

Leçon 11

La suspension hydropneumatique Citroën

Quelles sont les principales qualités demandées à une suspension d'automobile ?

Nous avons défini, dans les leçons précédentes, qu'il est souhaitable d'avoir une suspension dont la **raideur** varie avec la charge, **faible à vide** et **plus élevée en charge**, afin d'offrir un maximum de confort aux passagers et d'éviter les affaissements trop importants de la caisse en charge.

Cette disposition peut être réalisée :

- par l'utilisation de **deux ressorts différents**, positionnés d'une manière particulière (ressort compensateur),
- par le montage de **masses de gaz** (blocs pneumatiques) (fig. 11.1).

Pourquoi les ressorts à gaz offrent-ils une raideur variable ?

Les évolutions des masses de gaz sont définies notamment par la **loi de Mariotte** ($P.V = Cte$).

Ce qui signifie que, à température constante :

- plus le volume du gaz est réduit, plus sa pression augmente (fig. 11.1);
- pour des augmentations de pression constante la **déflexion produite n'est pas constante**.

Comparons un **ressort hélicoïdal** à pas constant (voir fig. 11.4) de **diamètre donné** à un **cylindre de même diamètre rempli de gaz** (fig. 11.2).

Si nous appliquons des charges progressives à chacun d'eux, nous constatons les effets suivants :

Pour le ressort (fig. 11.3).

La variation de la hauteur (x) est proportionnelle à la charge appliquée (f) :

$$1 f = 1 x ; 2 f = 2 x.$$

Le rapport $\frac{f}{x}$ est constant : la raideur est constante.

Pour le cylindre rempli de gaz.

La **variation de volume est proportionnelle à la charge appliquée**, la **pression du gaz varie en fonction du volume**.

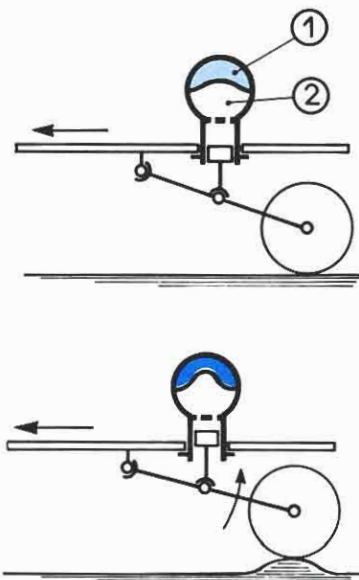


Fig. 11.1. Principe de la suspension hydropneumatique.

① gaz (azote); ② fluide hydraulique (liquide).
a) sur le sol plat;
b) franchissement d'un obstacle. Le volume du gaz diminue, sa pression augmente ainsi que celle du liquide.

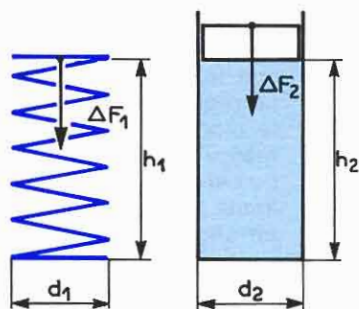


Fig. 11.2. Comparaison d'un ressort et d'une masse de gaz tels que : $d_1 = d_2$; $\Delta F_1 = \Delta F_2$; $h_1 = h_2$.

Pour une section donnée $P = \frac{F}{S}$.

Pour une section constante (S), la variation de volume (V) est proportionnelle à la variation (x) de la hauteur (H)
 $V = S \cdot x$; nous pouvons remplacer, dans le diagramme, H par V.

Appliquons la loi de Mariotte ($P \cdot V = Cte$) avec un exemple de constante de 6 pour construire le diagramme (fig. 11.4).

On obtient :

- Pour $P = 1$ bar, $V = 6$ cm³ (Cte $1 \times 6 = 6$).
- Pour $P = 2$ bars, $V = 3$ cm³ (Cte $2 \times 3 = 6$).
- Pour $P = 3$ bars, $V = 2$ cm³ (Cte $3 \times 2 = 6$).
- Pour $P = 4$ bars, $V = 1,5$ cm³ (Cte $4 \times 1,5 = 6$).
- Pour $P = 5$ bars, $V = 1,2$ cm³ (Cte $5 \times 1,2 = 6$).
- Pour $P = 6$ bars, $V = 1$ cm³ (Cte $6 \times 1 = 6$).

Nous constatons que pour des écarts de pression égaux, les écarts de volume sont inégaux (V étant proportionnel à « H » et P à F).

Nous pouvons en déduire que pour des écarts de charge constants (f), la déflexion (x) n'est pas constante.

La raideur $K : \frac{f}{x}$ n'est donc pas constante,
 ce qui permet :

- plus de souplesse à vide (grand débattement),
- plus de raideur en charge,
- un abaissement de la hauteur de caisse (assiette) non proportionnelle à la charge.

Quel est le principe de la suspension hydropneumatique Citroën ?

- L'élément élastique est un gaz (azote).
- La garde au sol est réglable.
- La garde au sol choisie est maintenue constante quelle que soit la charge.

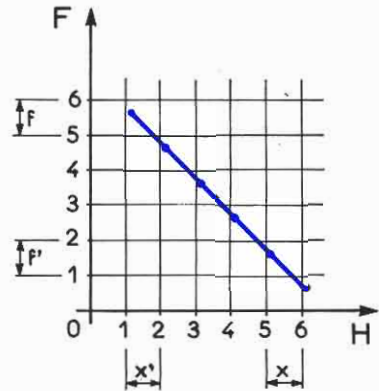
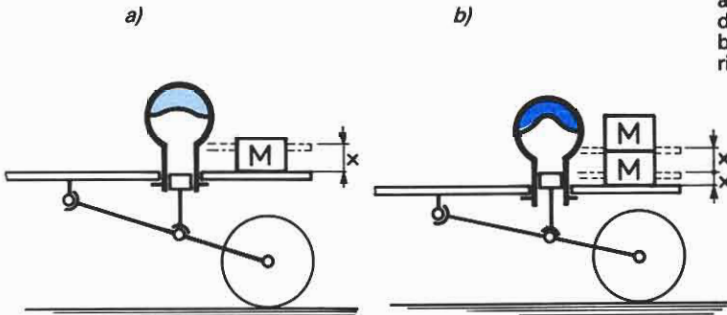


Fig. 11.3. Ressort. $x = x'$: déflexion constante.

$$\frac{f}{x} = \frac{f'}{x'} = \text{raideur constante.}$$

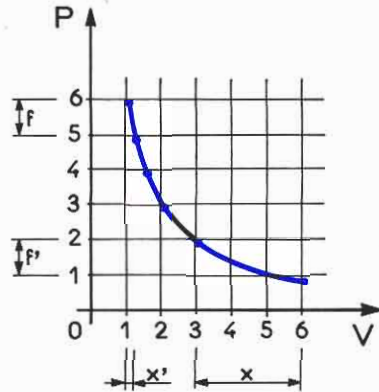


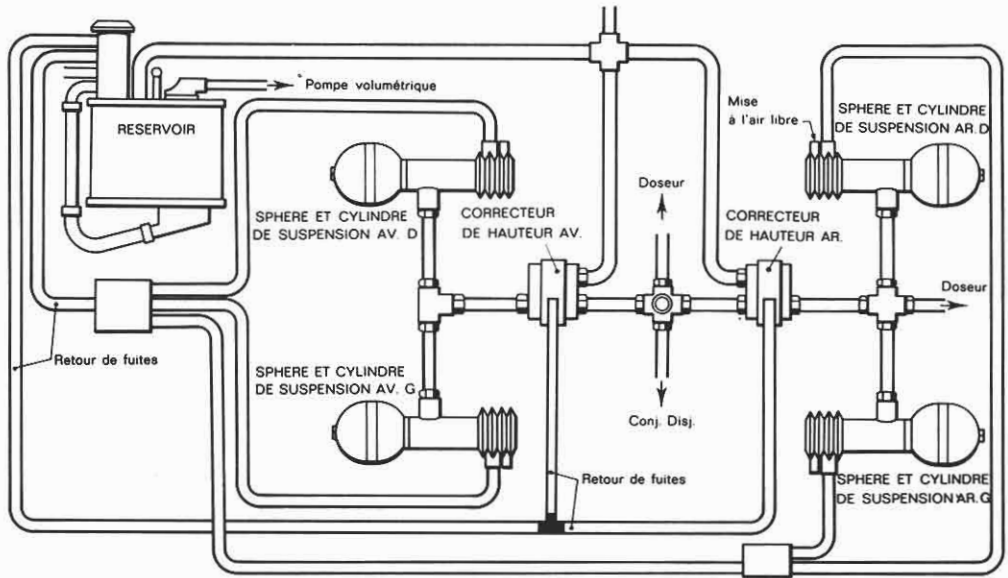
Fig. 11.4. Masse de gaz : $x \neq x'$, déflexion variable. $\frac{f}{x} \neq \frac{f'}{x'}$ = raideur variable

Fig. 11.5. Comportement d'une suspension
 a) à faible charge, raideur faible, déflexion importante ;
 b) à forte charge, raideur supérieure, déflexion plus faible.

Quels sont les éléments constitutifs d'une suspension hydro-pneumatique Citroën ?

Le dispositif comprend principalement :

- une réserve de liquide sous pression,
- quatre cylindres de suspension munis de quatre blocs hydro-pneumatiques,
- un levier de commande manuelle de hauteur de caisse,
- deux correcteurs de hauteur.



Quelles sont les différentes fonctions à remplir et comment sont-elles réalisées ?

Fig. 11.6. Circuit de suspension. (Document Citroën.)

Fonction suspension.

Un cylindre de suspension muni de sa sphère est interposé entre chaque bras de suspension et la caisse (fig. 11.7).

Le gaz est comprimé dans les sphères.

La pression initiale des sphères (pression de tarage) est déterminée en fonction de la charge à supporter (par essieu).

En général la pression est plus élevée à l'avant qu'à l'arrière (moteur et transmission avant).

Le cylindre comporte un orifice de communication avec le circuit haute pression (A).

Une canalisation de retour au réservoir est ménagée dans sa partie inférieure, dans le but de récupérer les fuites de liquide nécessaires à la lubrification du piston et du cylindre (B).

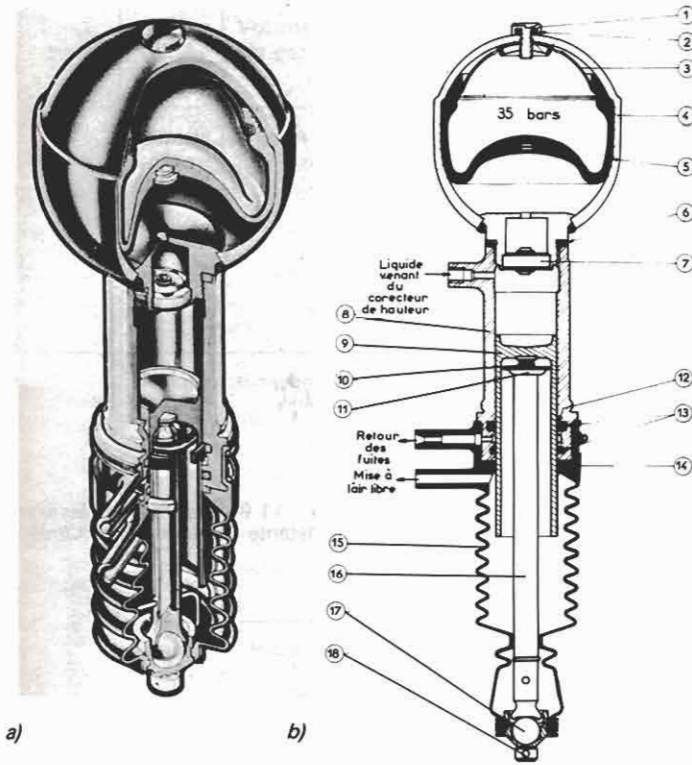


Fig. 11.7. (Document Citroën.)

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 ⑫ : Joint téflon ; ⑬ Joints toriques ; ⑭ Joint feutré ; ⑮ Pare-poussière ; ⑯ Tige de suspension ; ⑰ Bille ; ⑱ Logement de bille.

Fonction amortissement (fig. 11.8).

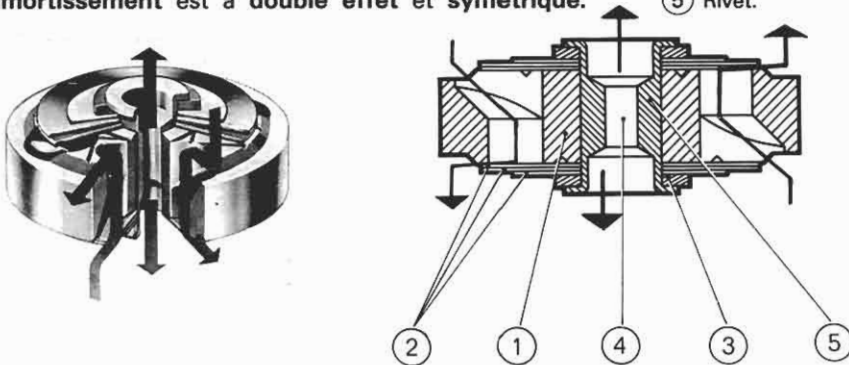
Elle est réalisée par une pièce d'acier, percée sur sa périphérie de trous calibrés. Ses deux faces sont partiellement fermées par des clapets tarés. Au centre, un rivet maintient l'ensemble. Il est percé d'un trou de fuite calibré.

L'amortisseur est **serti sur la sphère** de suspension. L'amortissement s'effectue par **laminage de l'huile** au travers des trous calibrés plus ou moins obturés. Pour les faibles débattements caisse/roue, le trou central permet le passage du liquide dans les deux sens pratiquement sans freinage.

L'amortissement est à **double effet et symétrique**.

Fig. 11.8. Amortisseur. (Document Citroën.)

① Corps ; ② Clapets ; ③ Entretoise ; ④ Trou de fuite ; ⑤ Rivet.



Hauteur caisse-sol constante.

Les deux cylindres d'un même essieu sont en communication avec un **correcteur de hauteur**, qui permet, suivant la charge, d'**augmenter** ou de **diminuer le volume du liquide interposé** entre la tête du piston et la membrane.

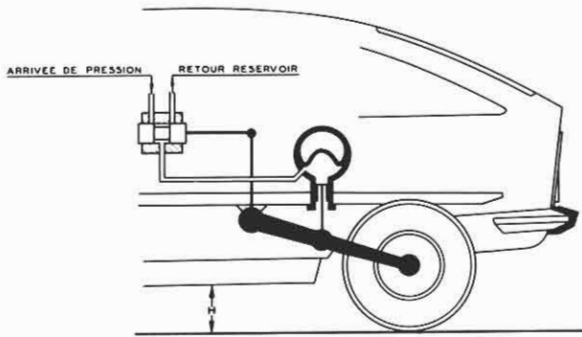


Fig. 11.9. Hauteur caisse/sol constante (H). (Document Citroën.)

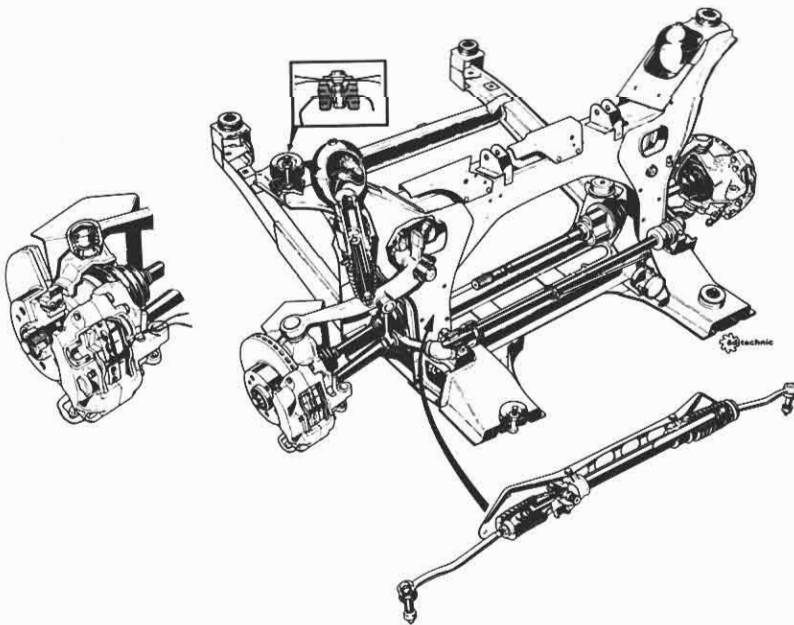
La commande du correcteur de hauteur est réalisée :

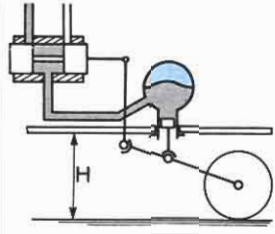
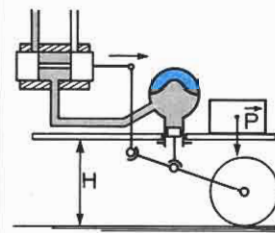
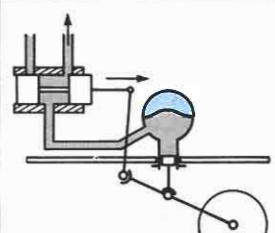
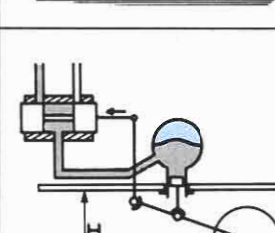
- **automatiquement**, par les variations de hauteur de caisse, grâce à sa liaison avec la barre anti-roulis,
- **manuellement**, par un levier mécanique placé dans l'habitacle.

Ce dernier peut être utilisé par le conducteur :

- pour le franchissement d'obstacles,
- pour le remplacement d'une roue sans effort.

Fig. 11.10. Train avant à suspension hydropneumatique (Doc. Citroën).



Condi-tions	Hauteur caisse-sol	Volume du gaz	Pression du gaz	Barre anti-roulis	Tiroir correc-teur	Volume du liquide	schémas
à vide	normale « H »	moyen	moyenne	immobile	position repos	moyen	
	chargement	diminue	diminue	aug-mente	pivote	admis-sion du liquide	aug-mente
normale « H »		faible	élevée (la caisse monte)	pivote en sens inverse	revient en position repos	élevé	
déchargement	aug-mente	aug-mente	diminue	pivote	Echap-pement (retour réservoir)	diminue	
	normale « H »	moyen	moyenne	pivote en sens inverse	revient en position repos	moyen	

Nota : Afin d'éviter l'action des correcteurs lors des débats rapides de suspension, le mouvement des tiroirs est freiné par un dispositif d'amortissement hydraulique. Les correcteurs n'entrent donc en action que lors des modifications de hauteur durables.

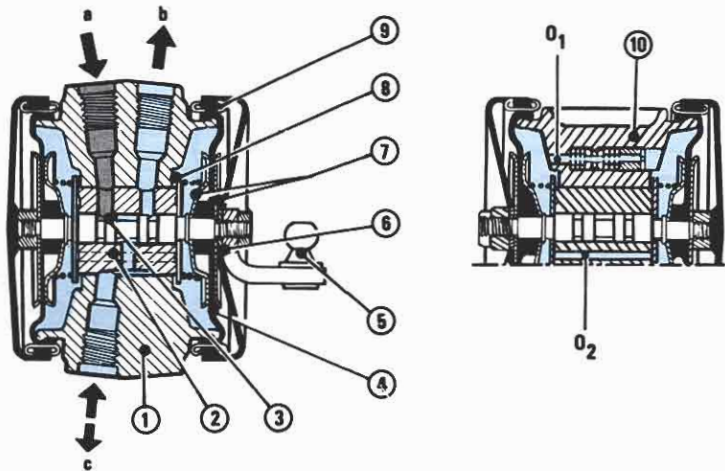


Fig. 11.11. Correcteur de hauteur (Document Citroën.)

Comment la réserve de liquide sous pression est-elle réalisée ?

La mise en réserve d'une certaine quantité de liquide sous pression est nécessaire au fonctionnement des différents circuits hydrauliques du véhicule qui sont :

- le circuit de suspension,
- le circuit de freinage (leçon 18),
- le circuit de direction assistée (leçon 12).

Le dispositif de réserve de pression comprend (fig. 11.12) :

- Une pompe volumétrique à commande mécanique actionnée par le moteur, qui aspire le liquide contenu dans le réservoir et le refoule dans un accumulateur.
- Un accumulateur, constitué d'une sphère contenant un gaz (azote), séparé du liquide par une membrane (principe de la sphère de suspension), qui peut contenir une certaine quantité de liquide sous pression.
- Un conjoncteur-disjoncteur solidaire de l'accumulateur, qui maintient dans ce dernier une pression sensiblement constante.
- Une vanne de répartition ou vanne de sécurité qui distribue le liquide vers les différents circuits avec priorité au freinage en cas de baisse de pression.

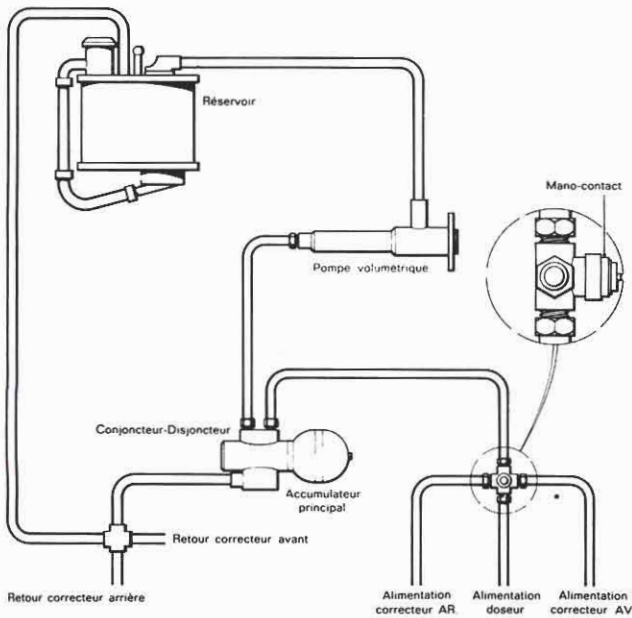
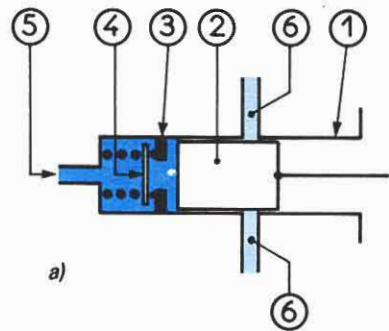
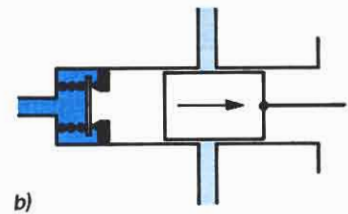


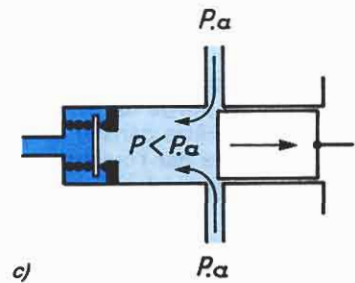
Fig. 11.12. Réserve de pression, éléments constitutifs. (Document Citroën)



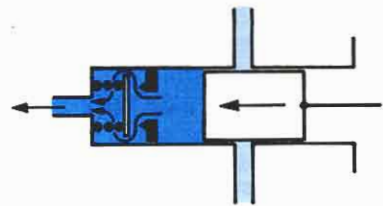
a)



b)



c)



d)

Quel est le principe de fonctionnement d'une pompe hydraulique à haute pression ?

Les pompes dites « haute pression » Citroën sont de deux types :

- monopiston pour véhicules sans direction assistée,
- à cinq pistons pour véhicules ayant un plus grand nombre d'asservissements (direction assistée).

Elles sont actionnées par le moteur.

Dans l'un et l'autre cas, un élément de pompage fonctionne, dans son principe, d'une manière identique.

Aspiration.

Le piston est au P.M.H. (fig. 11.13.a). Le clapet de refoulement est maintenu fermé par la différence de pression régnant de chaque côté de ses parois. Le piston recule. Le volume de la chambre augmente, la pression diminue (dépression) (fig. 11.13.b).

Dès que les orifices d'aspiration sont découverts, le liquide venant du réservoir pénètre dans la chambre par différence de pression (fig. 11.13.c).

Refoulement (fig. 11.13.d).

Le piston avance, obture les orifices d'aspiration, la pression s'équilibre avec celle du liquide se trouvant de l'autre côté du clapet, ce dernier s'entrouvre :

c'est le refoulement.

Fig. 11.13. Principe de fonctionnement d'un élément de pompe HP.

- ① Corps du cylindre ; ② Piston ; ③ Siège de clapet ; ④ Clapet de refoulement et anti-retour ; ⑤ Orifice de refoulement HP ; ⑥ Orifices d'aspiration.

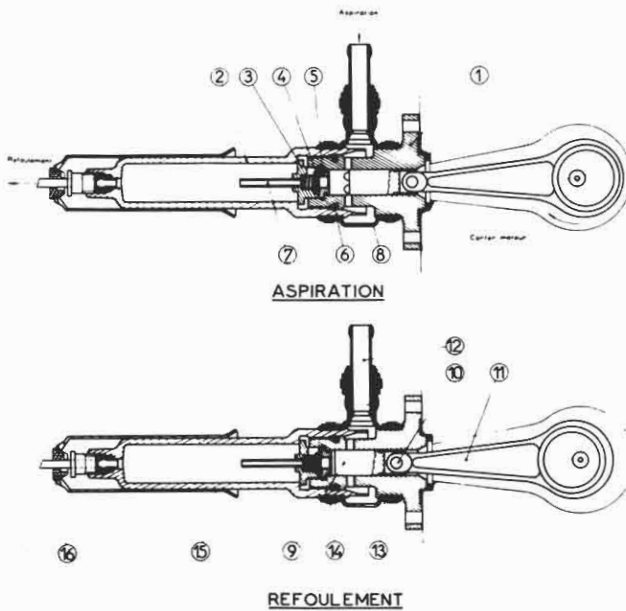


Fig. 11.14. Pompe monopiston (GSA). (Document Citroën).

- 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.

Comment l'accumulateur conjoncteur-disjoncteur fonctionne-t-il ?

Position purge (fig. 11.16).

La vis de purge (b) est ouverte. Le moteur en marche, le liquide pénètre dans le conjoncteur-disjoncteur, soulève la bille libérée par l'ouverture de la vis de purge et, après passage dans la chambre D retourne au réservoir.

Accumulation-disjonction (fig. 11.17).

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

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

Le tiroir pilote T_1 est soumis à l'action de deux forces opposées F_1 et $F(R_1)$ (fig. 11.18):

- F_1 , engendrée par la pression régnant dans la chambre B, agissant sur la surface S_1 ; $F_1 = P \times S_1$;
- $F(R_1)$ est due à l'action du ressort R_1 .

Le tiroir T_2 est également soumis à l'action de deux forces opposées F_2 et F_3 :

- F_2 , engendrée par la pression en B agissant sur S_2 ; $F_2 = P \times S_2$;
- F_3 , somme de deux forces;
- $F(R_2)$ due à l'action du ressort R_2 .
- F_2 , due à la pression de la chambre C (identique à celle de B) agissant sur la surface S_2 :

$$F_2 = P \times S_2 \text{ et } F_3 = F(R_2) + F'_2.$$

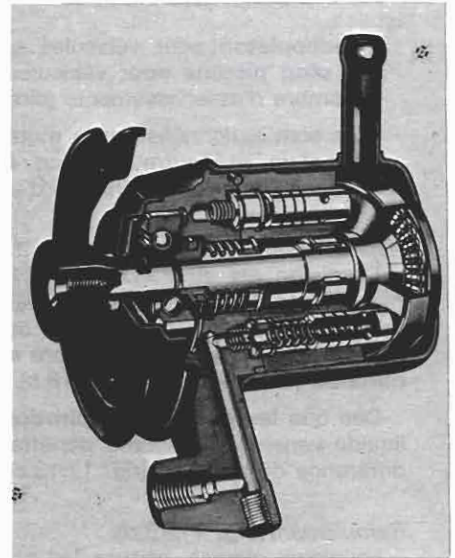


Fig. 11.15. Pompe à cinq pistons (CX). (Document Citroën).

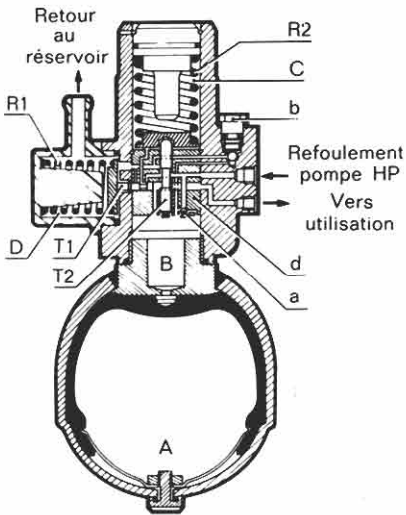


Fig. 11.16. Position purge. (Document Citroën.)

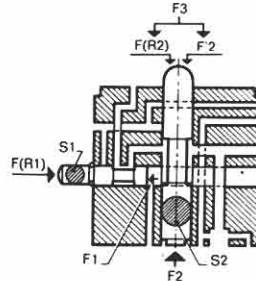


Fig. 11.17. (Document Citroën.)

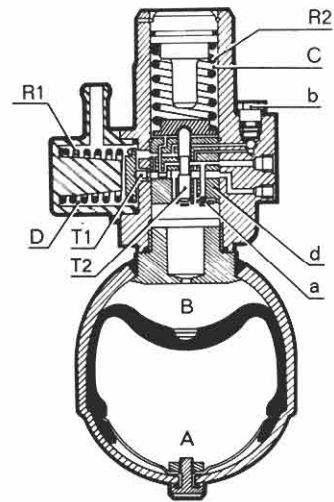


Fig. 11.18. Accumulation-disjonction. (Document Citroën.)

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 (fig. 11.19).

Le **clapet anti-retour (a)** se ferme. La pompe débite sans pression vers le réservoir (pression en $B = 175$ bars).

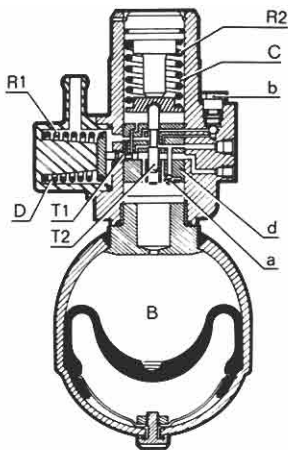


Fig. 11.19. Disjonction. (Document Citroën.)

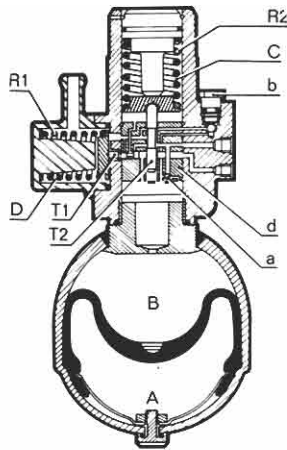


Fig. 11.20. Conjonction. (Document Citroën.)

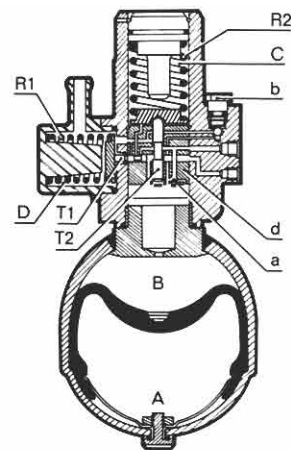


Fig. 11.21. Conjonction. (Document Citroën.)

Conjonction.

Après une faible consommation de liquide dans les circuits d'utilisation (mouvements de suspension par exemple), la **pression en B chute** et provoque le retour à sa **position initiale du tiroir pilote T₁** (fig. 11.20). $F(R_1)$ supérieure à F_1 .

Les **chambres C et D** sont alors **en liaison** ainsi que **l'alimentation de la pompe** (pression atmosphérique). La **consommation augmente**, la pression en **B** continue de **chuter**. Dès que $F_2 < F(R_2)$, le **tiroir T₂ revient** à sa position initiale. En se refermant, T₂ isole le circuit de la pompe de la chambre D. La **pression monte** alors brusquement en **C** grâce à la liaison avec la pompe et **pousse brutalement T₂** (fig. 11.21).

- $F_2 < F(R_2) + PS_2$.
- $F_2 < F_3$.

Il y a **conjonction** (pression de conjonction 140 bars).

Le **clapet anti-retour s'ouvre**.

La **pression monte** à nouveau dans les **chambres A.B.C.**, jusqu'à ce qu'elle atteigne la pression de disjonction.