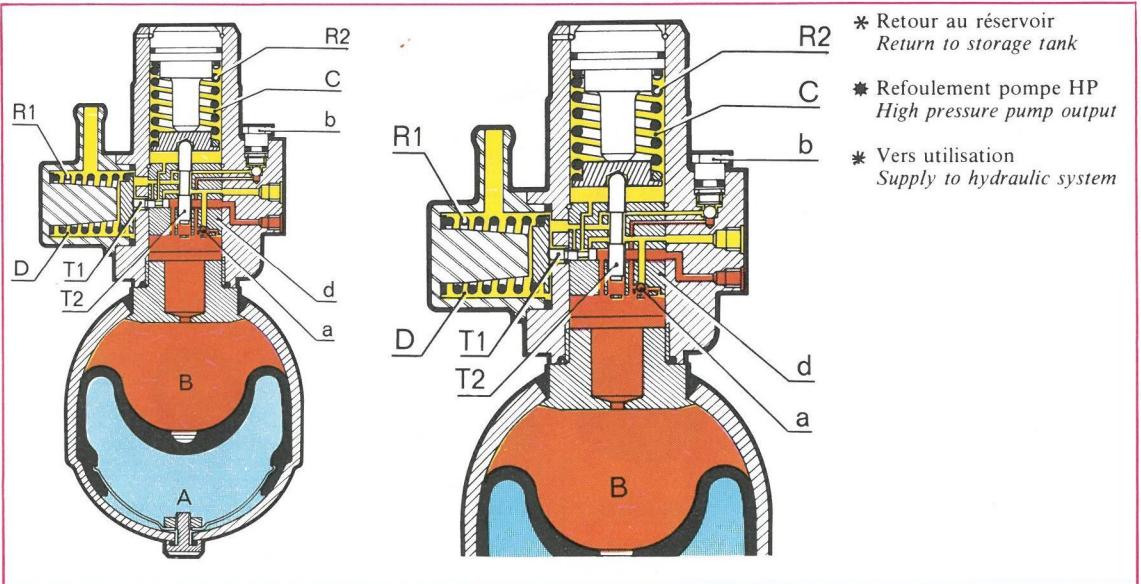
Les chambres C et D sont alors en liaison, ainsi que l'alimentation de la pompe HP (pression atmosphérique).

3) Cut-in

After a small amount of liquid is consumed in the operational circuits (suspension system for example), the pressure drops in chamber B causing pilot slide valve T1 to return to its initial position.

$$F(R1) > F1$$

Chambers C and D then communicate with each other, as well as the HP pump supply (atmospheric pressure).



La consommation augmente, la pression en B continue de chuter et dès que $F2 < F(R2)$, le tiroir T2 revient à sa position initiale. En se refermant, T2 isole le circuit pompe HP de la chambre D (pression atmosphérique). Alors, la pression monte brusquement en C (liaison avec la pompe HP) et pousse brutalement T2 :

$$F2 < F(R2) + PS2$$

$$F2 < F3$$

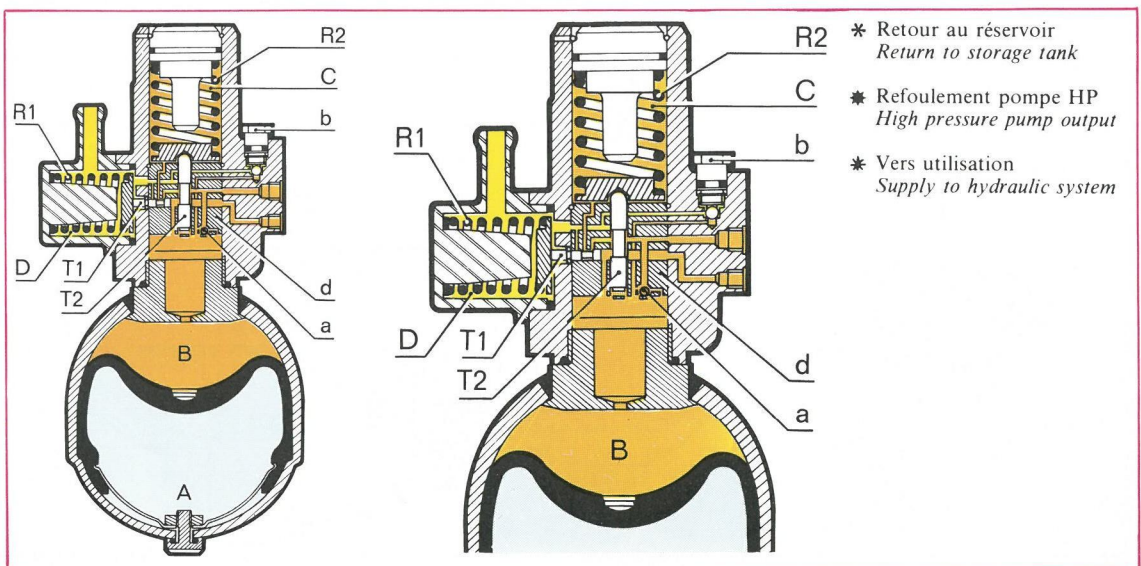
Il y a conjonction, le clapet anti-retour (a) s'ouvre. La pression monte à nouveau dans les chambres A, B, C.

Consumption increases, the pressure continues to drop in chamber B and as soon as $F2 < F(R2)$, slide valve T2 returns to its initial position. As it closes, slide valve T2 isolates the HP pump circuit from chamber D (atmospheric pressure). Then, the pressure suddenly rises in chamber C (connection with the HP pump) and abruptly pushes slide valve T2:

$$F2 < F(R2) + PS2$$

$$F2 < F3$$

There is cut-in and the check valve (a) is opened. The pressure again rises in chambers A, B and C.



ACCUMULATEUR PRINCIPAL

Généralités sur les accumulateurs :

Ce sont essentiellement des réservoirs chargés de stocker un fluide hydraulique (incompressible) sous pression et de le restituer progressivement et sans à-coups.

Leurs rôles :

- supprimer les chocs hydrauliques
- fournir rapidement du liquide sous pression lors d'une demande importante,
- compenser les fuites internes,
- secourir le circuit normal en cas de défaillance,
- éviter à la pompe de débiter constamment sous pression.

Description :

Ce sont des sphères embouties sur lesquelles sont soudés des embouts.

MAIN ACCUMULATOR

General remarks concerning the accumulators:

An accumulator is basically a tank designed to store a pressurized hydraulic fluid (incompressible) and restore it gradually and smoothly.

The accumulators have the following functions:

- they eliminate hydraulic shocks
- they quickly supply pressurized liquid when there is a high demand
- they compensate for internal leakage
- they back-up the normal circuit in case of failure
- they keep the pump from constantly drawing under pressure.

Description:

The accumulators are swaged spheres with adaptors welded to them.



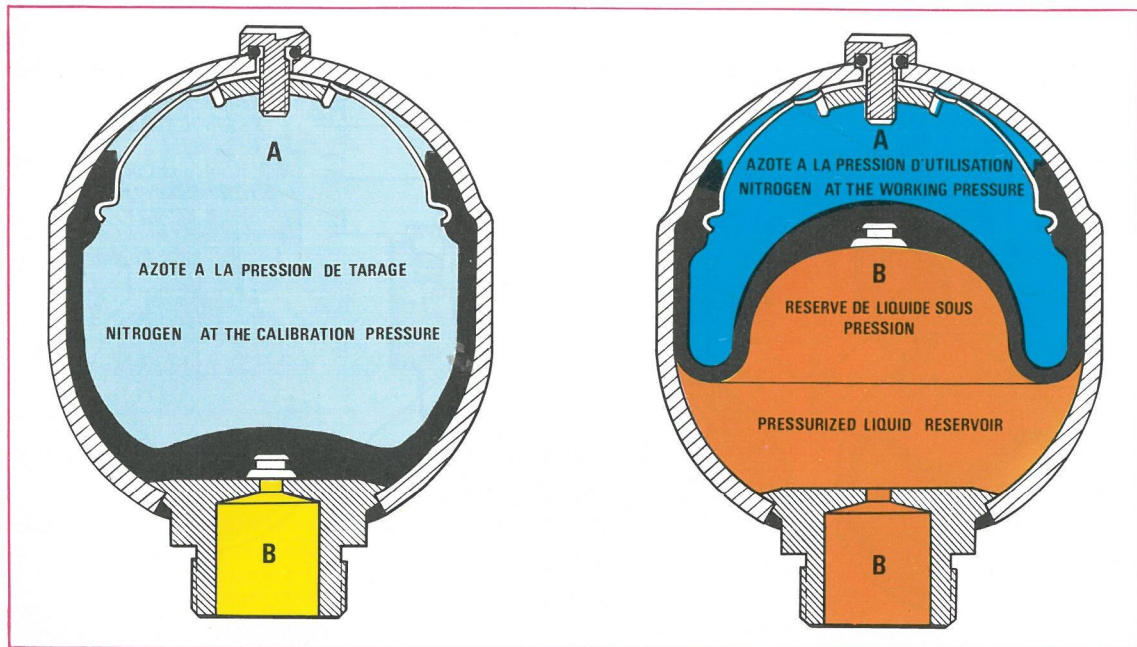
Leur volume intérieur, en situation sur véhicule, est divisé en 2 chambres A et B à volume variable par une membrane souple en caoutchouc synthétique : urepan ou desmopan.

En usine et en absence de liquide, est insufflé dans la chambre A un gaz inerte (azote) porté à une pression définie, dite pression de tarage. Le gaz occupe alors - en l'absence de liquide - tout le volume de la sphère.

Sur véhicule, la chambre B recevra le liquide dont la pression augmentera.

When installed on a vehicle, their interior volume is divided into 2 chambers, A and B, the volumes of which are varied by an elastic diaphragm made of synthetic rubber (urepan or desmopan).

In the factory, and without any liquid, an inert gas (nitrogen) is blown into chamber A at a pressure called the calibration pressure. The gas then fills the entire volume of the sphere in the absence of any liquid. When the sphere is installed on a vehicle, the pressurized liquid is contained in chamber B.



Fonctionnement des accumulateurs :

Loi de Mariotte :

Le fonctionnement des accumulateurs est basé sur la loi de Mariotte : "Pour une même masse de gaz maintenue à température constante, le produit des nombres qui mesurent le volume et la pression est un nombre constant".

$$P.V = \text{Constante}$$

Lorsque la température du gaz varie, la relation devient (équation de Laplace).

$$P.V \gamma = \text{Constante}$$

ou γ est un coefficient = 1,4 pour l'azote.

Principe

Lorsque le liquide est introduit pour la 1^{re} fois dans la chambre B (voiture neuve en usine) il repousse la membrane et le volume du gaz dans la chambre "A" diminue. De ce fait, et d'après l'équation de Laplace ($P.V \gamma = \text{Constante}$), la pression en "A" augmente. Ce qui signifie que dans tous les cas de fonctionnement sur voiture la pression dans les sphères sera supérieure à la pression de tarage.

Fonctionnement de l'accumulateur principal :

- En phase de conjonction, le volume de liquide augmente dans la chambre B et repousse la membrane jusqu'à ce que soit atteinte la pression de disjonction, soit 175 bars.
La membrane est alors immobile en position d'équilibre. Les pressions exercées de part et d'autre (par le liquide et le gaz) sont identiques.
- Lorsqu'il y a demande de liquide (ouverture du circuit) pour l'assistance d'une fonction (ex. : suspension) celui-ci est refoulé sans à-coup par la membrane sous la pression du gaz. La chambre "A" augmente de volume et la pression du gaz diminue. Lorsqu'elle atteint 140 bars il y a conjonction.

Operation of the accumulators:

Mariotte's Law:

Operation of the accumulators is based on Mariotte's Law:

"The product of the volume of a gas times its pressure is a constant at fixed temperature".

$$P.V = \text{constant}$$

When the temperature of the gas varies, the equation becomes (Laplace's Law):

$$P.V \gamma = \text{constant}$$

in which γ is a factor (1.4 for nitrogen).

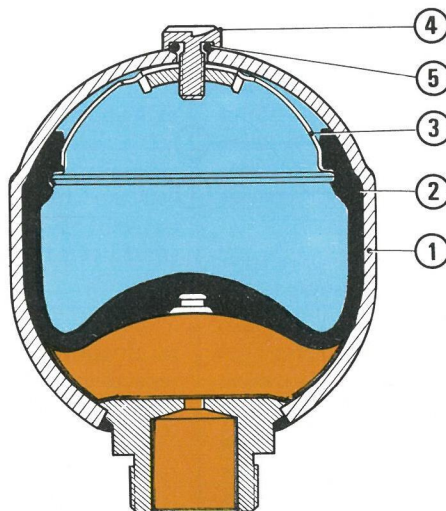
Principle

When the liquid enters chamber B for the first time (new car in the factory), it pushes the diaphragm, and the volume of gas in chamber "A" decreases. Therefore, and according to Laplace's equation ($P.V \gamma = \text{constant}$), the pressure in "A" increases. This means that, in all cases of operation on a car, the pressure in the spheres is higher than the calibration pressure.

Operation of the main accumulator:

- During the cut-in phase, the volume of liquid increases in chamber B and pushes the diaphragm until the cut-out pressure (175 bars) is reached. The diaphragm is then motionless in the equilibrium position. Identical pressures are exerted on both sides of it by the liquid and the gas.
- When there is a demand for liquid (opening of the circuit) in order to assist a function (such as suspension), the liquid is smoothly discharged through the diaphragm under the gas pressure. The volume of chamber "A" increases and the gas pressure decreases. When the pressure reaches 140 bars, cut-out takes place.

- 1 - Bloc pneumatique
- 2 - Membrane
- 3 - Coupelle
- 4 - Vis d'obturation
- 5 - Joint torique



- 1 - Pneumatic unit
- 2 - Diaphragm
- 3 - Cup
- 4 - Obturating screw
- 5 - O ring

Détermination du choix d'un accumulateur :

- Diverses expériences montrent :
 - que la quantité de liquide qu'il est possible de stocker est inversement proportionnelle à la valeur de la pression de tarage, exemple : pour un type d'accumulateur
- a) Pression de tarage = 40 bars
Pression atteinte par apport de liquide = 180 bars
Volume d'huile stocké = 260 cm³
- b) Pression de tarage = 65 bars
Pression atteinte = 180 bars
Volume stocké = 220 cm³,
- que la quantité de liquide restituée entre 2 valeurs de haute pression croît avec la pression de tarage de l'accumulateur, exemple :
- a) Pression de tarage = 40 bars
Pression de liquide restituée lors d'une chute de pression de 180 à 150 bars = 20 cm³
- b) Pression de tarage = 65 bars
Liquide restitué entre 180 et 150 bars = 30 cm³.

Conclusion :

La pression de tarage de l'accumulateur est définie en fonction du rôle qu'il est appelé à jouer.

VANNE DE SECURITE :

Rôle :

La réserve de pression étant commune à toutes les fonctions de la voiture (suspension, freinage et éventuellement direction) la vanne de sécurité accorde la priorité aux fonctions de sécurité : freinage et direction.

Choosing an accumulator:

- Various experiments show that:
 - the amount of liquid it is possible to store is inversely proportional to the calibration pressure value.
 - Example for one type of accumulator:
 - a) Calibration pressure = 40 bars
Pressure reached by adding liquid = 180 bars
Volume of oil stored = 260 cm³
 - b) Calibration pressure = 65 bars
Pressure reached = 180 bars
Volume of oil stored = 220 cm³
 - the amount of liquid restituted between 2 high-pressure values increases as the calibration pressure of the accumulator increases.
- Example:
- a) Calibration pressure = 40 bars
Amount of liquid restituted when the pressure drops from 180 to 150 bars = 20 cm³
 - b) Calibration pressure = 65 bars
Liquid restituted between 180 and 150 bars = 30 cm³.

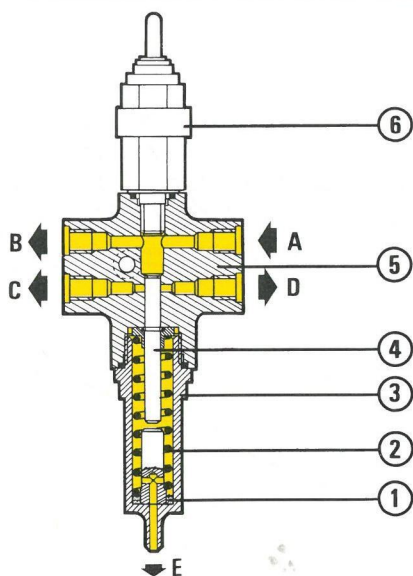
Conclusion:

The calibration pressure of the accumulator is determined on the basis of the function it is to perform.

PRIORITY VALVE:

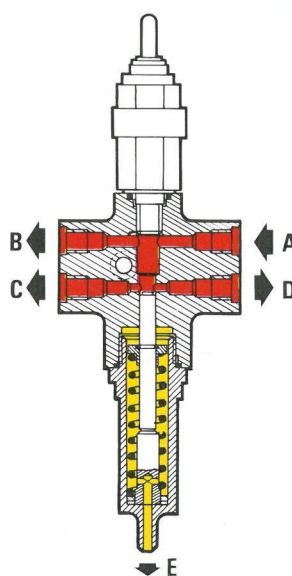
Function:

Since the pressure reserve is common to all the car functions (suspension, braking and possibly steering), the priority valve gives priority to the safety functions: braking and steering.



(a)

- 1 - Rondelle de réglage du ressort
- 2 - Ressort de tiroir
- 3 - Chapeau du corps de la vanne
- 4 - Tiroir
- 5 - Corps de la vanne
- 6 - Mano-contact
- A - Haute pression venant de l'accu principal
- B - Freins avant
- C - Correcteur avant
- D - Correcteur arrière
- E - Retour de fuites



(b)

- 1 - Spring setting washer
- 2 - Spring for slide-valve
- 3 - Valve body cover
- 4 - Slide-valve
- 5 - Valve body
- 6 - Pressure-switch
- A - High pressure from main accumulator
- B - Front brakes
- C - Front corrector
- D - Rear corrector
- E - Overflow return circuit

Par ailleurs, elle isole les freins avant des suspensions avant et arrière (en cas de fuites sur la suspension) et vice-versa, permettant de conserver du frein sur les roues arrière.

Description :

La vanne comporte 4 voies dont 2 destinées à l'alimentation des correcteurs de hauteur avant et arrière sont obturées par un tiroir en l'absence de pression.

Fonctionnement :

Lorsque la pression s'établit dans les circuits et :

- si elle est inférieure à une valeur P (tarage du ressort ②), le liquide alimente uniquement freins et direction,
- si elle est supérieure à P, le liquide alimente freins, direction et quasi simultanément suspension avant et arrière après avoir vaincu l'action du ressort de rappel du tiroir.

Valeurs de P : 70 à 90 bars sur GSA
110 à 130 bars sur CX.

Sécurité :

- En cas de chute de pression dans le circuit d'alimentation, le tiroir est repoussé sous l'action du ressort. Il isole ainsi le circuit de suspension arrière, lui permettant de conserver une réserve de liquide sous pression pour alimenter les freins arrière.
- Un mano-contact de contrôle de pression allume une lampe témoin au tableau de bord lorsque la pression dans le circuit "réserve de pression" est inférieure à la pression de conjonction : pression de tarage de mano-contact = 75 à 95 bars pour GSA et CX.

LA SUSPENSION

Le système de suspension hydropneumatique qui équipe les modèles GSA et CX de la gamme Citroën est pour le moins inhabituel car constitué de deux fluides : liquide et gaz.

Le ressort mécanique classique (hélicoïdal, lames ou barres de torsion) est ici remplacé par une masse de gaz enfermée dans une sphère en acier.

La carrosserie repose donc sur 4 blocs pneumatiques sollicités lors des débattements des 4 roues indépendantes.

Le liquide est l'élément qui assure la liaison entre la masse gazeuse et les éléments mobiles des essieux : les bras de suspension. Il permet également de compenser automatiquement, par des variations de volume, les variations de hauteur du véhicule (lors de son chargement par exemple).

Description :

A partir de la réserve de pression qui l'alimente en liquide (LHM) haute pression, le système de suspension hydropneumatique comprend :

- 4 sphères ou accumulateurs
- 4 amortisseurs
- 4 cylindres renfermant pistons et biellettes
- 2 correcteurs de hauteur et leurs commandes.

Moreover, it isolates the front brakes from the front and rear suspension systems (in case the suspension system leaks) and vice versa, making it possible to maintain braking action on the rear wheels.

Description:

The valve has 4 ways, 2 of which are intended to supply front and rear height correctors. These two ways are covered by a slide valve when there is no pressure.

Operation:

When the pressure is built up in the circuits, and:

- *if it is below a value P (calibration of the spring ②), the liquid only supplies the brakes and the steering mechanism.*
- *if it is greater than P, the liquid supplies the brakes, the steering mechanism and, almost simultaneously, the front and rear suspension systems after overcoming the force of the slide valve return spring.*

*Values of P: 70 to 90 bars for model GSA
110 to 130 bars for model CX.*

Safety:

- *If the pressure drops in the supply circuit, the slide valve is pushed under the effect of the spring. It thus isolates the rear suspension circuit allowing it to maintain a reserve of pressurized liquid to supply the rear brakes.*
- *A pressure-check pressure-switch lights up a pilot lamp on the instrument panel when the pressure in the "pressure reserve" circuit is below the cut-in pressure: pressure switch calibration pressure = 75 to 95 bars for models GSA and CX.*

THE SUSPENSION SYSTEM

The hydropneumatic suspension system equipping the Citroën GSA and CX car models is unusual to say the least, since it consists of two fluids: a liquid and a gas.

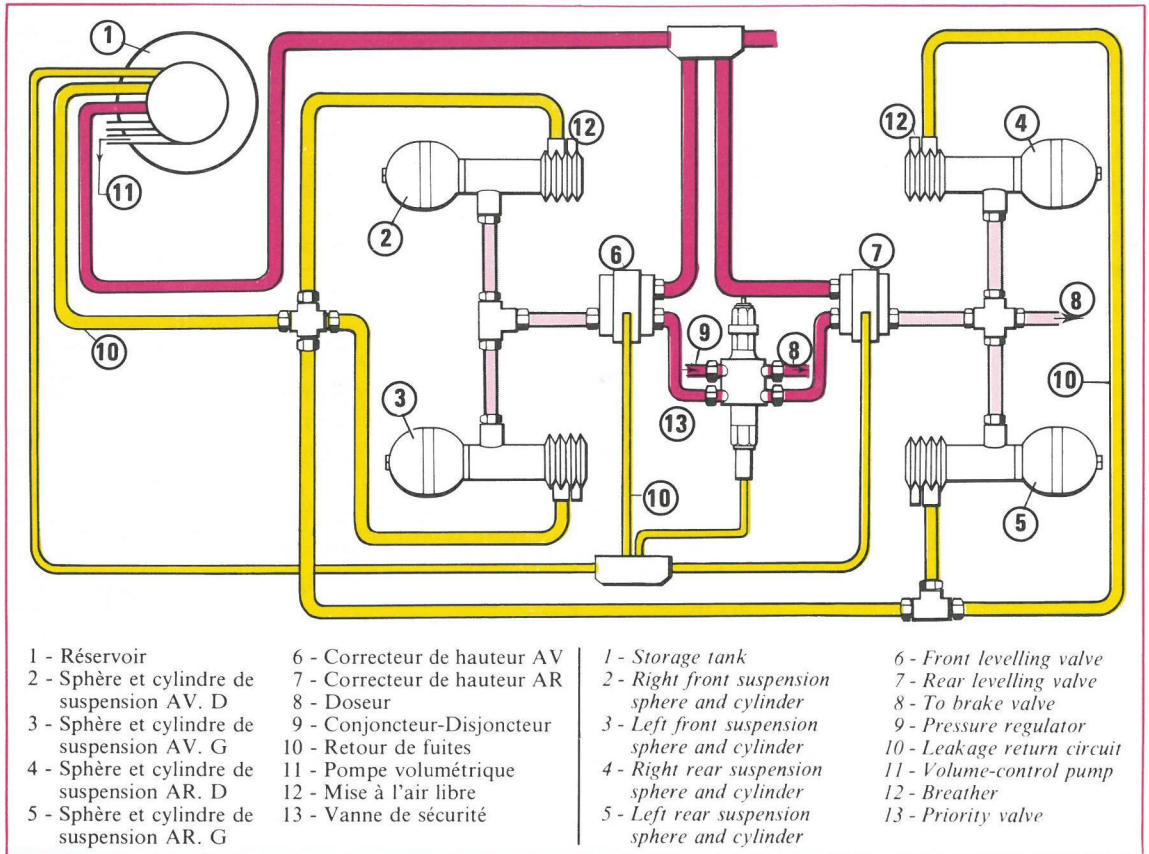
The conventional mechanical spring (coil spring, leaf spring or torsion bar) is replaced by a volume of gas enclosed in a steel sphere. Therefore, the body rests on 4 pneumatic units strained as the 4 independent wheels travel.

The liquid is the element linking the volume of gas to the moving parts of the axle, i.e. the suspension arms. It also automatically compensates for variations in the vehicle height when it is loaded, through changes in volume.

Description:

Starting from the pressure reserve which supplies high-pressure liquid (MHL), the hydropneumatic suspension system includes:

- *4 spheres or accumulators*
- *4 shock absorbers*
- *4 cylinders housing pistons and links*
- *2 height correctors (levelling valves) and their controls.*

**LA SPHERE :**

Elle est un bloc pneumatique semblable à l'accumulateur principal de la réserve de pression. Le gaz (azote) qu'elle renferme constitue l'élément élastique de la suspension.

Suivant les modèles et leur emplacement sur le véhicule (avant et arrière) la pression de tarage du gaz est différente.

Exemple : GSA : avant = $55 \begin{smallmatrix} + \\ - \end{smallmatrix} \begin{smallmatrix} 5 \\ 10 \end{smallmatrix}$
 arrière = $35 \begin{smallmatrix} + \\ - \end{smallmatrix} \begin{smallmatrix} 5 \\ 10 \end{smallmatrix}$

CX (Athéna) : avant = $70 \begin{smallmatrix} + \\ - \end{smallmatrix} \begin{smallmatrix} 2 \\ 25 \end{smallmatrix}$ bars
 arrière = $40 \begin{smallmatrix} + \\ - \end{smallmatrix} \begin{smallmatrix} 2 \\ 15 \end{smallmatrix}$ bars

CX (Diesel) : avant = $75 \begin{smallmatrix} + \\ - \end{smallmatrix} \begin{smallmatrix} 2 \\ 27 \end{smallmatrix}$ bars
 arrière = $40 \begin{smallmatrix} + \\ - \end{smallmatrix} \begin{smallmatrix} 2 \\ 15 \end{smallmatrix}$ bars

L'AMORTISSEUR :

Pour contrôler les amplitudes d'oscillations, le tressautement des roues et les rebondissements de la caisse, on a interposé entre la sphère et le cylindre un amortisseur qui se trouve intimement incorporé à la suspension, donc toujours dans une ambiance sous pression éliminant de ce fait tout risque de cavitation, assurant ainsi intégralement l'amortissement pour les plus petits déplacements de roues.

C'est une petite rondelle en acier fritté de diamètre 27 mm et d'épaisseur 13 mm sur la périphérie

THE SPHERE:

It is a pneumatic unit similar to the main accumulator of the pressure reserve. The gas it contains (nitrogen) acts as the elastic element of the suspension system.

The calibration pressure of the gas differs depending on the models and their locations on the vehicle (front and rear).

Examples: GSA: front = $55 \begin{smallmatrix} + \\ - \end{smallmatrix} \begin{smallmatrix} 5 \\ 10 \end{smallmatrix}$
 rear = $35 \begin{smallmatrix} + \\ - \end{smallmatrix} \begin{smallmatrix} 5 \\ 10 \end{smallmatrix}$

CX (Athena) : front = $70 \begin{smallmatrix} + \\ - \end{smallmatrix} \begin{smallmatrix} 2 \\ 25 \end{smallmatrix}$ bars
 rear = $40 \begin{smallmatrix} + \\ - \end{smallmatrix} \begin{smallmatrix} 2 \\ 15 \end{smallmatrix}$ bars

CX Diesel : front = $75 \begin{smallmatrix} + \\ - \end{smallmatrix} \begin{smallmatrix} 2 \\ 15 \end{smallmatrix}$ bars
 rear = $40 \begin{smallmatrix} + \\ - \end{smallmatrix} \begin{smallmatrix} 2 \\ 15 \end{smallmatrix}$ bars

THE SHOCK ABSORBER:

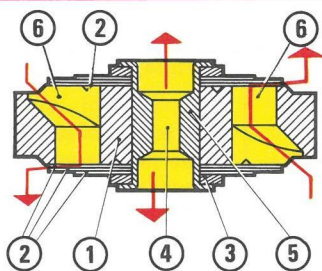
In order to control the oscillation amplitudes, jumping of the wheels and rebounding of the body-shell, a shock absorber working as an integral part of the suspension system has been inserted between the sphere and the cylinder. Thus, the shock absorber is always in pressurized surroundings, thereby eliminating all risk of cavitation; it therefore ensures integral damping of small wheel movements.

It is a small sintered steel washer, 27 mm in diameter and 13 mm thick with calibrated ports (6) drilled on its periphery. Its two sides are partially

de laquelle sont percés des trous calibrés ⑥. Ses 2 faces sont partiellement fermées par des clapets tarés avec précision ②. Au centre un rivet ⑤ percé d'un trou calibré ④ maintient l'ensemble. Le sertissage du rivet est contrôlé avec une extrême précision.

closed off by precision-calibrated plate valves ②. A rivet ⑤ in the centre with a calibrated central port ④ drilled in it holds the assembly together.

Crimping of the rivet is checked with extreme precision.



- 1 - Corps
- 2 - Clapets
- 3 - Entretoise
- 4 - Trou de fuite
- 5 - Rivet
- 6 - Trous calibrés

- 1 - Valve body
- 2 - Plate valves
- 3 - Distance-piece
- 4 - Central port
- 5 - Rivet
- 6 - Calibrated ports

L'amortisseur est lui-même serti sur la sphère de suspension.

The actual shock absorber is crimped onto the suspension sphere.

L'amortissement s'effectue par laminage du liquide au travers des trous calibrés plus ou moins obturés par les clapets. Pour les faibles vitesses de déplacement vertical de la roue (moins de 20 cm/s), le trou ④ permet le passage du liquide dans les deux sens pratiquement sans freinage. Les amortisseurs sont à double effet et symétriques.

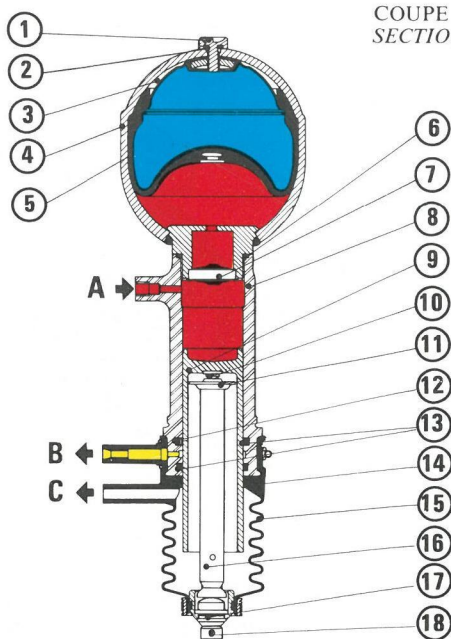
Damping is created by laminar flow of the liquid through the calibrated ports which are more or less covered by the plate valves. In the case of low vertical wheel speeds (less than 20 cm/sec.), the central port ④ allows the liquid to flow on both directions with almost no resistance. The shock absorbers are of the double-acting, symmetrical type.

LE CYLINDRE DE SUSPENSION :

Vissé sur la sphère, porté par la caisse, il renferme un piston et le liquide sous pression.

THE SUSPENSION CYLINDER:

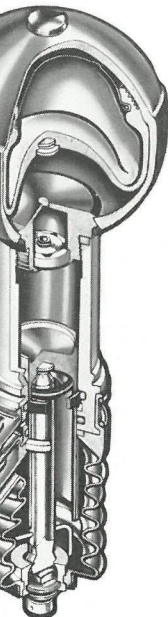
This cylinder is screwed on to the sphere. It is carried by the body-shell and houses a piston and the pressurized liquid.



COUPE D'UN CYLINDRE
SECTION OF A CYLINDER

- 1 - Vis d'obturation
- 2 - Joint torique
- 3 - Coupelle
- 4 - Bloc pneumatique
- 5 - Membrane
- 6 - Joint torique
- 7 - Amortisseur
- 8 - Cylindre
- 9 - Piston
- 10 - Grain
- 11 - Rondelle de centrage
- 12 - Joint téflon
- 13 - Joints toriques
- 14 - Joint feutré
- 15 - Pare-poussière
- 16 - Tige de suspension
- 17 - Bille
- 18 - Logement de bille
- A - Liquide venant du correcteur de hauteur
- B - Retour des fuites
- C - Mise à l'air libre

- 1 - Obturating screw
- 2 - O ring
- 3 - Cup
- 4 - Pneumatic unit
- 5 - Diaphragm
- 6 - O ring
- 7 - Damper
- 8 - Cylinder
- 9 - Piston
- 10 - Thrust-pad
- 11 - Centering washer



- 12 - Teflon gasket
- 13 - O ring seals
- 14 - Felt washer
- 15 - Dust protector
- 16 - Suspension rod
- 17 - Ball
- 18 - Ball socket
- A - Fluid from the levelling valve
- B - Leakage return circuit
- C - Breather

En aluminium, ses parois intérieures sont rectifiées pour permettre le coulisement d'un piston. Dans la partie basse, 2 gorges de son alésage reçoivent les joints d'étanchéité. Deux orifices permettent l'arrivée du liquide sous pression et l'évacuation vers le réservoir du liquide provenant de fuites entre piston et cylindre.

Le piston en acier, par l'intermédiaire d'une bielle fixée sur le bras de suspension, accompagne les débats de celui-ci.

Le liquide LHM sous pression est le fluide (incompressible) qui répercute sur le gaz par l'intermédiaire de la membrane les déplacements du bras de suspension. C'est lui qui maintient le piston en appui sur la bielle.

Un pare-poussière (soufflet caoutchouc) protège l'ensemble.

Its interior aluminium walls are ground to enable sliding of a piston. The seals are accommodated in two grooves in its bore at the bottom. Two ports allow arrival of the pressurized liquid and discharge to the storage tank of any liquid resulting from leakage between the piston and the cylinder.

The steel piston follows the movements of the suspension arm by means of a link secured to this arm.

The pressurized MHL liquid is the incompressible fluid that transfers movement of the suspension arm to the gas via the diaphragm. This is what holds the piston against the link.

A dust-guard (rubber bellows) protects this assembly.

PRINCIPES GENERAUX :

Deux fluides assurent le fonctionnement de la suspension hydropneumatique : un gaz (azote), un liquide (huile minérale).

On constate que :

- La pression dans la suspension augmente avec la charge (figures 1 et 2).

- Fig. 1 : le système étant en équilibre les pressions sont égales $P_1 = P_2$.

- Fig. 2 : à la charge C on ajoute C_1 .

Le gaz diminue de volume, entraînant :

- un abaissement de la hauteur H en H'
- une augmentation de pression du gaz P'_1 , puisque $P \times V = \text{Constante}$.

En position d'équilibre $P'_1 = P'_2$ donc $P'_2 > P_2$.

GENERAL PRINCIPLES:

Two fluids ensure operation of the hydropneumatic suspension system: a gas (nitrogen) and a liquid (mineral oil).

It can be seen that:

- The pressure in the suspension system increases in proportion to the load (figures 1 and 2).

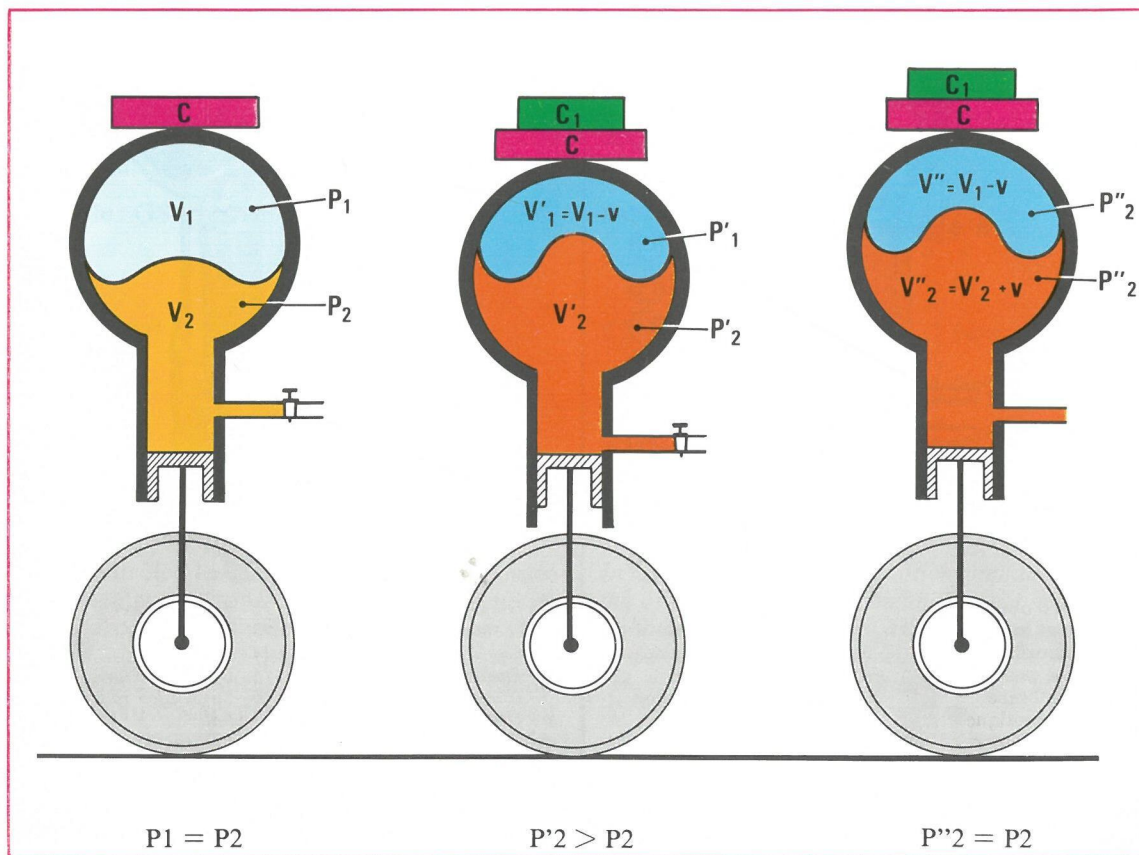
- Fig. 1: the system is balanced and the pressures are equal: $P_1 = P_2$

- Fig. 2: C_1 is added to load C.

The volume of the gas decreases, resulting in:

- a reduction in height H at H'
- an increase in gas pressure P'_1 since $P \times V = \text{constant}$.

In the equilibrium position, $P'_1 = P'_2$ and thus $P'_2 > P_2$.



- La pression dans la suspension est indépendante de la hauteur du véhicule
- Fig. 3 : le robinet R ouvert, un apport de liquide permet de compenser la diminution de volume du gaz. La sphère remonte à sa hauteur initiale H. Comparé à la figure 2, le volume de gaz n'a pas varié et il en est de même pour la pression.

Fonctionnement :

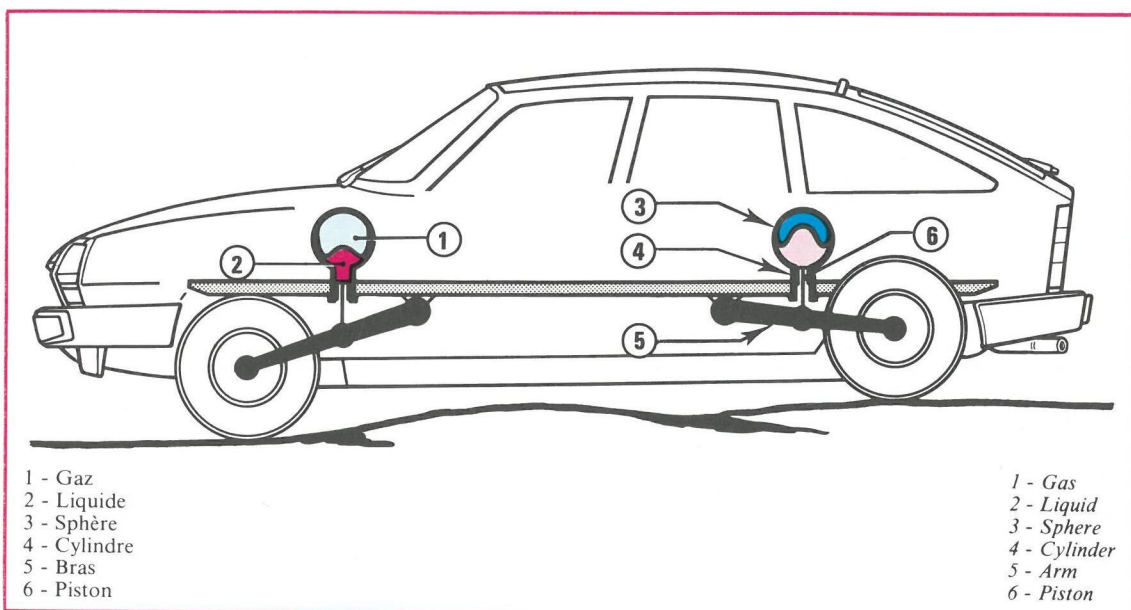
La roue abordant un obstacle, le piston se déplace dans son cylindre. Dans le cas d'une "bosse", le liquide contenu dans le cylindre est, à travers l'amortisseur, refoulé dans la sphère par le piston. Le gaz est comprimé.

Dans le cas d'un "trou", le gaz se détend. Refoulé par la détente du gaz, le liquide, à travers l'amortisseur, passe de la sphère au cylindre. La compression et la détente du gaz évitent que ne soient transmises à la caisse et à ses occupants, l'énergie due au choc.

- *The pressure in the suspension system does not depend on the vehicle height*
- *Fig. 3: when valve R is open, the addition of liquid makes it possible to compensate for the decreased volume of gas. The sphere rises to its initial position H. In comparison with figure 2, the volume of gas has not changed, nor has the pressure.*

Operation:

When the wheel encounters an obstacle, the piston moves in its cylinder. In case of a "bump", the piston expels the liquid contained in the cylinder through the shock absorber and in to the sphere. This compresses the gas. In case of a "hole", the gas expands. The liquid, which is expelled through the shock absorber owing to expansion of the gas, flows from the sphere to the cylinder. Compression and expansion of the gas keeps the energy resulting from the shock from being transmitted to the body-shell and the passengers.



LA CORRECTION DE HAUTEUR

Elle a pour but de maintenir automatiquement la caisse à hauteur constante (garde au sol constante) lors :

- des variations de charge statiques du véhicule
- de modifications du profil de la route en faisant varier le volume du liquide contenu entre le piston et la membrane de chaque sphère. A la demande, une commande mécanique manuelle permet de faire varier la hauteur du véhicule, pour faciliter le franchissement d'obstacles ou le changement de roue.

Les correcteurs de hauteur

Au nombre de deux les correcteurs de hauteur agissent l'un sur la suspension avant, l'autre sur la suspension arrière. Fixés sur la caisse, ils sont reliés à la suspension (barres anti-roulis) par une biellette pour la correction automatique.

Ils agissent sur la hauteur du véhicule par :

- apport de liquide dans le circuit de suspension,
- à partir de la réserve de pression,
- retrait de liquide, évacué vers le réservoir.

HEIGHT CORRECTOR

It is designed to automatically keep the body-shell at a constant height (constant ground clearance) at the time of:

- *static load variations of the vehicle*
- *changes in the profile of the road surface.*

This is done by varying the volume of the liquid between the piston and the diaphragm of each sphere: a manual mechanical control is used to vary the vehicle height at will in order to negotiate obstacles or change a tyre more easily.

The height correctors:

There are two height correctors. One of them acts on the front suspension system and the other on the rear system. They are attached to the body-shell and connected to the suspension system (anti-roll bar) by a link for automatic height correction.

They vary the vehicle height by:

- *adding liquid to the suspension system from the pressure reserve*
- *removing liquid which is returned to the storage tank.*

Description :

Un correcteur de hauteur est constitué d'un corps en aluminium ① à l'intérieur duquel est emmanchée à force une chemise en acier ②.

Un tiroir distributeur ③ se déplace dans un alésage de la chemise suivant demande : correction automatique ou manuelle.

Aux deux extrémités du tiroir : deux chambres emplies de liquide sous pression ④ et ⑤.

Deux canaux O_1 et O_2 permettent le passage de liquide d'une chambre à l'autre. L'un des canaux O_1 est "dash-poté" : des rondelles finement percées freinent le déplacement du liquide.

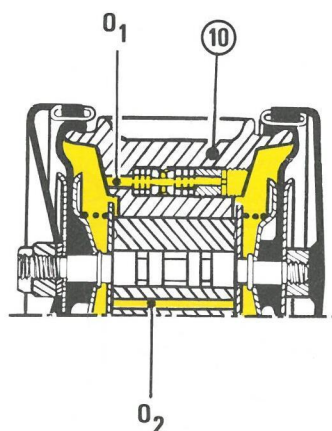
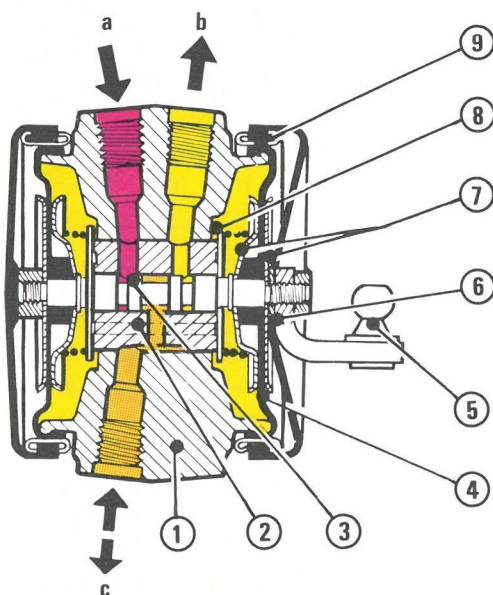
Description:

A height corrector consists of an aluminium body ① in which a steel liner ② is force-fitted.

A slide valve ③ moves in a bore in the liner depending on the demand: automatic or manual correction.

There are two chambers filled with pressurized liquid ④ and ⑤ at both ends of the slide valve.

Two channels O_1 and O_2 allow the liquid to flow from one chamber to the other. One of these channels O_1 is fitted with a dashpot: finely pierced washers slow down movement of the liquid.



- | | |
|----------------------------|---------------------------------|
| 1 - Corps | 11 - Rondelle clinquant |
| 2 - Chemise | 12 - Entretoises |
| 3 - Tiroir | 13 - Vis de blocage |
| 4 - Rotule de commande | 14 - Passage du liquide |
| 5 - Membrane de souple | a - Admission |
| 6 - Membrane de protection | b - Retour |
| 7 - Coupelles | c - Utilisation |
| 8 - Clapet | d - Admission |
| 9 - Anneau de maintien | e - Retour à la position neutre |
| 10 - Dash-pot | f - Position neutre |

- | | |
|--------------------------|--------------------------------|
| 1 - Body | 11 - Foil washer |
| 2 - Liner | 12 - Distance pieces |
| 3 - Slide valve | 13 - Lock screw |
| 4 - Control knob | 14 - Liquid flow |
| 5 - Flexible diaphragm | a - Intake |
| 6 - Protective diaphragm | b - Return |
| 7 - Cups | c - User circuit |
| 8 - Plate valve | d - Intake |
| 9 - Retaining ring | e - Return to neutral position |
| 10 - Dashpot | f - Neutral position |

Par des trous percés radialement dans l'ensemble corps-chemise, le tiroir peut mettre en liaison le circuit de suspension avec la source de liquide haute-pression ou le réservoir.

Commande automatique :

Fonctionnement :

- Lestage du véhicule :

● Admission

La charge P s'ajoutant, la caisse s'affaisse, entraînant un déplacement du tiroir vers l'admission, par l'intermédiaire de la barre anti-roulis.

The slide valve can connect the suspension system to the source of high-pressure liquid or the storage tank by means of radial ports drilled in the body/liner assembly.

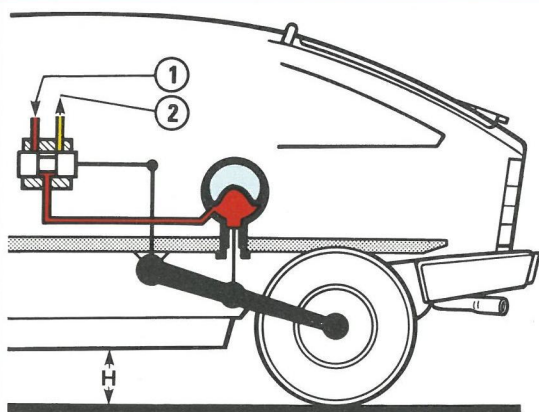
Automatic control :

Operation:

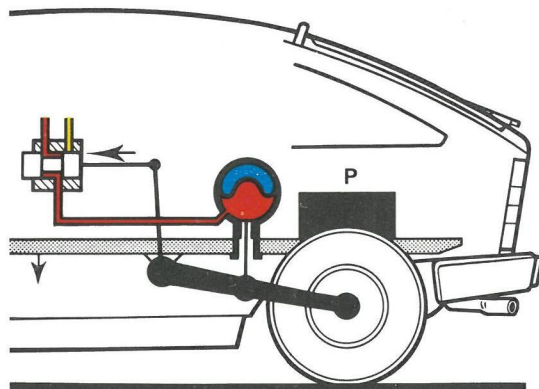
- Adding weight to the vehicle:

● Intake

When load P is added, the body-shell sinks, resulting in movement of the slide valve towards the intake, via the anti-roll bar.



1 - Arrivée de pression
2 - Retour au réservoir



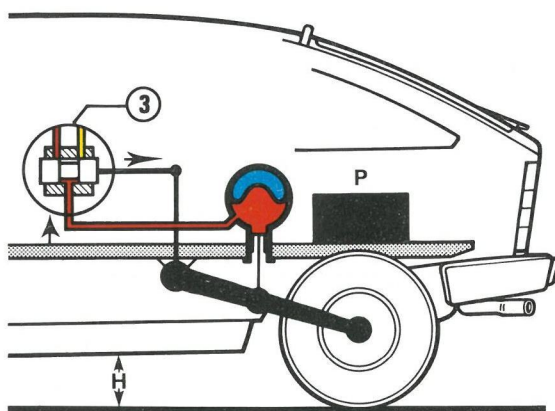
1 - Pressure supply
2 - Return to reservoir

Le tiroir met en communication le circuit de suspension avec la haute-pression de la "réserve de pression". L'augmentation du volume de liquide dans les cylindres provoque la remontée de la caisse.

Ce changement de position de la caisse favorise une action en sens inverse de la barre anti-roulis qui ramène le tiroir en position neutre : circuit de suspension isolé.

The slide valve connects the suspension system to the high-pressure reservoir of the "pressure reserve". The increase in the volume of liquid in the cylinders causes the body-shell to rise.

This change in position of the body-shell enhances movement of the anti-roll bar in the opposite direction which returns the slide valve to the neutral position: the suspension system is isolated.



3 - Correcteur de hauteur

3 - Levelling valve

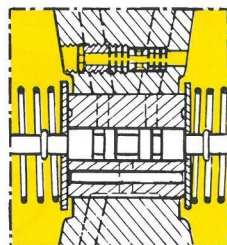
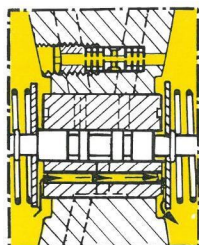
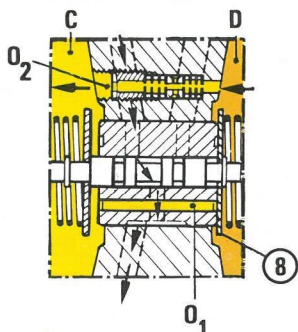
Afin d'éviter toute correction intempestive, le tiroir est freiné dans ses déplacements. Lorsqu'il s'écarte de la position "neutre" vers l'admission, le clapet (8) est plaqué sur la face de la chemise, obstruant O_1 . Le liquide passe de D en C par le canal "dash-poté" O_2 et subit un laminage important, freinant le déplacement du tiroir.

In order to prevent any untimely correction, the movement of the slide valve is restrained. When it moves away from the "neutral" position towards the intake, the plate valve (8) is held against the surface of the liner, thereby covering channel O_1 . The liquid flows from D to C via the dashpot channel O_2 and is subjected to a high degree of laminar flow, thus slowing down movement of the slide valve.

Admission — Intake

Retour au neutre — Return to neutral

Neutre — Neutral



Quand le tiroir tendra à revenir vers la position "neutre", le liquide n'empruntera pas le même chemin, il passera par le canal O₂ lisse et non obturé. D'où retour net et rapide à cette position.

- Délestage du véhicule :

Le même processus se déroule mais dans le sens inverse.

La charge retirée :

- la caisse remonte sous la pression régnant dans la suspension,
- action inverse de la barre anti-roulis,
- déplacement opposé du tiroir qui met en communication "circuit de suspension" et "retour réservoir",
- la caisse descend provoquant un mouvement de la barre anti-roulis inverse au précédent qui ramène le tiroir en position neutre.

Les déplacements du tiroir à l'aller et au retour s'effectuent dans les mêmes conditions que lors du lestage.

Commande manuelle :

Placée à droite du conducteur sur la console centrale des véhicules GSA et CX, elle permet à celui-ci de définir la garde au sol de son véhicule en fonction des conditions de roulage : route, pistes africaines, chemins défoncés...

Par ailleurs, lors d'un changement de roue, elle permet de lever hydrauliquement le véhicule afin de limiter les efforts devant être fournis par l'opérateur pour lever la caisse à l'aide du cric.

Fonctionnement :

Le levier de commande sur console agit sur une tringlerie qui déplace simultanément les tiroirs des correcteurs de hauteur avant et arrière. A la demande, le circuit de suspension est alors mis à l'admission ou à l'échappement.

ESSIEU ANTI-CABREUR

Lors d'une accélération, on constate sur un véhicule classique, que l'avant se soulève, alors que l'arrière s'écrase. C'est le "cabrage". Au freinage, le mouvement inverse se produit, c'est la "plongée". Ce phénomène est d'autant plus important que la suspension est souple. Il peut être fortement atténué par l'adoption d'une géométrie appropriée de l'essieu moteur qui maintient quasi constante l'assiette du véhicule lors des accélérations ou freinages.

When the slide valve tends to return to its "neutral" position, the liquid no longer takes the same route; it flows through smooth, uncovered channel O₂. This results in fast, positive return to this position.

- Removing weight from the vehicle:

The same sequence takes place, but in the opposite direction.

When the load is removed:

- the body-shell rises owing to the pressure in the suspension system
- the anti-roll bar acts in the opposite direction
- the slide valve moves in the opposite direction which places the "suspension system" in communication with the "return to storage tank"
- the body-shell sinks, causing the anti-roll bar to move in the opposite direction from above, and this returns the slide valve to the neutral position.

The backward and forward movements of the slide valve occur under the same conditions as when weight is added to the vehicle.

Manual control:

This control is located to the right of the driver on the central console of the GSA and CX vehicles. It enables the driver to establish the ground clearance of his vehicle depending on the road conditions: road surface, African trails, bumpy roads, etc.

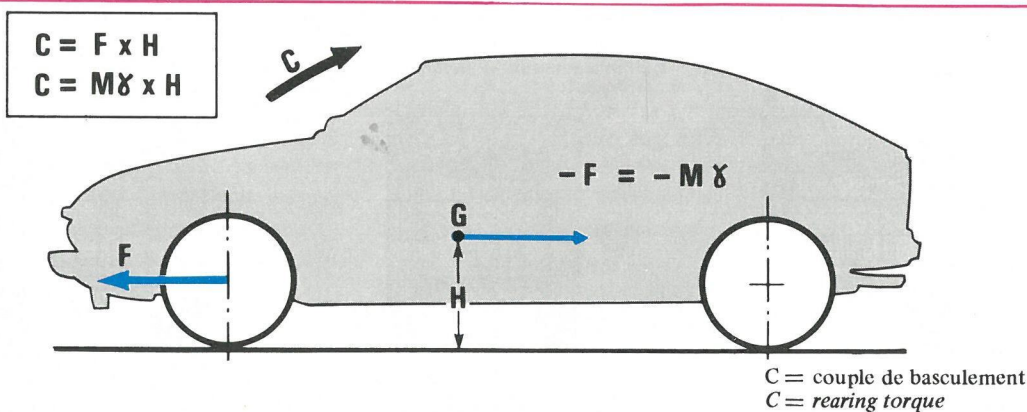
In addition, when a tyre needs to be changed, this control hydraulically lifts the vehicle to limit the driver's effort to raise the body-shell using the jack.

Operation:

The control lever on the console acts on a linkage that simultaneously moves the slide valves of the front and rear height correctors. The suspension system is then connected to the intake or exhaust at will.

ANTI-REARING AXLE

During acceleration of a conventional vehicle, it can be noticed that the front rises and the rear sinks. This is called "rearing". During braking, the opposite movement occurs, and this is called "dipping". This phenomenon is all the more accentuated as the suspension is flexible. It can be considerably attenuated by adopting an appropriate geometry for the driving axle which almost keeps the ride height of the vehicle at a constant level during acceleration and braking.



Principe de fonctionnement :

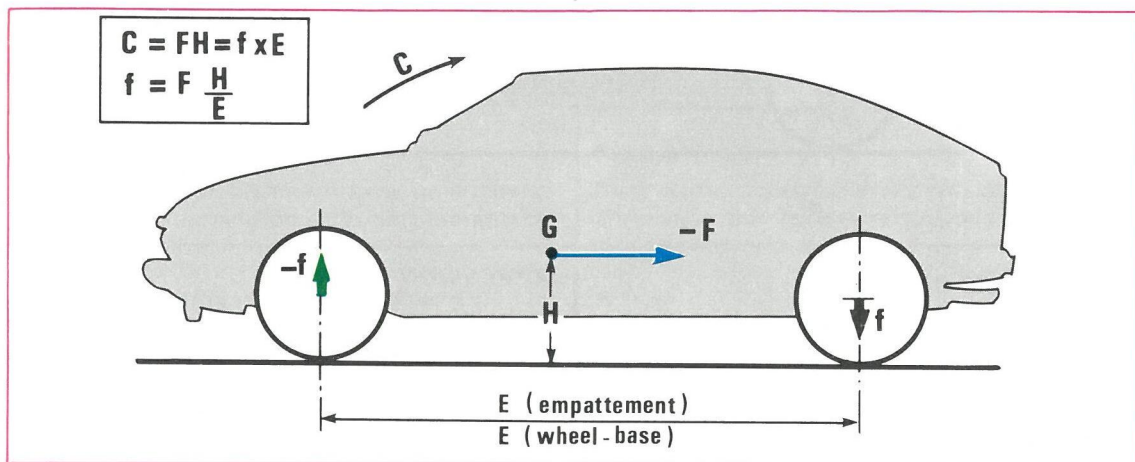
Raisonnons sur un véhicule à traction avant à grande flexibilité, la GSA par exemple en phase d'accélération.

Au démarrage, le véhicule est soumis à une force de traction F . A un instant donné, s'oppose à cette force, une force égale de sens inverse $-F = M \gamma$ due à l'inertie du véhicule. Cet effort d'inertie $-F$ appliqué au centre de gravité G , communique à la carrosserie un couple de cabrage $C = M \gamma H$ (valeur absolue).

Operating principle:

Let us consider a highly flexible front-wheel-drive vehicle such as the GSA during the acceleration phase.

When it starts out, the vehicle is subjected to a tractive force F . At a given point in time, this force is opposed by an equal force in the opposite direction $-F = -M \gamma$ resulting from the inertia of the vehicle. This inertia force ($-F$) applied to the centre of gravity (G) transmits a rearing torque to the body ($C = M \gamma H$ in absolute value).



Ce couple provoque un délestage de l'avant $-f$ et une surcharge identique f de l'arrière. Le véhicule se cabre.

E étant l'empattement, on peut écrire :

$$C = F \times H = f \times E$$

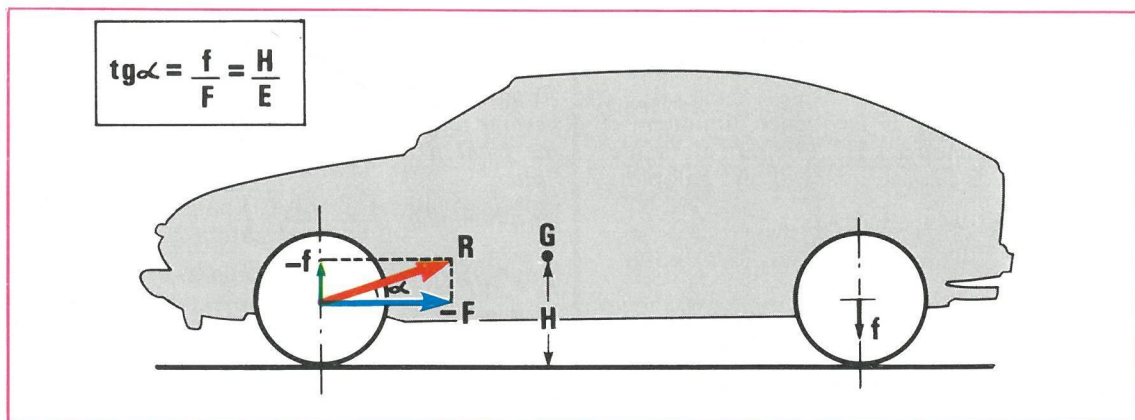
$$\text{d'où } f = F \frac{H}{E}$$

This torque takes weight off the front ($-f$) and results in overloading (f) of the rear by the same amount. The vehicle "rears".

If " E " stands for the wheelbase, we can write:

$$C = F \times H = f \times E$$

$$\text{which gives: } f = F \frac{H}{E}$$



$-F$ reporté au centre de roue nous permet de tracer la résultante R appliquée au centre de roue AV. Elle détermine avec l'horizontale un angle α tel que :

$$\text{tg } \alpha = \frac{f}{F} = \frac{H}{E}$$

Cet angle est donc indépendant de γ (accélération).

Conclusion :

Pour supprimer l'action de R sur la suspension (cabrage) il suffit d'orienter les bras de suspension de façon telle que leurs axes d'articulation

$-F$ shifted to the wheel centre makes it possible to plot the resultant (R) applied to the centre of the front wheel. It determines an angle with the horizontal, such that:

$$\text{tg } \alpha = \frac{f}{F} = \frac{H}{E}$$

Therefore, this angle does not depend on (acceleration).

Conclusion:

In order to cancel out the effect of R on the suspension system (rearing), it is simply a matter of orienting the suspension arms so that their articulation

lui soient parallèles.

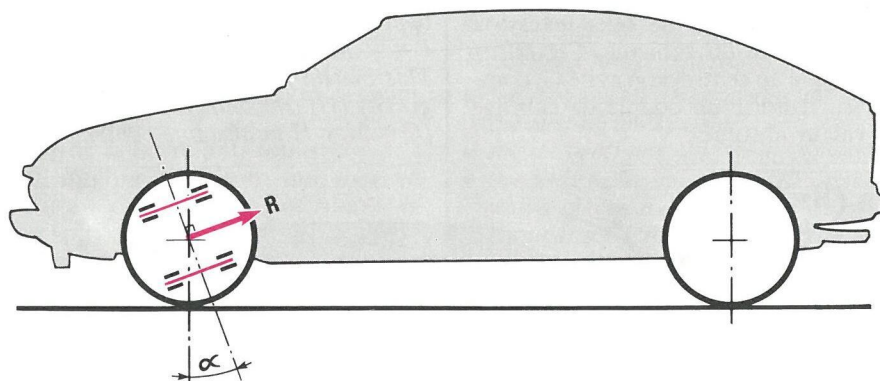
C'est ainsi que sont réalisés les essieux avant des véhicules GS et CX :

- sur GSA $\alpha = 12^\circ$
- sur CX $\alpha = 10^\circ$

axes are parallel to it.

This is how the front axles of the GS and CX cars are designed:

- on GSA $\alpha = 12^\circ$
- on CX $\alpha = 10^\circ$



ACCORD D'UNE SUSPENSION

Notion d'accord

Pour éviter le "galop" du véhicule (définition page 5), il est indispensable que la fréquence propre de l'essieu arrière soit supérieure à celle de l'essieu avant, quelle que soit la charge.

Cas d'une suspension mécanique

Il est techniquement possible de réaliser un système correcteur de hauteur sur ce type de suspension, notamment à l'arrière soumis à de fortes variations de charge donc de hauteur. Indépendamment du fait qu'il est lourd, encombrant et onéreux, un tel dispositif engendre un défaut de suspension.

En effet :

Le choix d'une correction de hauteur implique la recherche d'une suspension de bon confort : fréquence ≈ 1 Hz à vide.

La charge croissant, la fréquence diminuera et deviendra inférieure à 1 Hz. Elle sera alors inférieure à celle de l'essieu avant, d'où "galop" :

$$\text{Pour mémoire : } N = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{K}{M}}$$

N = fréquence

K = raideur

M = masse

Pour pallier ce défaut, il est donc indispensable de suramortir l'arrière, donc de créer un élément d'inconfort.

Quelle solution ? L'Hydropneumatique.

Cas de la suspension hydropneumatique

Ce type de suspension autorise un système correcteur de hauteur, d'encombrement et de poids minimum. De plus, ses caractéristiques font que le défaut (galop) dû à la variation de charge sur l'essieu arrière est supprimé.

La variation de fréquence subsiste, mais dans le sens inverse.

En effet :

Sur une telle suspension, la raideur est

$$K = 1,4 \frac{F^2}{P_0 V_0}$$

SUSPENSION TUNING

Tuning Concept

To avoid any "pitching" of the vehicle (see definition page 5), it is necessary that the rear axle own frequency be higher than the front axle frequency, whatever the load.

Case of a Mechanical Suspension

It is technically possible to make a height correcting system on this type of suspension, in particular at the rear, which undergoes high load changes, and therefore height changes. Apart from being heavy, cumbersome and expensive, such a device generates defective suspension.

In fact :

Height correction selection involves finding a suspension with good comfort - frequency ≈ 1 Hz empty.

As the load increases, frequency shall decrease and become less than 1 Hz. It shall then be lower than the front axle frequency, which will result in a "pitch":

$$\text{As a reminder: } N = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{K}{M}}$$

N = frequency

K = stiffness

M = mass

To correct this defect, it is therefore necessary to overdamp the rear, thus to produce a factor of discomfort.

What solution then? Hydropneumatic suspension.

Case of the Hydropneumatic Suspension

This type of suspension allows for a height correction system of minimum size and weight. In addition, owing to its features the defect (pitch) resulting from load changes on the rear axle is suppressed.

Frequency variation remains, however in the opposite direction.

In fact:

$$\text{On such a suspension, stiffness is } K = 1,4 \frac{F^2}{P_0 V_0}$$

$1,4$ = coefficient inhérent au gaz azote

F = charge suspendue

P_o = pression de gonflage de la sphère

V_o = volume occupé par le gaz à la pression P_o .

Contrairement à la suspension mécanique où K est constante, ici la raideur croît avec le carré de la charge.

Donc lorsque l'on charge, la raideur et par voie de conséquence la fréquence augmentent, cette dernière augmentant avec la racine carrée de la charge.

Le déséquilibre constaté sur suspension mécanique n'apparaît pas, au contraire il y a réajustement. Sur CX ou GSA on a le même comportement du véhicule quelle que soit la charge.

Remarque :

Ce comportement neutre vis-à-vis de la charge des véhicules à suspension hydropneumatique est dû à un second phénomène :

- Il a été démontré que l'amortissement était lié à la charge et à la fréquence.
- Sachant que, d'après une loi propre à la suspension hydropneumatique, la raideur, donc la fréquence varie dans le sens de la charge, il y a donc à faible charge un excès d'amortissement.
- Mais il y a aussi, à faible charge, une très basse fréquence. Or ceci compensant cela, la suspension est plus amortie mais aussi plus souple. Ce qui fait qu'il y a équilibre entre les 2 situations et l'expérience montre qu'à vide ou en charge, à l'arrière d'une CX ou GSA, le confort est sensiblement le même.

AVANTAGES DE LA SUSPENSION HYDROPNEUMATIQUE :

Elle permet :

- une meilleure suspension à vide, la raideur de suspension variant avec la charge,
- d'obtenir une suspension à grande flexibilité pour un encombrement réduit,
- d'intégrer aux blocs de suspension des amortisseurs légers et d'une fiabilité absolue,
- de faire travailler les essieux dans les meilleures conditions par rapport aux butées de débattement,
- de conserver une garde au sol constante quelle que soit la charge (avantage permettant d'abaisser le centre de gravité du véhicule),
- de faire varier la hauteur du véhicule pour le franchissement de passages difficiles,
- de limiter les efforts de l'homme lors des changements de roue,
- d'obtenir un entretien de l'ensemble aussi réduit que possible.

Tous ces avantages confèrent aux véhicules GSA ou CX le meilleur confort et une excellente tenue de route.

$1,4$ = coefficient inherent in nitrogen

F = suspended load

P_o = pressure in the sphere

V_o = volume taken by the gas at pressure P_o .

Contrary to the mechanical suspension where K is constant, here the stiffness increases with the square of the load.

So, when load increases, stiffness and, as a result, frequency increase, the latter increasing with the square root of the load.

The imbalance found on a mechanical suspension does not exist, on the contrary, there is an adjustment. Whether a CX or a GSA, the behaviour of the vehicle is similar, whatever the load.

Remark :

Such neutral behaviour of the vehicles with hydropneumatic suspension towards load results from a second phenomenon:

- It has been shown that damping was related to load and frequency.
- Knowing that, according to a law that is peculiar to the hydropneumatic suspension, stiffness, and therefore frequency vary in the direction of load, there is excess damping at low load.
- However, there is also very low frequency at low load. But as the one compensates for the other, the suspension is more damped, and also more relaxed. This results in a balance between both conditions, and experience shows that comfort is nearly the same at the rear of a CX or a GSA, whether empty or laden.

ADVANTAGES OF HYDROPNEUMATIC SUSPENSION:

It enables:

- better empty-vehicle suspension, since the stiffness of the suspension system varies with the load
- the achievement of a highly flexible suspension system with compact design
- integration of light-weight, totally reliable shock absorbers into the suspension units
- working of the axles under the best possible conditions in relation to the bump and rebound buffers
- holding of a constant ground clearance, regardless of the load (advantage making it possible to lower the centre of gravity of the vehicle)
- variation in the vehicle height in order to easily negotiate difficult road conditions
- limiting of the efforts required of the driver when tyres need to be changed
- as little maintenance of the entire assembly as possible.

All these advantages give the GSA and CX vehicles the highest possible degree of comfort and excellent road-handling ability.

DEFINITIONS DES ESSIEUX

- VEHICULE GSA

- Train avant

Flexibilité mesurée à l'essieu AV :

- (1 personne 70 kg) = 102 mm/100 kg

Flexibilité mesurée à l'essieu AV :

- (pleine charge) = 78 mm/100 kg

Fréquence 0,64 Hertz à vide

Fréquence 0,71 Hertz pleine charge

Pincement (position normale route) : 0 à 2 mm

Carrossage : $0^{\circ} \pm 1^{\circ}$

Chasse : $1^{\circ} 15' + 1^{\circ} 25'$
 $- 1^{\circ} 15'$

Tarage sphère avant : 55 bars + 5
 $- 10$

Diamètre du cylindre de suspension : 35 mm

Course du piston : 70 mm

Diamètre de la barre anti-roulis : 21,5 mm

DESCRIPTION OF THE AXLES

- GSA VEHICLE

- Front axle.

Spring rate of front suspension:

- (1 person weighing 154.32 lbs) = 10.4 lbs/in.

Spring rate of front suspension:

- (fully laden) = 7.92 lbs/in.

Frequency: 0.64 Hertz empty.

Frequency: 0.71 Hertz fully laden.

Toe-in (normal driving position): 0 to 0.07874 in.

Camber: $0^{\circ} \pm 1^{\circ}$

Rake : $1^{\circ} 15' + 1^{\circ} 25'$
 $- 1^{\circ} 15'$

Front sphere pressure: 55 bars + 5
 $- 10$

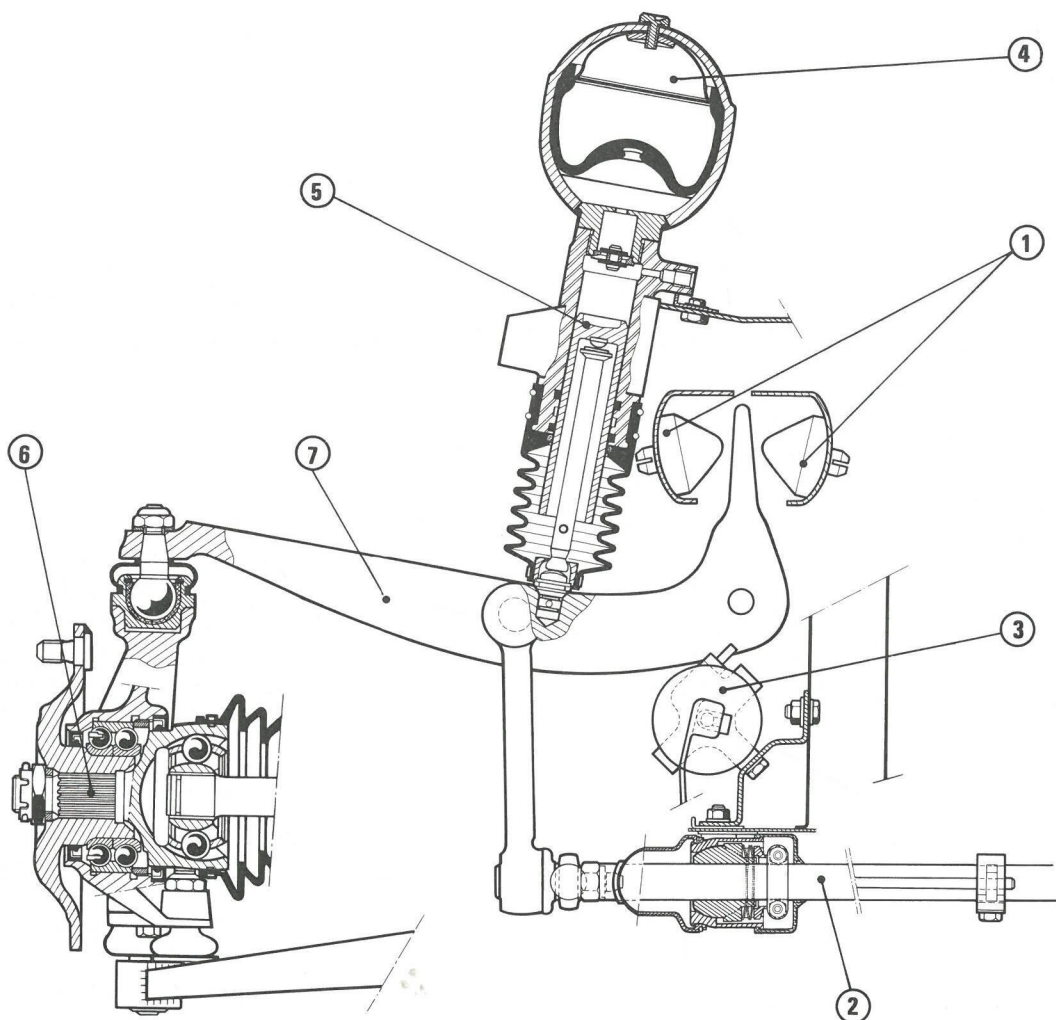
Suspension cylinder diameter: 1.378 in.

Piston stroke: 2.755 in.

Anti-roll bar diameter: 0.846 in.

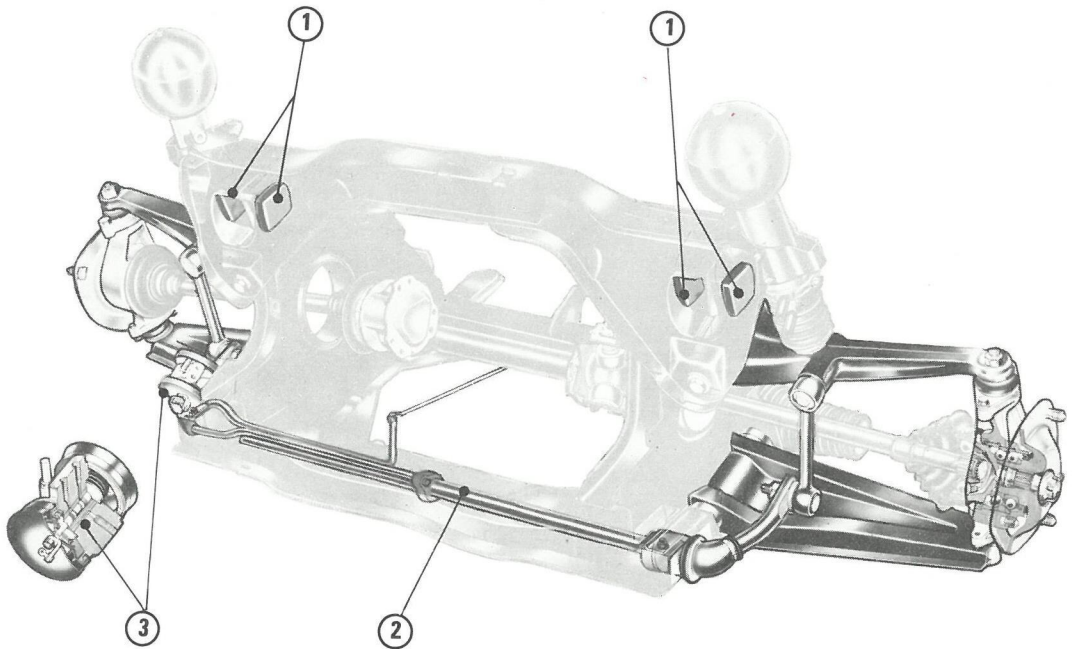
DEMI-ESSIEU

HALF-SHAFT



- 1 - Butées
- 2 - Barre anti-roulis - stabilisatrice
- 3 - Correcteur de hauteur
- 4 - Sphère de suspension
- 5 - Cylindre de suspension
- 6 - Fusée
- 7 - Levier de suspension

- 1 - Bump and Rebound Buffers
- 2 - Anti-roll bar
- 3 - Levelling valve
- 4 - Suspension sphere
- 5 - Suspension cylinder
- 6 - Driveshaft
- 7 - Suspension arm



- 1 - Butées
2 - Barre anti-roulis stabilisatrice
3 - Correcteur de hauteur

- 1 - Bump and Rebound Buffers
2 - Anti-roll bar
3 - Levelling valve

- Train arrière

Flexibilité mesurée à l'essieu AR

- (1 personne 70 kg) = 235 mm/100 kg

Flexibilité mesurée à l'essieu AR

- (pleine charge) = 62 mm/100 kg

Fréquence 0,6 Hertz à vide

Fréquence 0,84 Hertz pleine charge

Pincement (position normale route) : 0 à 5 mm

Carrossage : $0^\circ \pm 40^\circ$

Tarage sphère arrière : $35 \pm \frac{5}{10}$ bars

Diamètre du cylindre de suspension : 35 mm

Course de piston : 70 mm

Diamètre de la barre anti-roulis : 17 mm

- Rear axle

Spring rate of rear suspension

- (1 person weighing 155 lbs.) = 22 lbs/in.

Spring rate of rear suspension

- (fully laden) = 9 lbs/in.

Frequency: 0.6 Hertz empty

Frequency: 0.84 Hertz fully laden

Toe-in (normal driving position: 0-0.19 in.

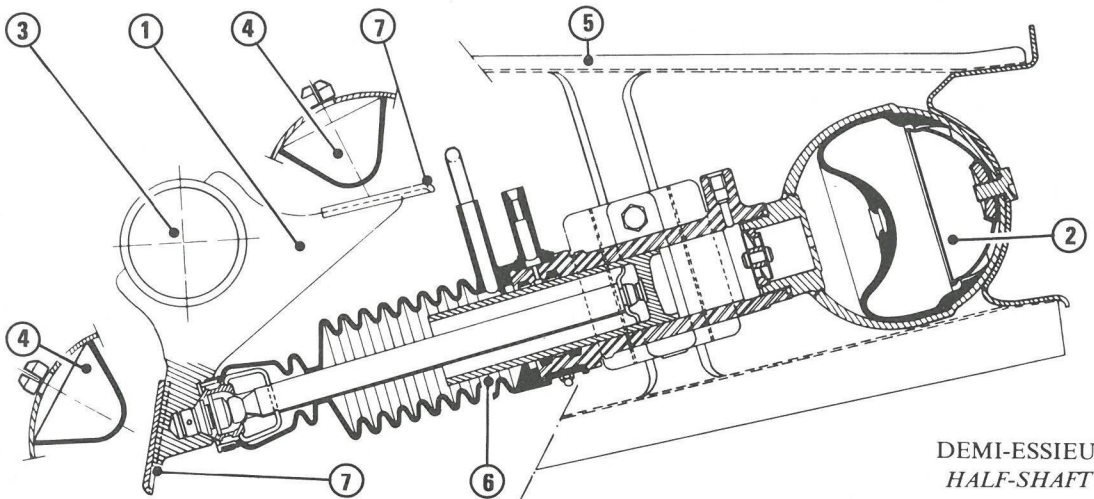
Camber: $0 \pm 40^\circ$

Rear sphere pressure: $35 \pm \frac{5}{10}$ bars

Suspension cylinder dia.: 1.377 in.

Piston stroke: 2.755 in.

Anti-roll bar dia.: 0.669 in.



DEMI-ESSIEU
HALF-SHAFT

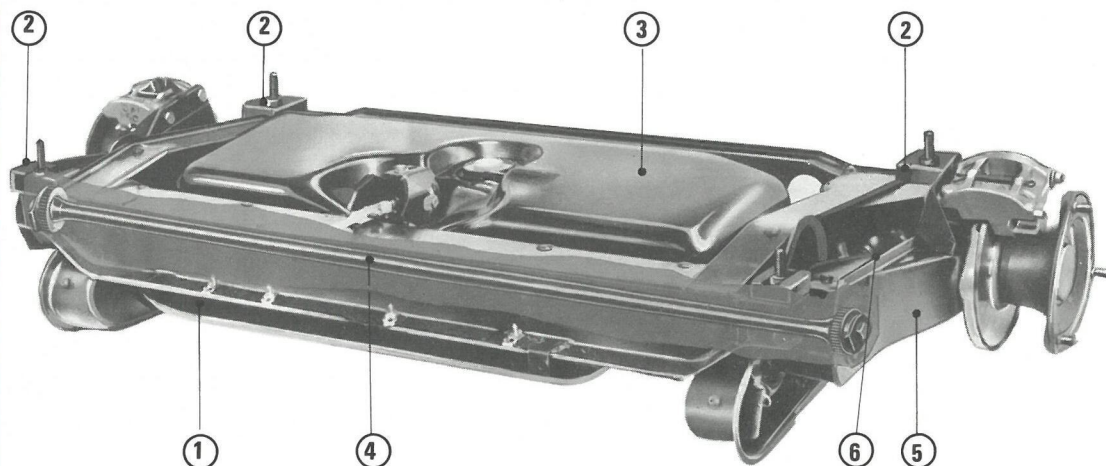
- 1 - Bras de suspension
2 - Sphère de suspension
3 - Barre anti-roulis
4 - Butées de débattements extrêmes
5 - Cadre arrière
6 - Cylindre de suspension
7 - Leviers de débattements

- 1 - Wheel-arm
2 - Suspension sphere
3 - Anti-roll bar
4 - Bump and rebound Buffers.

- 5 - Rear sub-frame
6 - Suspension cylinder
7 - Bump and rebound stops

CADRE ARRIERE

REAR SUB-FRAME



- 1 - Cadre
- 2 - Liaisons élastiques
- 3 - Réservoir
- 4 - Barre anti-roulis
- 5 - Bras de suspension
- 6 - Cylindre de suspension

- 1 - Subframe
- 2 - Flexible mountings
- 3 - Fuel tank
- 4 - Anti-roll bar
- 5 - Wheel-arm
- 6 - Suspension cylinder

VEHICULE CX

CX VEHICLE

- Train avant

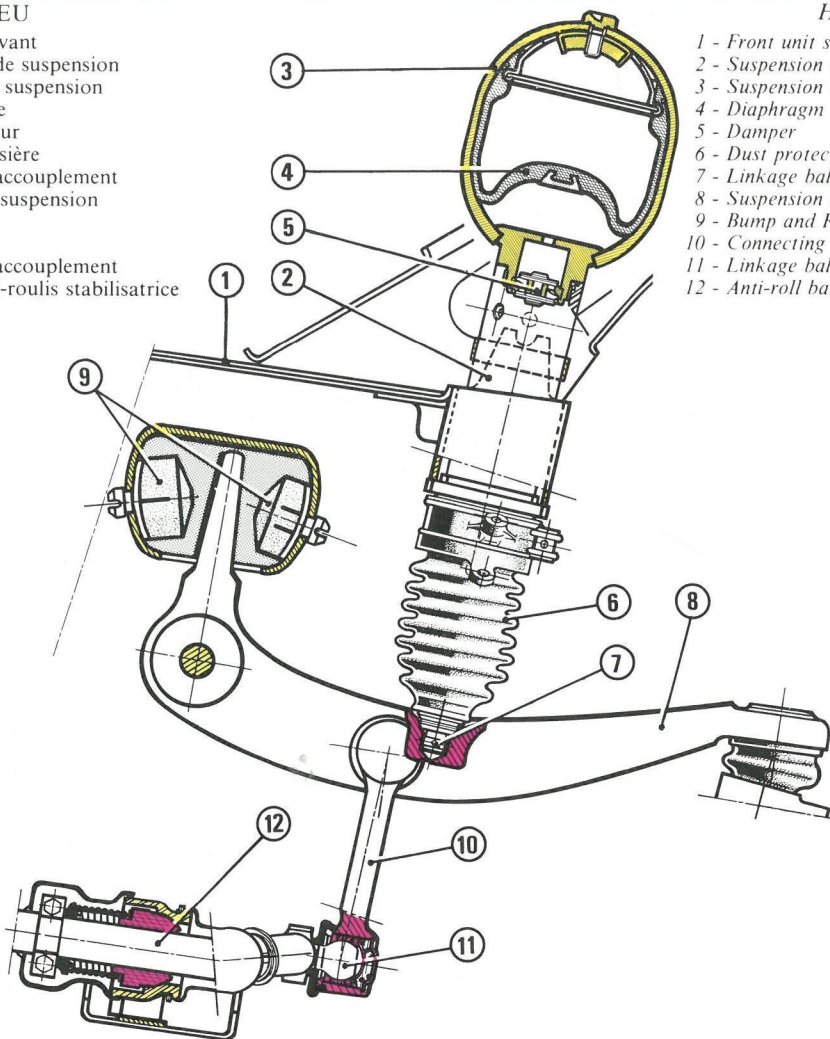
- Front axle

DEMI-ESSIEU

HALF-SHAFT

- 1 - Berceau avant
- 2 - Cylindre de suspension
- 3 - Sphère de suspension
- 4 - Membrane
- 5 - Amortisseur
- 6 - Pare-poussière
- 7 - Rotule d'accouplement
- 8 - Levier de suspension
- 9 - Butées
- 10 - Bielle
- 11 - Rotule d'accouplement
- 12 - Barre anti-roulis stabilisatrice

- 1 - Front unit structure
- 2 - Suspension cylinder
- 3 - Suspension sphere
- 4 - Diaphragm
- 5 - Damper
- 6 - Dust protector
- 7 - Linkage ball joint
- 8 - Suspension lever
- 9 - Bump and Rebound Buffers
- 10 - Connecting link
- 11 - Linkage ball joint
- 12 - Anti-roll bar

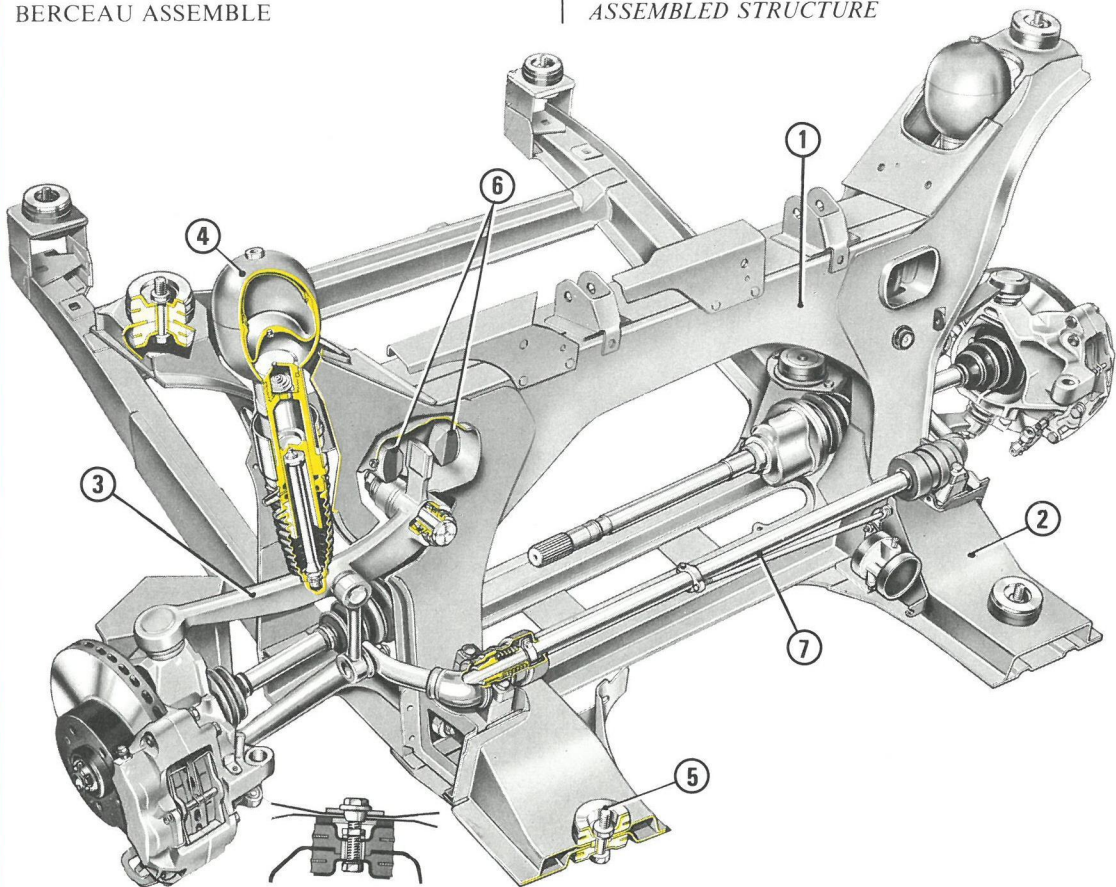


- Fréquence à vide : 0,595 Hz
En charge : 0,64 Hz
- Flexibilité à l'essieu AV :
- 90,5 mm/100 kg à vide
- 67,5 mm/100 kg pleine charge
- Tarage des blocs pneumatiques :
75 bars (azote)
- Volume d'un bloc pneumatique :
500 cm³

- *Frequency: 0.595 Hertz empty
Frequency: 0.64 Hertz fully laden*
- *Spring rate of front suspension:
- 9.2425 lbs/in. empty
- 6.8936 lbs/in. fully laden*
- *Calibration of the pneumatic units:
75 bars (nitrogen)*
- *Volume of a pneumatic unit:
30.5 cubic in.*

BERCEAU ASSEMBLE

ASSEMBLED STRUCTURE



- 1 - Berceau avant
- 2 - Cadre
- 3 - Levier de suspension
- 4 - Cylindre de suspension
- 5 - Silentbloks
- 6 - Butées
- 7 - Barre anti-roulis

- 1 - Front unit structure
- 2 - Sub-frame
- 3 - Suspension lever
- 4 - Suspension cylinder
- 5 - Silent-blocks
- 6 - Buffers
- 7 - Anti-roll bar

Train arrière

- Bras de suspension longitudinaux en alliage léger. Chaque bras est relié à un bloc pneumatique comprenant membrane et amortisseur, par biellette piston/cylindre et liquide.
- La barre anti-roulis Ø 17,5 est fixée sur les bras.
- Fréquence à vide : 0,52 Hertz
en charge : 0,76 Hertz
- Flexibilité à l'essieu :
- 295 mm/100 kg à vide
- 65 mm/100 kg pleine charge
- Tarage des blocs pneumatiques :
40 bars (azote) 35 (Break)
- Volume d'un bloc pneumatique :
500 cm³ (Berline) 700 cm³ (Break)

Berline

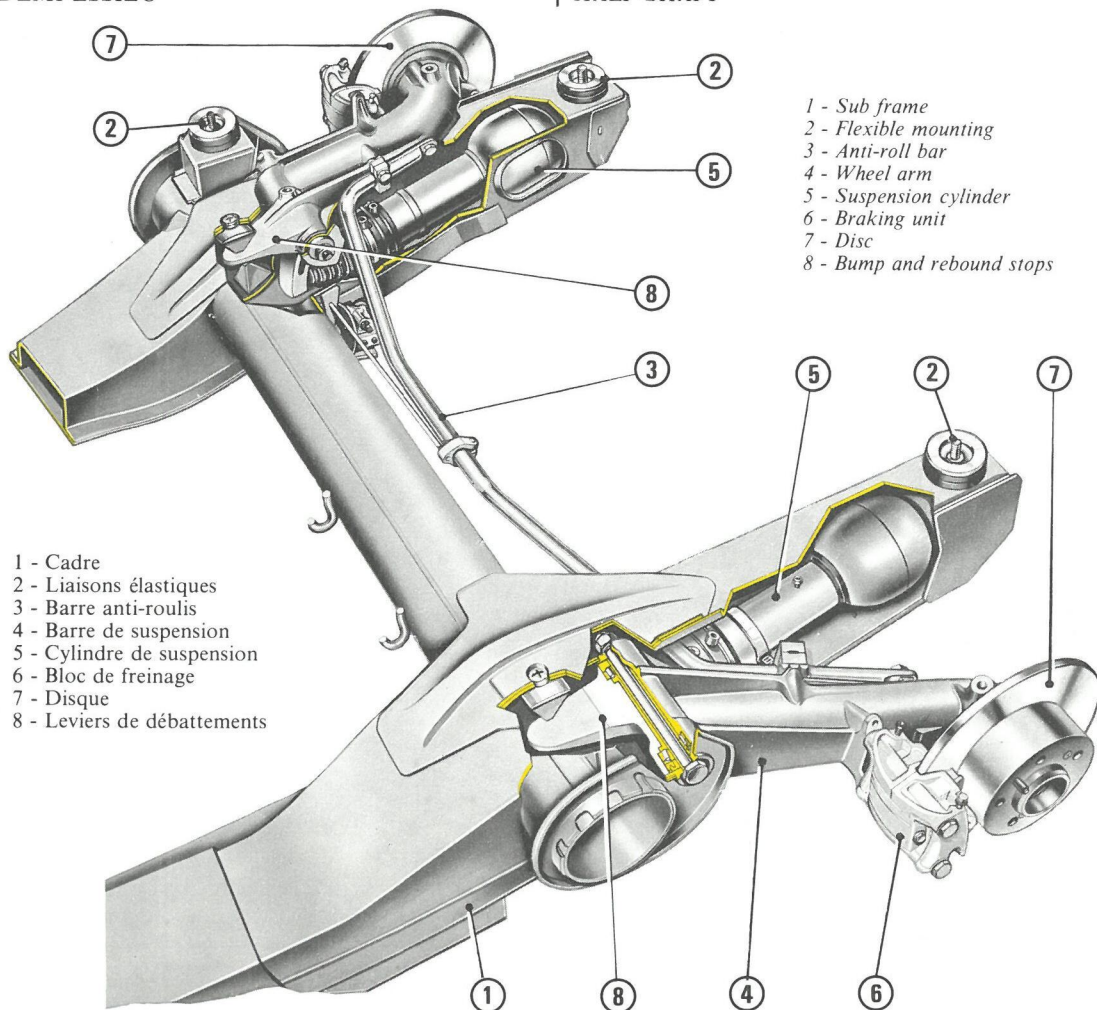
Rear axle

- *Longitudinal suspension arms of light alloy. Each arm is connected to a pneumatic unit including a diaphragm and a shock absorber, via a piston/cylinder and liquid connecting link.*
- *The 0.69" diameter anti-roll bar is attached to the arm.*
- *Frequency: 0.52 Hertz empty.
Frequency: 0.76 Hertz fully laden*
- *Spring rate of the suspension
- 30.128 lbs/in. empty
- 6.638 lbs/in. fully laden*
- *Calibration of the pneumatic units:
40 bars (nitrogen), 35 bars (station wagon)*
- *Volume of a pneumatic unit
30.51 cubic in. (Sedan), 42.71 cubic in. (Station wagon).*

Sedan

DEMI-ESSIEU

HALF-SHAFT

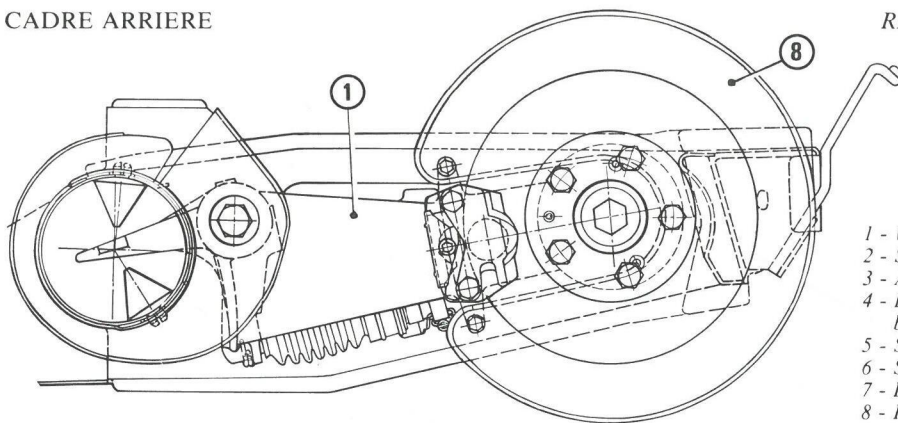


- 1 - Cadre
- 2 - Liaisons élastiques
- 3 - Barre anti-roulis
- 4 - Barre de suspension
- 5 - Cylindre de suspension
- 6 - Bloc de freinage
- 7 - Disque
- 8 - Leviers de débattements

- 1 - Sub frame
- 2 - Flexible mounting
- 3 - Anti-roll bar
- 4 - Wheel arm
- 5 - Suspension cylinder
- 6 - Braking unit
- 7 - Disc
- 8 - Bump and rebound stops

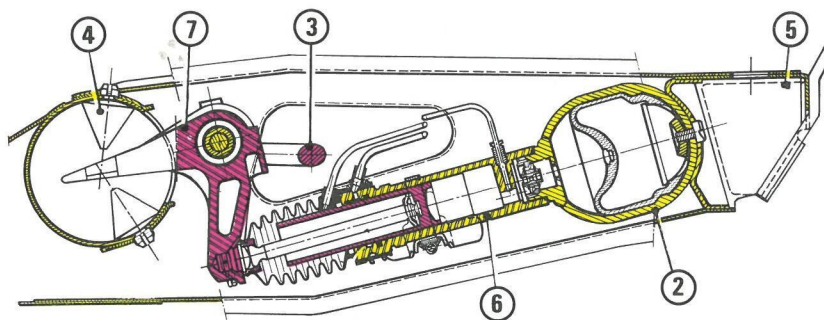
CADRE ARRIERE

REAR SUB-FRAME



- 1 - Wheel arm
- 2 - Suspension sphere
- 3 - Anti-roll bar
- 4 - Bump and rebound buffers
- 5 - Sub frame
- 6 - Suspension cylinder
- 7 - Bump and rebound stop
- 8 - Protector flange

- 1 - Bras de suspension
- 2 - Sphère de suspension
- 3 - Barre anti-roulis
- 4 - Butées de débattements extrêmes
- 5 - Cadre
- 6 - Cylindre de suspension
- 7 - Levier de débattement
- 8 - Flasque de protection



NOTES
NOTES

NOTES
NOTES



Dessins : André François
Relations Publiques Citroën - 133, quai André Citroën - 75747 PARIS Cédex 15
R.C. Paris B 642 050 199 - N° d'Entreprise Siret 642050 199 00016
Edition : Mai 1981