

LE FREINAGE

-1- GENERALITES

-1.1- Par quels phénomènes l'arrêt du véhicule est-il possible ?

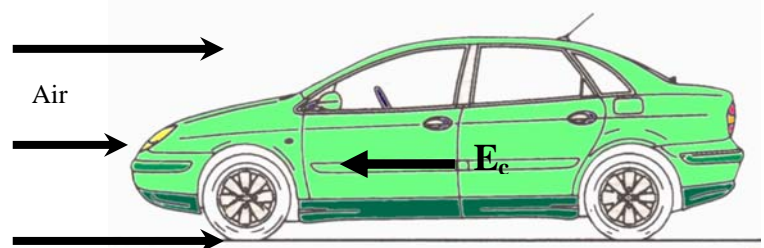
Un véhicule en mouvement possède une énergie cinétique :

$$E_c = \frac{1}{2} M v^2$$

E_c : Energie cinétique (Joule)

M : Masse du véhicule (kg)

V : Vitesse du véhicule (m/s)



Cette énergie est proportionnelle :

A la masse du véhicule
Au carré de la vitesse

Exemple :

Soit une CITROËN C5 HDI de masse $M = 1485$ kg roulant à 50 km/h soit 13.9 m/s a une énergie cinétique de :

$$E_c = \frac{1}{2} M v^2 = \frac{1485 * 13.9 * 13.9}{2} = 143\,458 \text{ Joules}$$

Pour le même véhicule roulant à 100 km/h soit 27.8 m/s :

$$E_c = \frac{1}{2} M v^2 = \frac{1485 * 27.8 * 27.8}{2} = 573\,833 \text{ Joules}$$

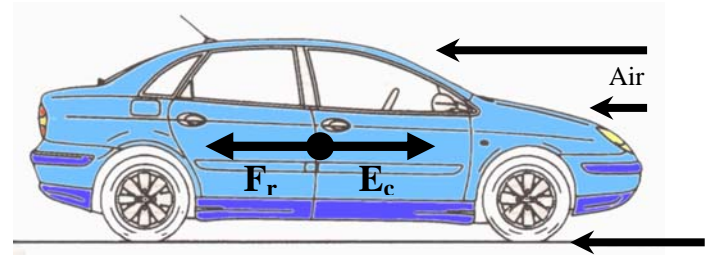
Conclusion : Pour une vitesse véhicule multipliée par deux, nous multiplions énergie cinétique par quatre.

Cette énergie devra être totalement dissipée pour que le véhicule s'arrête.

-1.2- Sous quelles formes l'énergie sera-t-elle dissipée ?

Toutes les formes d'énergie sont dissipées par transformation en **énergie thermique** ou **calorifique**.

Pratiquement, la suppression de la force motrice (accélérateur lâché) rompt l'équilibre entre \vec{F}_m et \vec{F}_r .



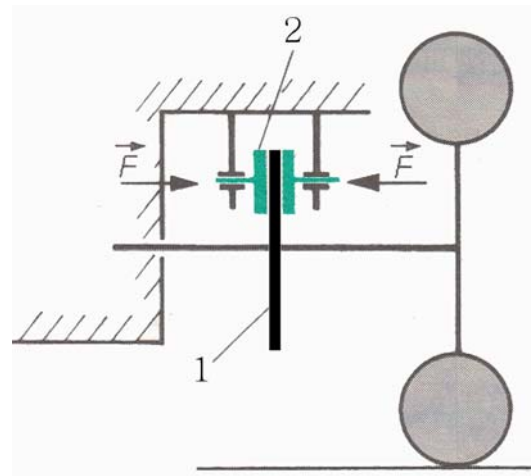
- ❖ En accélération : $F_m > F_r$.
- ❖ A vitesse constante : $F_m = F_r$.
- ❖ En décélération (accélérateur lâché) : $F_m < F_r$.

Le moteur devient résistant : **frein moteur**. Son effet s'ajoute à celui des forces résistantes. La somme de ces résistances passives réalise un ralentissement progressif, suffisant dans beaucoup de cas. La quantité d'énergie calorifique à produire sera donc inférieure à celle calculée.

Lorsqu'un arrêt précis, sur une distance donnée, est nécessaire, **un système de freinage** doit être actionné. Il doit, par frottement, **produire une force résistante transformant l'énergie cinétique en énergie calorifique** et évacuer la chaleur produite.

Le frottement est réalisé par la mise en contact plus ou moins prononcée de deux surfaces :

- ❖ l'une est solidaire d'un élément tournant avec les roues (pièce 1)
- ❖ l'autre d'un élément fixe au châssis (pièce 2).



Les dispositifs de freinage qui réalisent le frottement sont de deux types :

- ❖ **Les freins à disque.**
- ❖ **Les freins à tambour.**

-2- COMPOSITION DU CIRCUIT DE FREINAGE

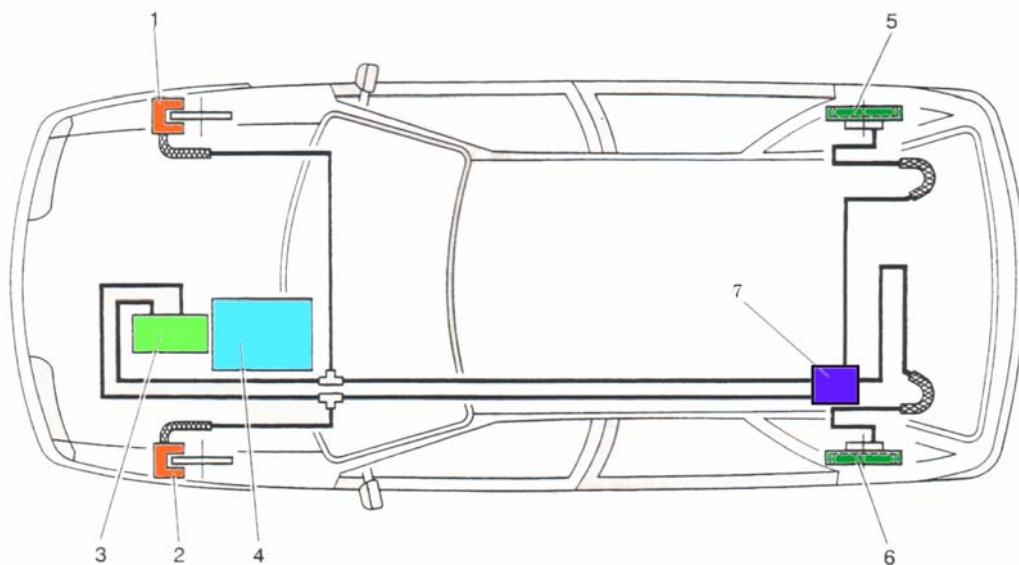
Le système de freinage est constitué par deux freins à disques à l'avant et à l'arrière ou deux freins à tambours à rattrapage de jeu automatique pour l'arrière. L'ensemble est alimenté par un double circuit en diagonale.

La commande hydraulique est réalisée par un maître-cylindre à double circuit assisté d'un dispositif à dépression.

Le frein de sécurité commandé par câbles à partir d'un levier fixé au plancher, agit sur les mâchoires de frein arrière.

Dans chaque cylindre de roue arrière est intégré un compensateur de freinage ou d'un correcteur de freinage régulant la pression sur les roues arrière uniquement.

-2.1- Eléments constitutifs



- 1 - Etrier de frein avant droit
- 2 - Etrier de frein avant gauche
- 3 - Maître-cylindre
- 7 - Correcteur de freinage

- 4 - Amplificateur de freinage (Master-vac)
- 5 - Tambour de frein arrière droit
- 6 - Tambour de frein arrière gauche

-3- LES COMMANDES

3.1 Dans une installation de freinage, il faut distinguer :

- Le dispositif de freinage : freins à disque et à tambour
- Le dispositif de commande qui comprend tous les éléments permettant au conducteur d'actionner le dispositif freinage.

3.2 Les qualités d'un dispositif de commande sont :

- Un temps de mise en action très court
- Permettre un dosage précis du freinage
- Nécessiter un faible effort de la part du conducteur
- Répartir la force de freinage, uniformément sur les deux roues du même essieu et convenablement sur chacun des essieux en fonction **LA CHARGE** supportée par chacun d'eux.

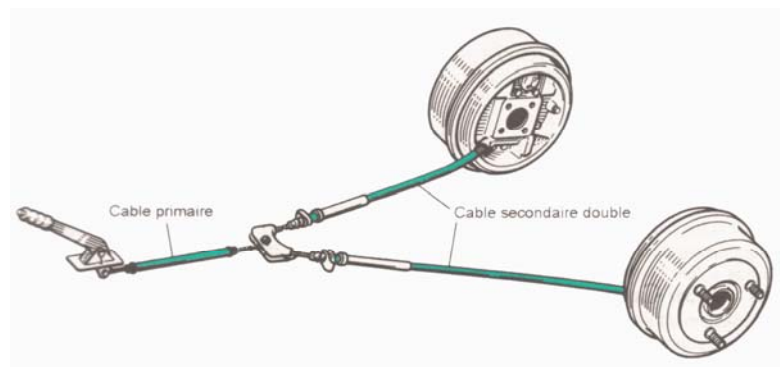
3.3 La commande peut être réalisée

- Mécaniquement, par tringles rigides ou câbles souples
- hydrauliquement, par action d'un liquide sous pression
- pneumatiquement, par action de l'air sous pression. Ce type de commande est surtout utilisé dans le cas de véhicules industriels.

Pour un véhicule automobile, le code de la route impose deux dispositifs de commande du freinage. Leur fonctionnement doit être indépendant.

En véhicules particuliers, on utilise en général :

- Une commande mécanique pour le frein de secours et de stationnement, appelé plus couramment «frein à main »



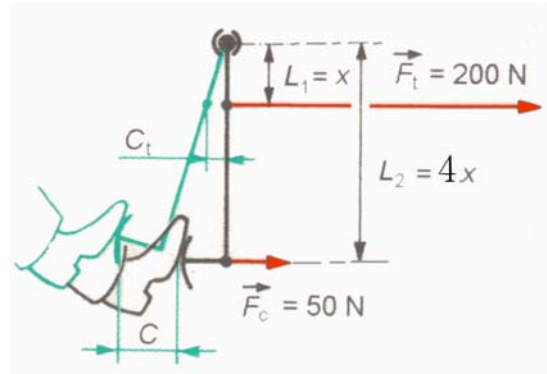
- Une commande hydraulique pour le circuit de freinage principal.

-4- DEMULTIPLICATION MECANIQUE DE LA FORCE

La pédale de freins s'articule par rapport à un axe.
La tige de poussée est fixée à une distance plus ou moins proche de cet axe.

La force \vec{F}_t communiquée à la tige de poussée dépend :

- De la force avec laquelle le conducteur appuie sur la pédale (\vec{F}_c)
- Rapport des distances par rapport à l'axe.



$$F_c * L_2 = F_t * L_1$$

Prenons le cas où l'effort du conducteur est égal à :

$\vec{F}_c = 50 \text{ N}$ et où le rapport de bras de levier de la pédale est égal à $R = 4/1$. Dans ce cas, la force de la tige de poussée est

$$\vec{F}_t = 50 * 4 = 200 \text{ N.}$$

La force est multipliée par 4. On observe, dans le même temps, que la course de la pédale est 4 fois plus grande que celle de la tige de poussée.

-5- DEMULTIPLICATION HYDRAULIQUE DE LA FORCE

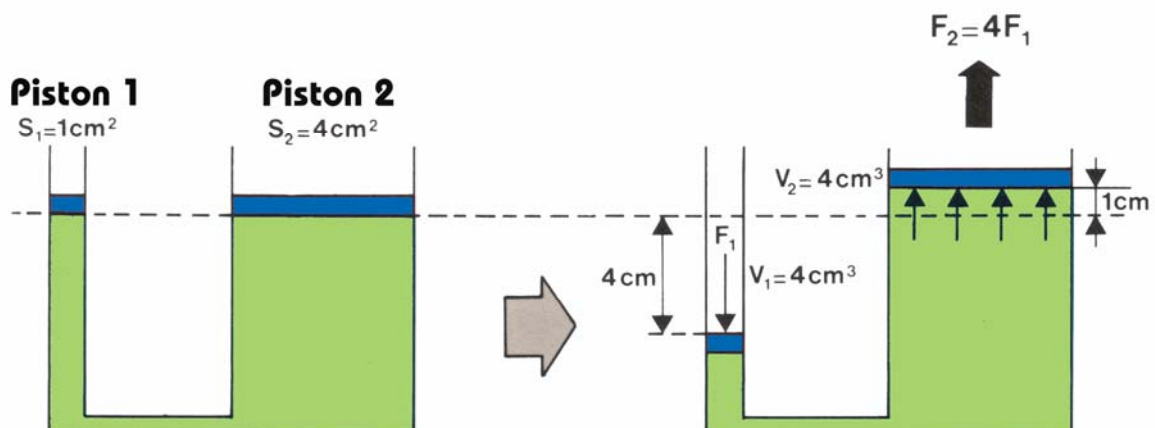
-5.1 - Caractéristique générale des liquides

"Toute pression exercée en un point quelconque dans la surface d'un liquide se transmet dans toutes les directions sans perdre de son intensité"

PRINCIPE DE PASCAL

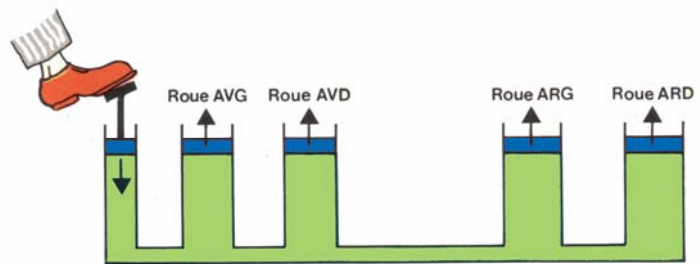
Car **les liquides sont incompressibles**. Ils se prêtent donc parfaitement à la transmission intégrale d'un mouvement et d'une force.

EXPERIENCE:



-5.2 - Application à la commande des freins

Dans la COMMANDE HYDRAULIQUE, l'effort exercé sur la pédale par le conducteur est transmis aux freins par l'intermédiaire d'une colonne de liquide, le système consiste en une pompe appelée "MAITRE-CYLINDRE" dans laquelle la pression est créée par l'effort du conducteur. Au moyen de canalisations, cette pression est transmise aux cylindres-récepteurs des roues qui actionnent les freins



-5.3 – Loi physique

$$F = P * S$$

F : Force en daN ou (Newton)
P : pression en bar ou (Pascal)
S : section en cm² ou (m²)

-5.3.1- Exercice :

D'après les caractéristiques des freins de C5 2.2 HDI :

Ø piston maître-cylindre : 22,2 mm
 Ø piston AV : 57 mm
 Ø piston AR : 32 mm
 L : 230 mm
 l : 60 mm
 E : 30 Newton

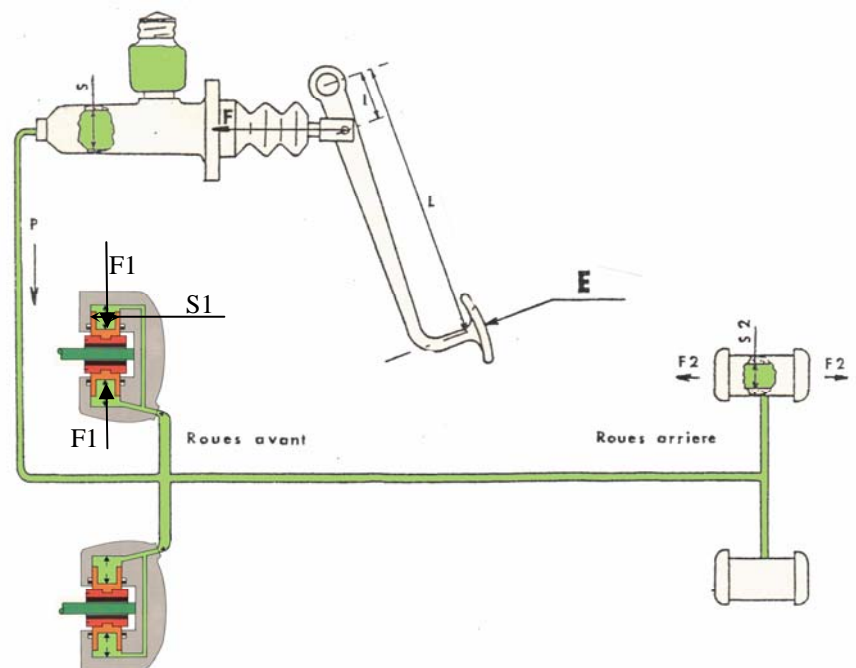
1°) Calculer la force F s'appliquant sur le piston du maître-cylindre.

2°) Calculer les sections (surfaces) des pistons du maître-cylindre, de l'étrier ainsi que du cylindre de roue.

3°) Calculer la pression du circuit.

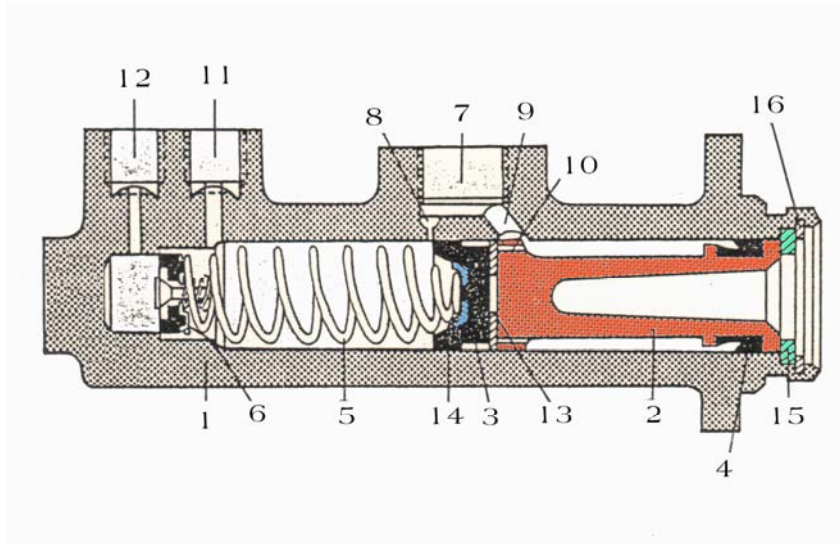
4°) Calculer la force F1 puis la force sur l'essieu AV.

5°) Calculer la force F2 puis la force sur l'essieu AR.



-6- LE MAÎTRE CYLINDRE

6.1 – Fonctionnement du maître cylindre simple.



- | | |
|------------------------------------|-------------------------------|
| 1 – Le corps | 9 – Orifice d'alimentation |
| 2 – Le piston | 10 – Orifices de compensation |
| 3 – La coupelle primaire | 11 – Sortie sans résiduelle |
| 4 – La coupelle secondaire | 12 – Sortie avec résiduelle |
| 5 – Ressort de rappel | 13 – Rondelle protectrice |
| 6 – Soupape de pression résiduelle | 14 – Cuvette d'appui |
| 7 – Fixation du réservoir (bocal) | 15 – Rondelle d'arrêt |
| 8 – Orifice de dilatation | 16 – Circlips de fermeture |

6.1.1 Description

Le maître-cylindre à coupelle primaire se compose principalement d'un corps en fonte dans lequel se déplace un piston.

Le corps comprend un alésage, une bride de fixation, un siège de soupape et des bossages. Le bossage d'arrivée, réalise la jonction avec le réservoir de compensation et est percé de deux trous : le trou d'alimentation (9) (\varnothing 5 à 6 mm) et le trou de dilatation (8) (\varnothing 0,6 mm). Les bossages de départ (11, 12), raccordés à la canalisation, sont en nombre variable, suivant le système de freinage employé.

Le piston, évidé extérieurement, comprend un logement pour la tige de poussée et une gorge destinée à recevoir la coupelle secondaire. Il est positionné au repos par une rondelle butée (15) et son jonc d'arrêt (16).

Un ressort maintient d'une part, la soupape de pression résiduelle (6); il applique d'autre part la coupelle primaire (comportant cannelures et gorge circulaire) et, la rondelle protectrice (13) contre la base du piston percée de trous (10) sur sa périphérie.

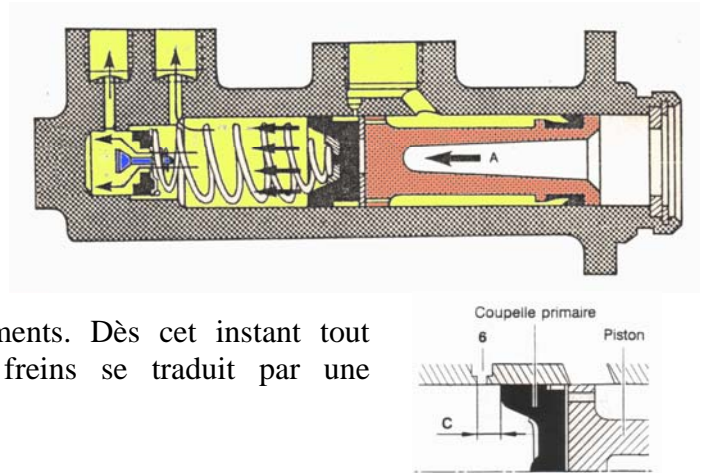
6.1.2 Fonctionnement

FREINAGE :

Sous l'action de la pédale de freins, le piston se déplace (sens de la flèche A).

La coupelle primaire dépasse le trou de dilatation; une légère pression s'établit et les pistons des récepteurs (cylindres de roues et étriers de freins à disque) se déplacent à leur tour.

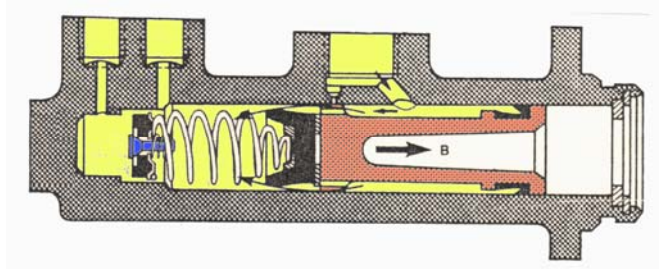
La montée en pression ne peut s'effectuer que lorsque toutes les garnitures de freins sont en contact avec les pistes de frottements. Dès cet instant tout accroissement d'effort sur la pédale de freins se traduit par une augmentation de pression dans le circuit.



DEFREINAGE :

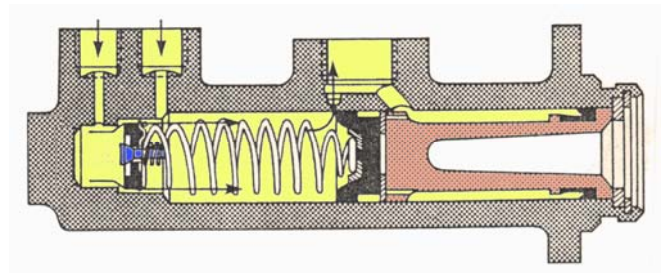
fonction «remplissage » durant le recul du piston

En cessant de freiner, le ressort de rappel entre en fonction et l'ensemble «piston-coupelles » recule (sens de la flèche B). Ce recul étant rapide, une dépression se crée dans la chambre avant du maître-cylindre. La quantité de liquide nécessaire à la compensation est aspirée, passe par le gros trou de remplissage 0,5 mm, passe par les orifices de compensation déforme la rondelle protectrice et la coupelle primaire, et pénètre dans la chambre avant du maître-cylindre.



fonction retour de la colonne de liquide

Lorsque le piston arrive en butée sur la rondelle d'arrêt, la lèvre de la coupelle primaire a dégagé le trou de dilatation (\varnothing 0,6 mm). Sous l'effet des dispositifs de rappel des garnitures, la colonne de liquide remonte vers le réservoir jusqu'au moment où le ressort de rappel assure la fermeture de la soupape de pression résiduelle à la valeur déterminée. L'installation est alors au repos.



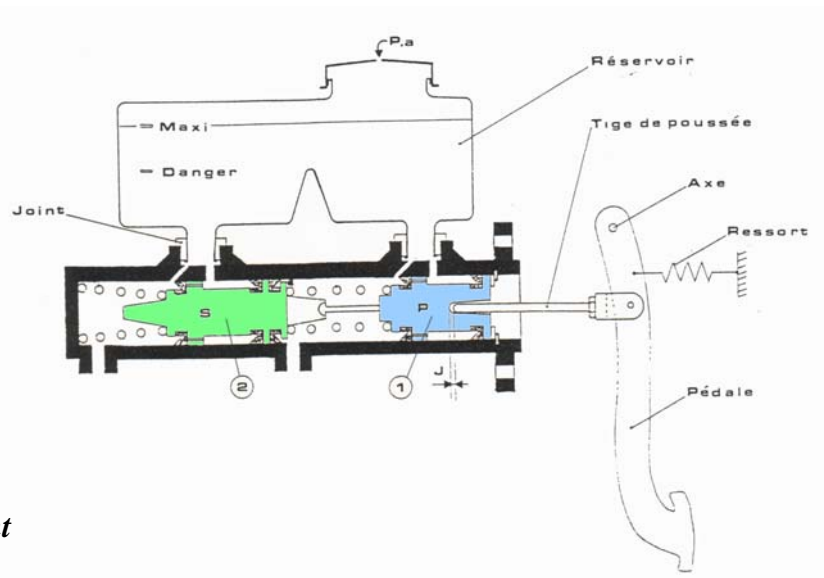
6.2 - Fonctionnement du maître-cylindre tandem

6.2.1 Freinage normal

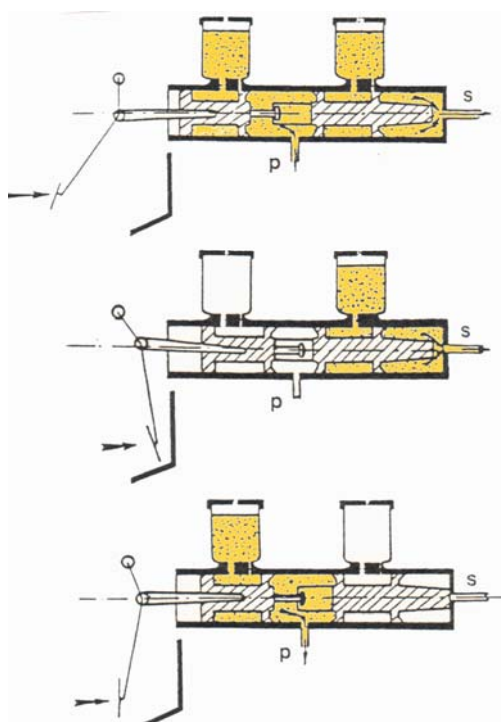
Sous l'action de la tige de poussée et après une faible course, les deux coupelles principales obturent simultanément les deux trous de dilatation.

La montée en pression sera obtenue dans les deux circuits lorsque tous les pistons des cylindres récepteurs auront effectué leur course, c'est-à-dire auront mis les garnitures de freins en contact avec le tambour ou le disque.

- 1 – Piston primaire
- 2 – Piston secondaire
- J – Jeu de garde



6.2.2 Principe de fonctionnement



Marche normale sur les 2 circuits

Fuite sur le circuit primaire

Fuite sur le circuit secondaire

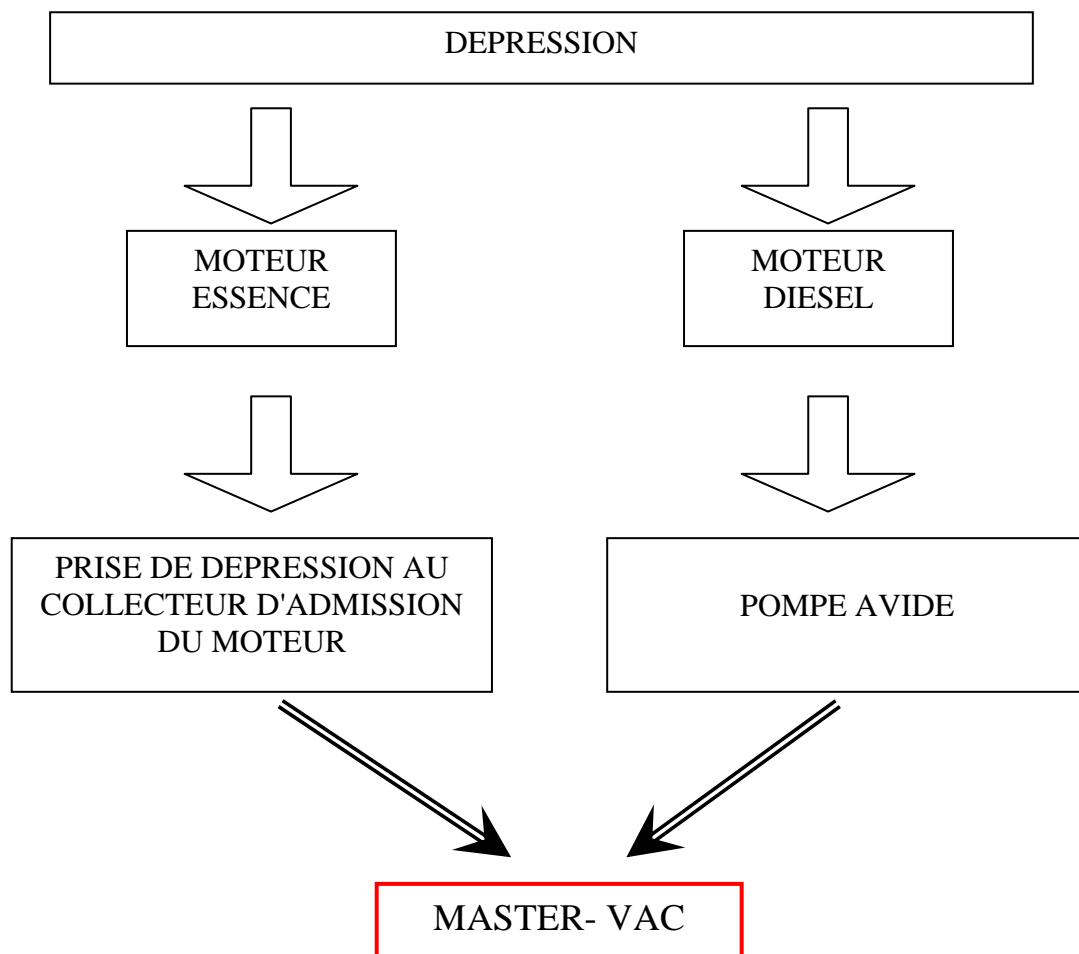
-7- LES DISPOSITIFS D'ASSISTANCE (OU SERVO-FREINS OU MASTER-VAC)

7.1 - But

Ils ont pour rôle de multiplier l'effort à la pédale ce qui permet au conducteur :

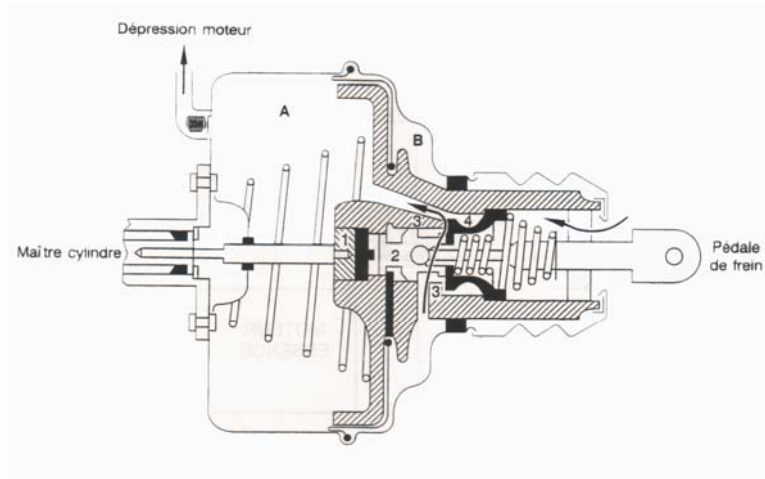
- soit d'obtenir un freinage donné pour effort moindre,
- soit d'obtenir, pour un effort donné, un freinage plus important.

7.2 - Différentes sources d'énergie auxiliaire



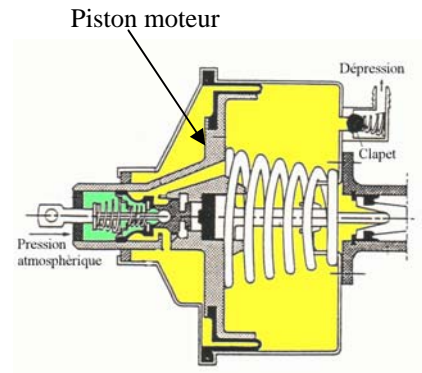
7.3 - Fonctionnement

La communication entre les chambres A et B est possible. Le ressort de rappel est prépondérant. Les pièces 2 et 4 empêchent l'arrivée de la pression atmosphérique à B.



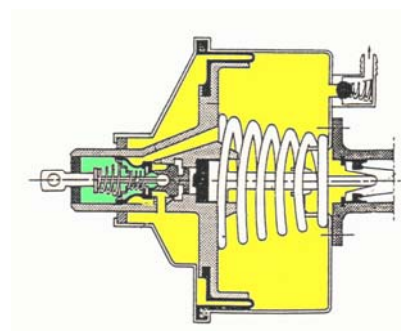
Position repos

Le vide règne de part et d'autre du piston moteur. Les chambres A et B communiquent.



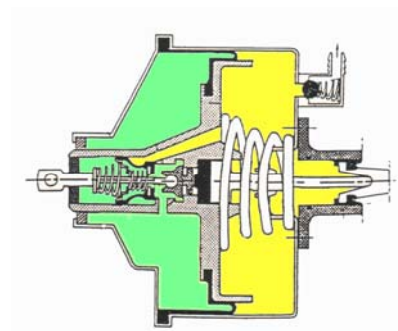
Début de freinage

La valve ferme l'orifice de dépression. Les chambres A et B sont isolées.



Position freinage

Après avoir fermé l'orifice de dépression, la valve ouvre l'orifice de pression atmosphérique. La chambre B est en communication avec la pression atmosphérique, le piston se déplace dû à la différence de pression. ($F = P * S$)

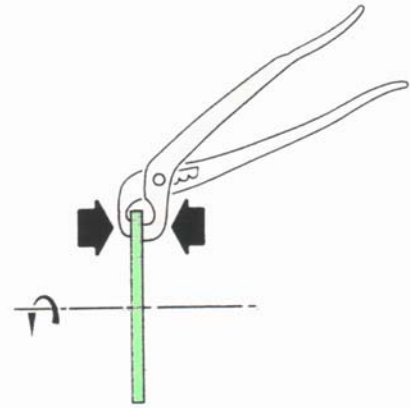
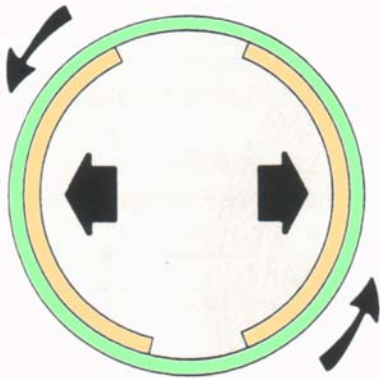


-8- TAMBOURS ET DISQUES DE FREINS

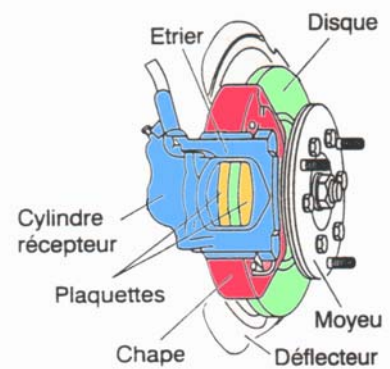
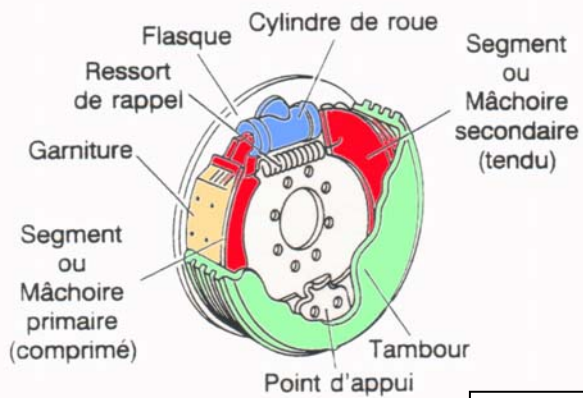
LES FREINS A TAMBOUR

LES FREINS A DISQUE

PRINCIPE



COMPOSITION



DESCRIPTION

TAMBOUR

ELEMENT SOLIDAIRE DE LA ROUE

DISQUE

- Flasque
- Cylindre
- Mâchoires et segments

ELEMENT SOLIDAIRE DU CHASSIS

- Flasque
- Cylindre (étrier)
- Mâchoires et segments

RESSORT

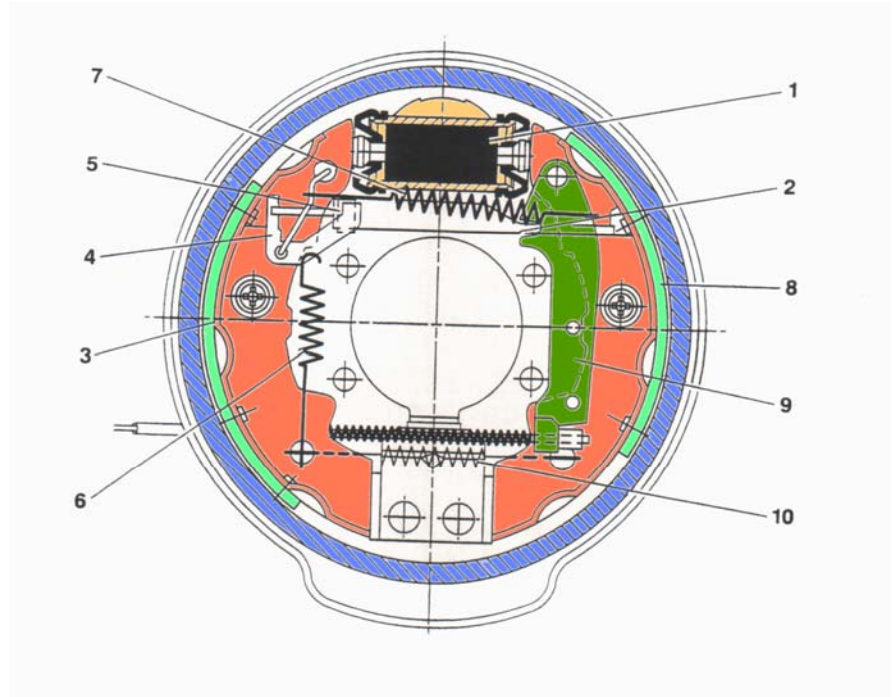
ELEMENT DE RAPPEL

- Voile du disque
- Joint d'étanchéité

8.1 – Frein a tambour

8.1.1 Description

- 1 - Cylindre de roue
- 2 - Bielle de frein à main
- 3- Segment primaire ou comprimé
- 4- Levier de rattrapage de jeu
- 5- Ecrou de rattrapage de jeu
- 6- Ressort de levier de rattrapage de jeu
- 7- Ressort de rappel des segments
- 8- Segment secondaire ou tendu
- 9- Levier de frein à main
- 10- Ressort de maintien des segments



8.1.2 Fonctionnement

La commande de frein aura pour rôle d'écarter les segments et de mettre "au contact" les garnitures avec le tambour. Le rappel sera effectué par un ressort.

En fonctionnement le tambour a tendance à entraîner les segments. De ce fait le segment primaire va, s'arc-bouter sur son articulation ce qui augmentera le frottement et donc le freinage. C'EST LE PHENOMENE D'ENROULEMENT.

Au contraire le segment secondaire aura tendance à prendre moins d'appui sur le tambour : le frottement et le freinage seront plus faibles. C'est pourquoi, en général, la garniture secondaire est la plus courte.

D'OU QUELQUES INCONVÉNIENTS

Le frottement est supérieur sur le segment comprimé. Au contraire, le segment secondaire travaille peu ; donc l'usure sera différente sur chaque segment.

Le frottement n'est pas uniforme sur toute la surface des garnitures.

L'usure des garnitures augmente la course du système de commande. Il faut rattraper le jeu entre garniture et tambour (manuel ou automatique).

8.2 - Le frein a disque

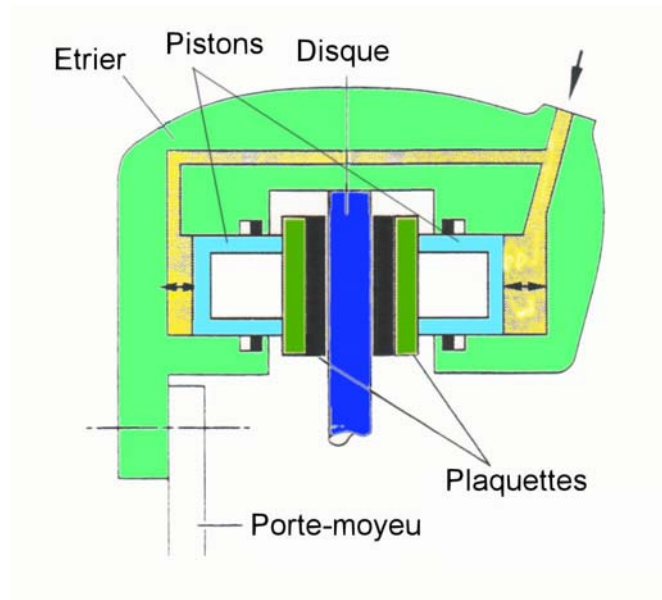
2 types de montage :

LE MONTAGE RIGIDE

LE MONTAGE FLOTTANT

8.2.1 Le montage rigide

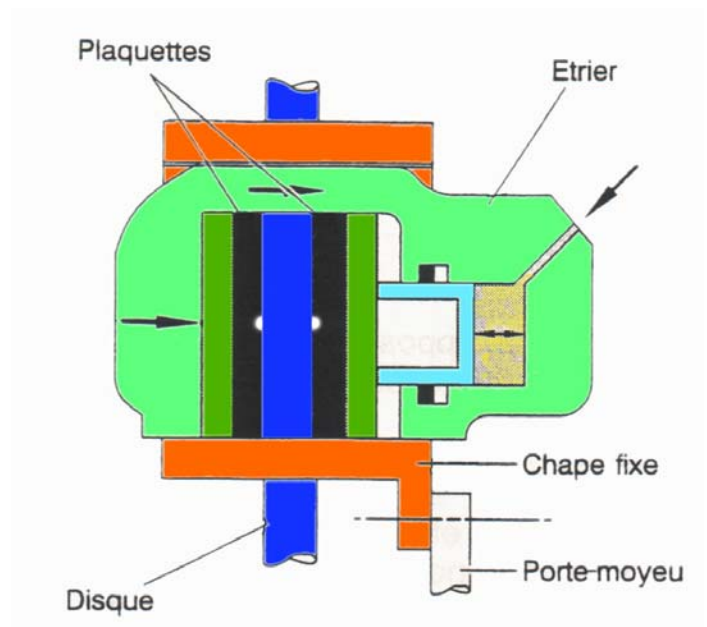
Deux pistons opposés appliquent chacun une plaquette sur le disque. Dans tous les cas, le rappel des plaquettes est effectué par le voile du disque et celui des pistons par le joint d'étanchéité, les joints carrés donnent un "rappel" de 0,3 à 0.5 mm.



8.2.2 Les montages flottants

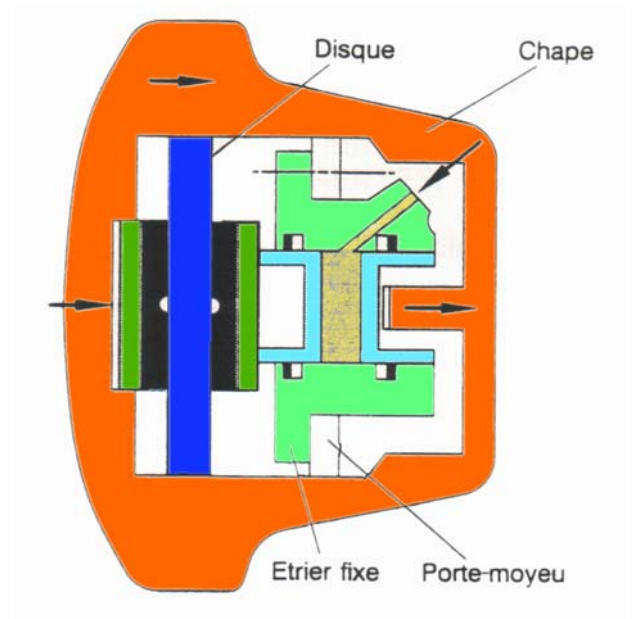
Le plus répandu : **L'ÉTRIER FLOTTANT**

Dans un premier temps la plaquette est poussée par le piston contre le disque. Dans un deuxième temps, le piston ne pouvant plus avancer, c'est l'étrier qui se déplace par rapport à la chape et qui vient appliquer la 2ème plaquette contre le disque.



LA CHAPE FLOTTANTE

L'étrier solidaire du porte fusée dispose de 2 pistons. L'un agit directement sur l'une des plaquettes, l'autre agit sur la deuxième plaquette par l'intermédiaire de la chape.

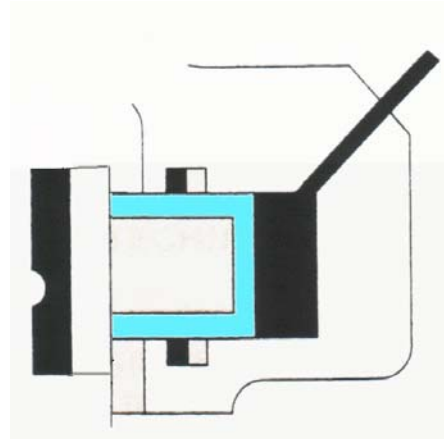


8.2.3 Diverses améliorations

Au niveau de la température

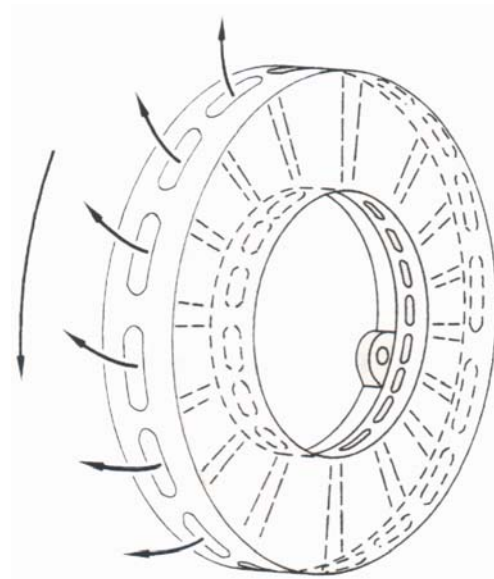
Le piston "creux"

Il présente l'avantage de moins transmettre la chaleur, et de contenir une faible quantité de liquide dans une zone assez bien refroidie.



Le disque ventilé

La rotation du disque entraîne une circulation d'air dans les canaux, d'où une amélioration du refroidissement.



-9- COMPARAISON ENTRE TAMBOUR ET DISQUE

TAMBOUR

DISQUE

AVANTAGES

Commande de frein à main plus simple.

Meilleur refroidissement.

La dilatation n'affecte pas la qualité de freinage.

Jeu de fonctionnement faible, action rapide.

Bonne progressivité.

Répartition uniforme de la pression.

Absence de déformation.

Puissance de freinage identique en marche avant et en marche arrière.

Pas de réglage (rattrapage de jeu automatique).

Remplacement des garnitures plus rapide.

INCONVENIENTS

Mauvaise répartition de l'effort.

Moins bonne tenue à chaud.

Dilatation et déformation du tambour.
Usure plus prononcée sur le segment primaire (comprimé)

BRUIT

PRIX

-10- LES CORRECTEURS DE FREINAGE

Dès que le véhicule est en situation de freinage, il y a «**transfert de charge**» sur l'avant. Ce transfert de charge est fonction de :

- la décélération du véhicule
- de la masse du véhicule
- de la hauteur de son centre de gravité
- de son empattement

Il est donc nécessaire que la force de freinage ne soit pas identique sur les roues AV et AR.

10.1 – Fonction des correcteurs

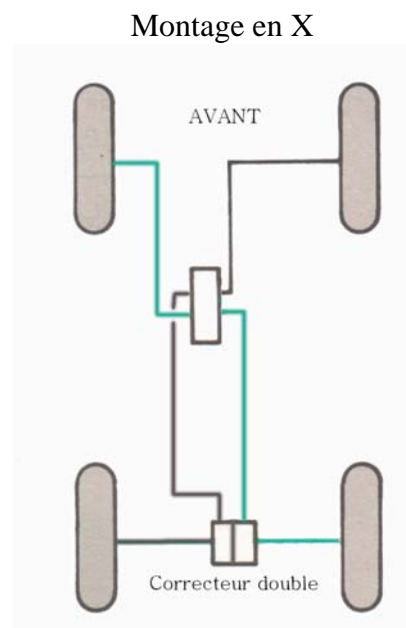
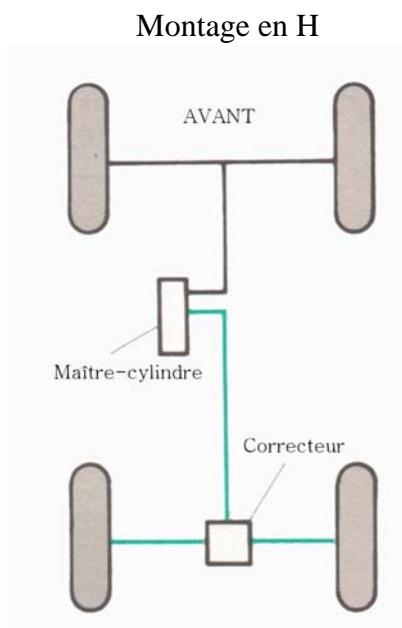
Les correcteurs de freinage permettent de modifier à un moment donné le rapport des pressions hydrauliques entre les freins AV et AR.

Ils comprennent deux familles :

- Les limiteurs
- Les compensateurs

Chaque famille comprend deux catégories :

- Les non asservis à la charge du véhicule
- Les asservis à la charge du véhicule



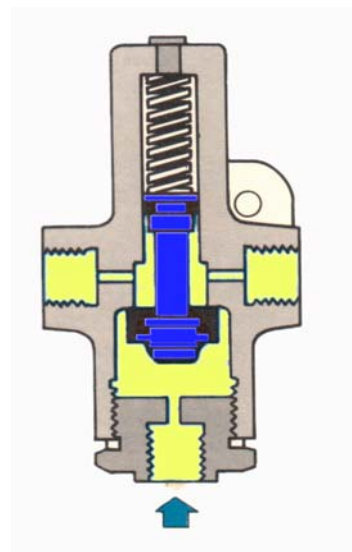
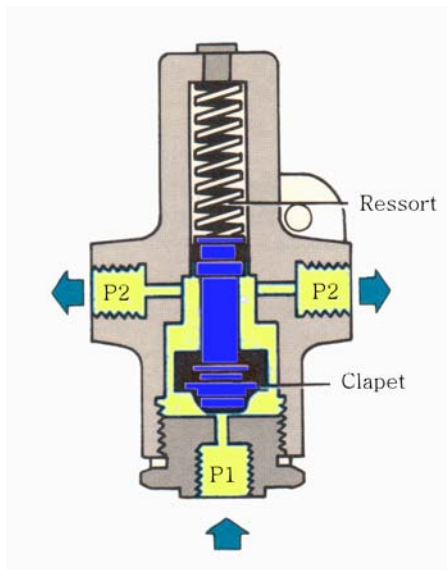
10.2 – Les limiteurs

Les limiteurs ont pour fonction de limiter la pression hydraulique admise dans les récepteurs des roues délestées (roues arrière).

La limitation peut être :

- Fixée à une valeur prédéterminée : **limiteur non asservi**
- Variable selon la charge supportée par l'essieu arrière : **limiteur asservi**

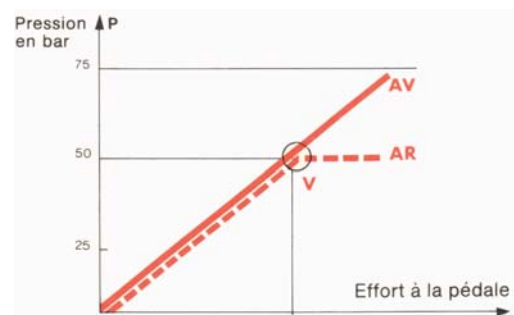
10.2.1 Les limiteurs non asservis



Freinage modéré. Le conducteur appuie sur la pédale de freins, le liquide déplacé applique les garnitures des quatre freins contre leurs pistes de frottement. La pression hydraulique croît, puis elle se stabilise à une pression inférieure à la pression de limitation prédéterminée.

Le produit ($P \cdot S$), pression par section du piston, communique à ce dernier une force F_1 dont l'intensité est inférieure à celle de la force (tarage) du ressort F_2 . Le piston reste en position de repos. La pression est identique dans tout le circuit ($P_2 = P_1$).

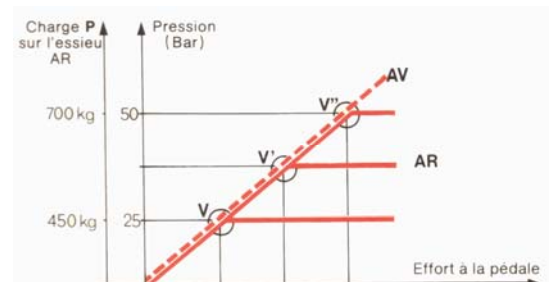
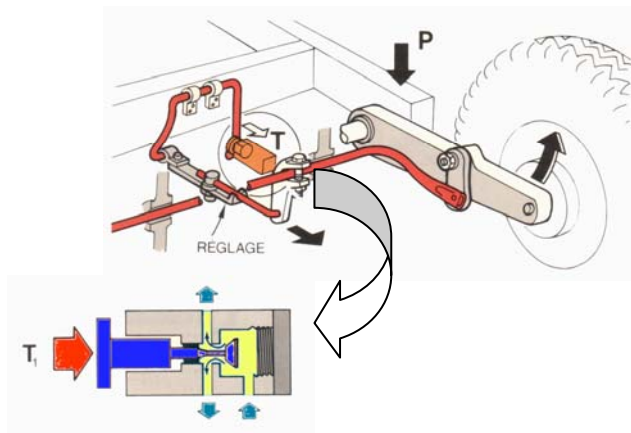
Lorsque la pression devient supérieure au tarage du ressort le clapet se ferme et la pression est limitée sur les roues AR quelle que soit la pression sur les roues AV.



10.2.2 Les limiteurs asservis

On peut observer que lorsqu'un essieu est surchargé, la hauteur caisse/sol dans son axe vertical diminue, délesté, la hauteur caisse/soi augmente.

Il est donc possible de modifier la pression de limitation rendant le tarage du ressort du limiteur dépendant la hauteur de caisse (asservi à la suspension), Ainsi, à chaque position de la hauteur de caisse correspond un tarage de ressort différent.



10.3 – Les compensateurs

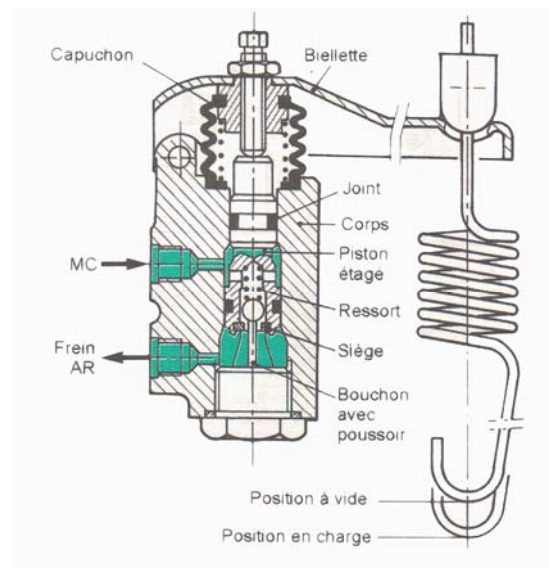
Les compensateurs ne limitent pas la pression à une valeur définie mais assurent, à partir d'une certaine valeur, pour chaque pression du circuit avant, une pression arrière plus faible, mais proportionnelle dans un rapport déterminé. Cette proportionnalité est assurée par un piston étagé.

Comme les limiteurs, les compensateurs peuvent être :

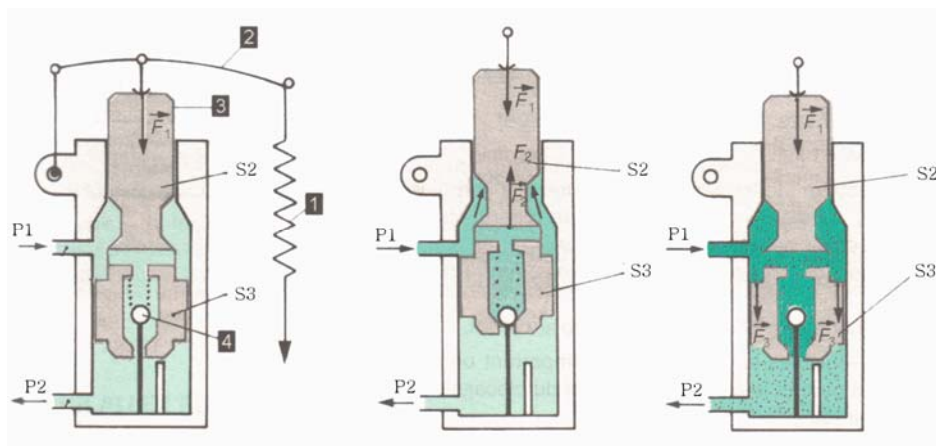
- non asservis
- asservis

Le compensateur non asservi possède un ressort à tarage unique et ne dépend pas de la charge du véhicule

Le compensateur asservi est lié à la suspension par un ressort. Il contrôle ainsi une pression variable en fonction de la charge.



Compensateur asservi à la charge



- 1 – ressort lié à la suspension
- 2 – Levier d'asservissement
- 3 – Piston étagé
- 4 - Clapet

- **Position repos.** Le ressort agit sur le piston par l'intermédiaire du levier d'asservissement. Il crée une force F_1 proportionnelle à la charge de l'essieu et maintient piston au fond de l'alésage. Le clapet (4) est alors ouvert. La communication hydraulique maître-cylindre/cylindre roue arrière est assurée.

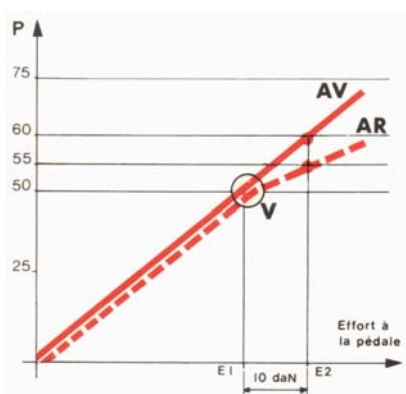
- **Freinage.** La pression augmente dans l'ensemble du circuit hydraulique ($P_1 = P_2$). La pression P_1 agit à la fois sur la section S_2 et la section S_3 (vers le bas). La pression $P_2 = P_1$ agit sur S_3 (vers le haut). Donc, ces deux actions sur S_3 s'annulent ($P_1 * S_3 = P_2 * S_3$). Lorsque P_1 sur S_2 est suffisante (F_2) pour vaincre l'action du ressort d'asservissement (F_1), le piston monte, le clapet se ferme.

- **Augmentation de la pression.** Le conducteur augmente son effort sur la pédale de freins : P_1 augmente et agit à la fois sur S_2 et S_3 . L'équilibre des forces sur S_3 est rompu :

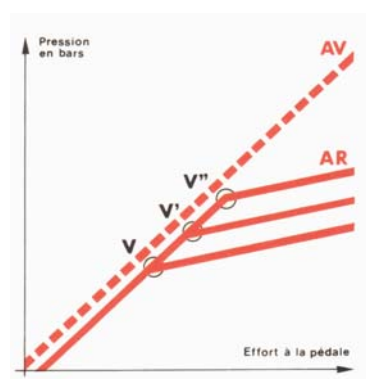
$$P_1 * S_3 > P_2 * S_3$$

Le piston redescend, le clapet s'ouvre, P_2 augmente ($P_2 = P_1$) et un nouvel équilibre s'établit sur le piston.

10.3.1 Courbes caractéristiques



Compensateur non asservi



Compensateur asservi

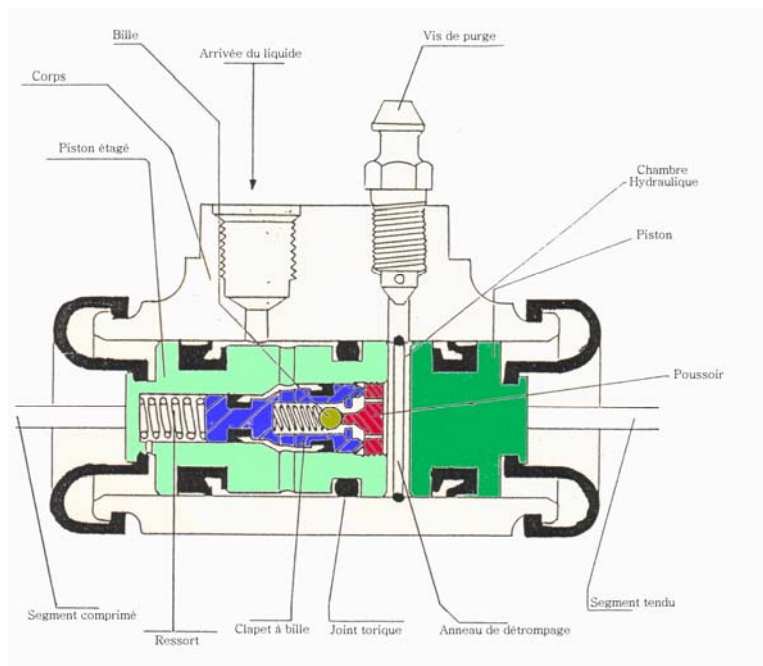
10.3.2 Le cylindre de roue à correcteur incorporé

Un nouveau type de correcteur Bendix est apparu sur le marché depuis le début 1983. Ce brevet Bendix est appelé: « *cylindre de roue à correcteur incorporé* »

Le dispositif correcteur et cylindre de roue de roue AR étant très complémentaires, l'intégration de ces deux fonctions est très intéressante pour les véhicules ne nécessitant pas un asservissement à la charge.

- Gain de poids correspondant à la suppression du corps d'un correcteur double, c'est à dire environ 550g.
- Performances techniques améliorées par une diminution du temps de réponse, en effet le correcteur contrôle uniquement le volume de liquide réellement utilisé par le frein.

Son fonctionnement est identique au fonctionnement d'un compensateur non asservi à la charge.



-11- LE LIQUIDE DE FREIN

Les liquides de frein sont déshydratés et au contact de l'air dans le réservoir il se charge en eau ce qui diminue leur température d'ébullition.

Liquide de frein DOT 3 T° ébullition min : 205°C T° ébullition min liquide humide : 140°C

Liquide de frein DOT 4 T° ébullition min : 230°C T° ébullition min liquide humide : 155°C