

■ Peut-on remédier à l'immobilisation du véhicule par manque d'adhérence d'une roue ?

La motricité ne peut être assurée que par le blocage du différentiel (figure 7.10).

Le blocage du différentiel consiste à rendre un des planétaires solidaire du boîtier de différentiel, donc de PS, ce qui a pour effet de bloquer le train épicycloïdal. Le planétaire et le porte-satellites tournant à la même vitesse empêchent toute rotation du satellite sur lui-même. Ce dernier entraîne, par sa denture, le second planétaire.

■ Comment le blocage du différentiel est-il réalisé ?

Le dispositif comprend (figures 7.11 et 7.12) :

- un craboteur lié en rotation à un des arbres de roues et libre en translation grâce à des cannelures ;
- une denture à crabots montée sur le boîtier de différentiel.

Lorsque le conducteur agit sur le levier de blocage du différentiel, une **fourchette**, à commande directe ou assistée, **déplace le craboteur** qui vient s'engrener avec la denture du boîtier de différentiel.

La manœuvre doit être effectuée à l'arrêt car, pendant le patinage d'une roue, la différence de vitesse importante entre le boîtier et l'arbre de roue interdit la manœuvre.

■ Qu'appelle-t-on pont auto-bloquant ?

Il s'agit d'un pont dont le différentiel comporte un dispositif de blocage qui entre automatiquement en action dès que la différence de vitesse d'un arbre de roue par rapport à l'autre arbre devient trop importante.

Son principe est fondé sur l'action de la **force centrifuge** qui agit sur un ou plusieurs patins de freins ou d'embrayage.

Ces patins sont solidaires des arbres de roues. Les tambours de frottement sont solidaires du boîtier.

■ Quels sont les problèmes posés par la motricité en tout terrain ?

Si, du fait d'une pente trop prononcée ou de l'inconsistance du terrain, la **résistance du sol** devient **inférieure** à l'effort exercé par les roues motrices, les roues patinent. Le véhicule n'avance plus.

La force d'adhérence, sur un sol donné, étant proportionnelle au poids porté par les essieux, la solution consiste à **rendre les deux essieux moteurs** afin de répartir l'effort sur les quatre roues dans les cas difficiles.

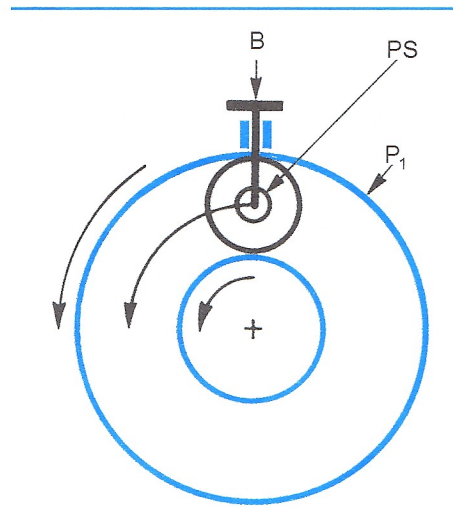


Figure 7.10 • Blocage du différentiel : principe. B rend solidaires P<sub>1</sub> et PS.

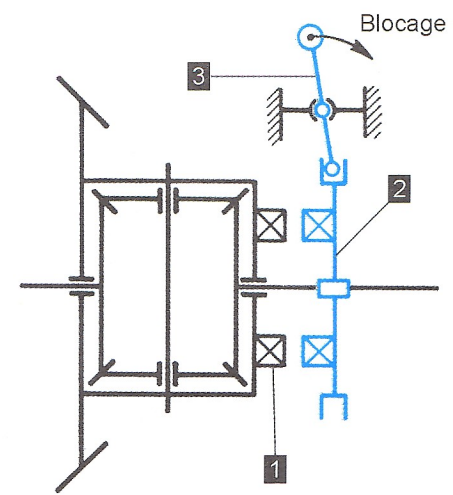


Figure 7.11 • Blocage du différentiel : réalisation.

- ① Denture à crabots solidaire du boîtier de différentiel.
- ② Craboteur lié en rotation avec un des arbres de transmission, libre en translation.
- ③ Levier de commande du blocage.



La transmission

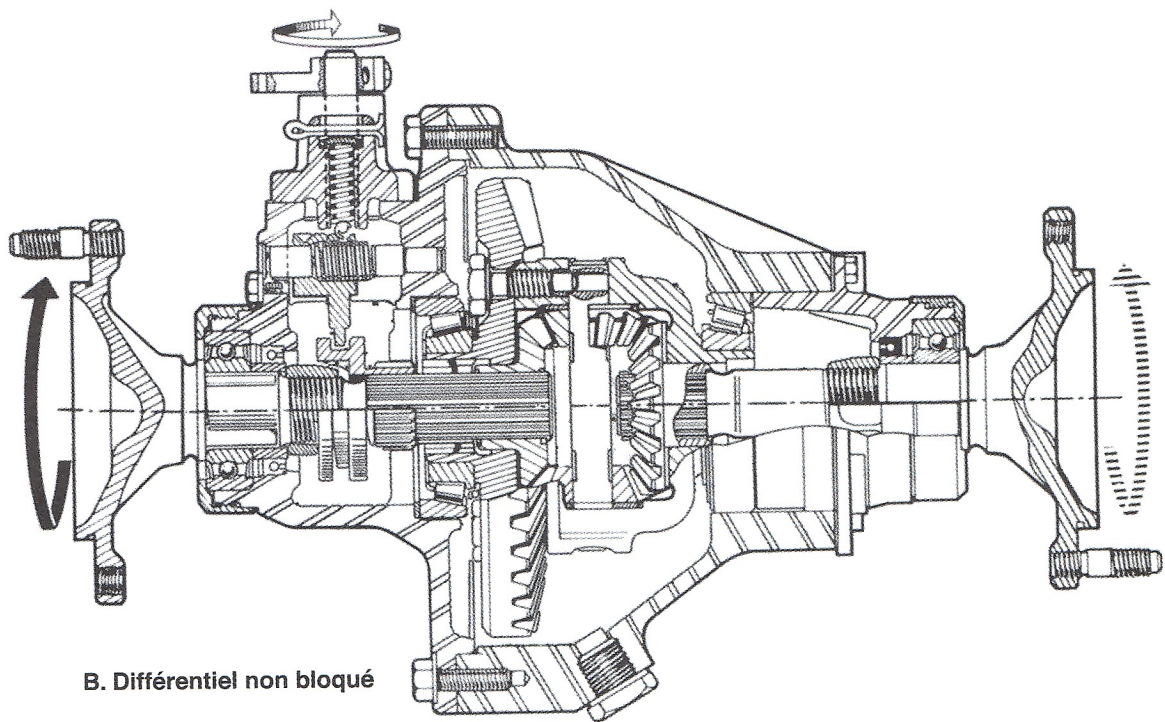
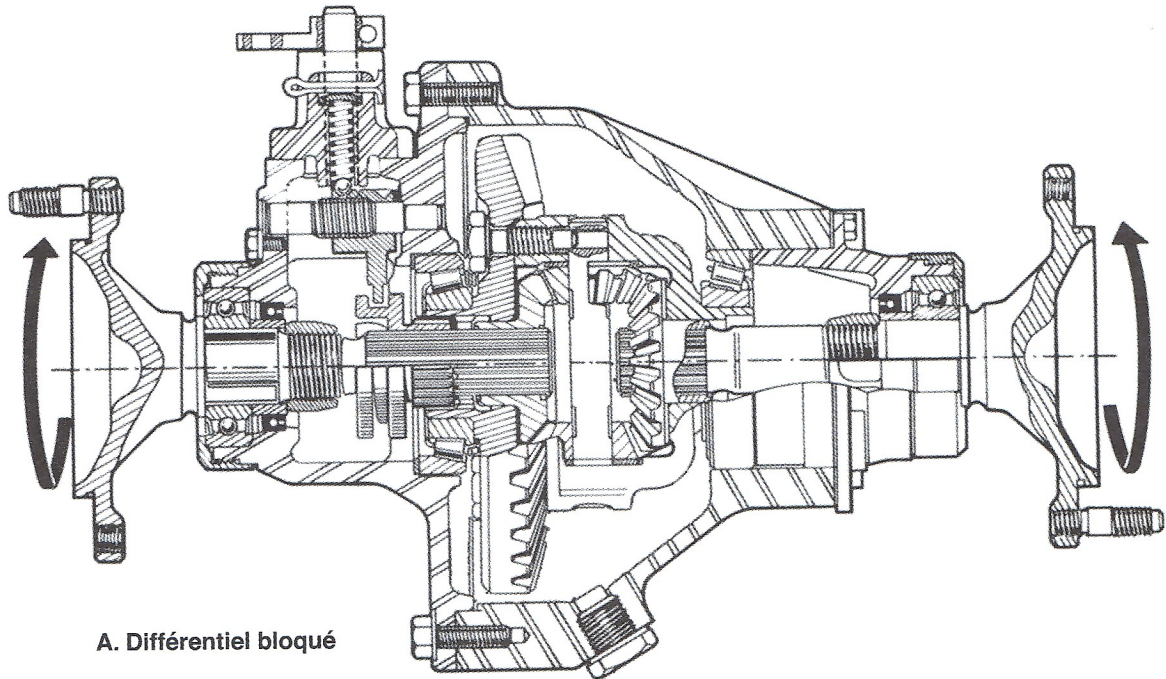


Figure 7.12 • Blocage du différentiel (document Citroën).

On appelle **4 x 4** un véhicule dont quatre roues sur quatre sont motrices et **4 x 2** lorsque, sur les quatre roues, deux seulement sont motrices.

■ Quelles sont les dispositions technologiques qui permettent de rendre motrices les quatre roues d'un véhicule ?

On distingue deux sortes de 4 x 4 :

- les véhicules qui fonctionnent en permanence avec les quatre roues motrices ;
- les véhicules pouvant fonctionner en 4 x 2 et en 4 x 4. Dans ce cas, le passage d'un mode de transmission à l'autre est obtenu par une boîte de transfert dont la manœuvre est indépendante du levier de vitesses.

■ Quelles sont les conséquences de la motricité des quatre roues ?

En 4 x 2, le couple moteur appliqué aux roues est réparti sur les deux roues motrices (compte tenu du rapport total de démultiplication).

En 4 x 4, le couple moteur après démultiplication sera réparti sur les quatre roues.

Il est apparu nécessaire, pour les utilisations exceptionnelles (très fortes pentes), d'**augmenter le couple disponible** à chaque roue. À cet effet, les véhicules 4 x 4 pour tout terrain sont équipés d'un **réducteur** supplémentaire actionné par le conducteur grâce à un levier. Le réducteur situé dans la boîte de transfert est en série avec la boîte de vitesses et le pont.

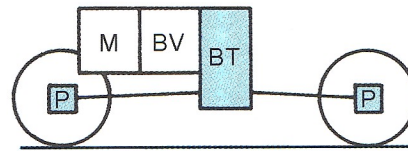


Figure 7.13 • Motricité des quatre roues.

- M. Moteur.
- BV. Boîte de vitesses.
- BT. Boîte de transfert.
- P. Ponts avant et arrière.

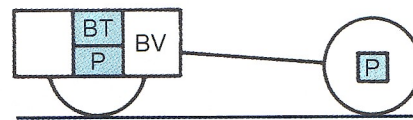
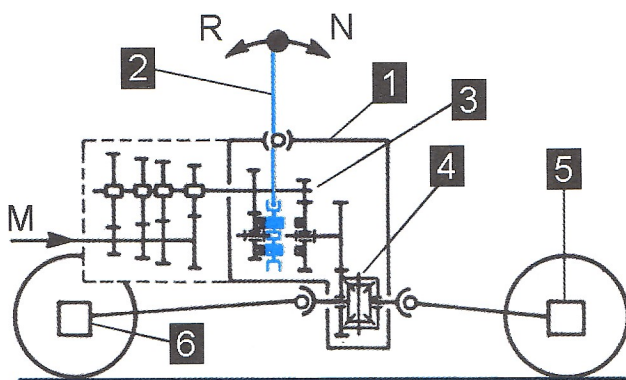


Figure 7.14 • Motricité des quatre roues. Disposition boîte/pont avant et pont arrière.

1

La transmission



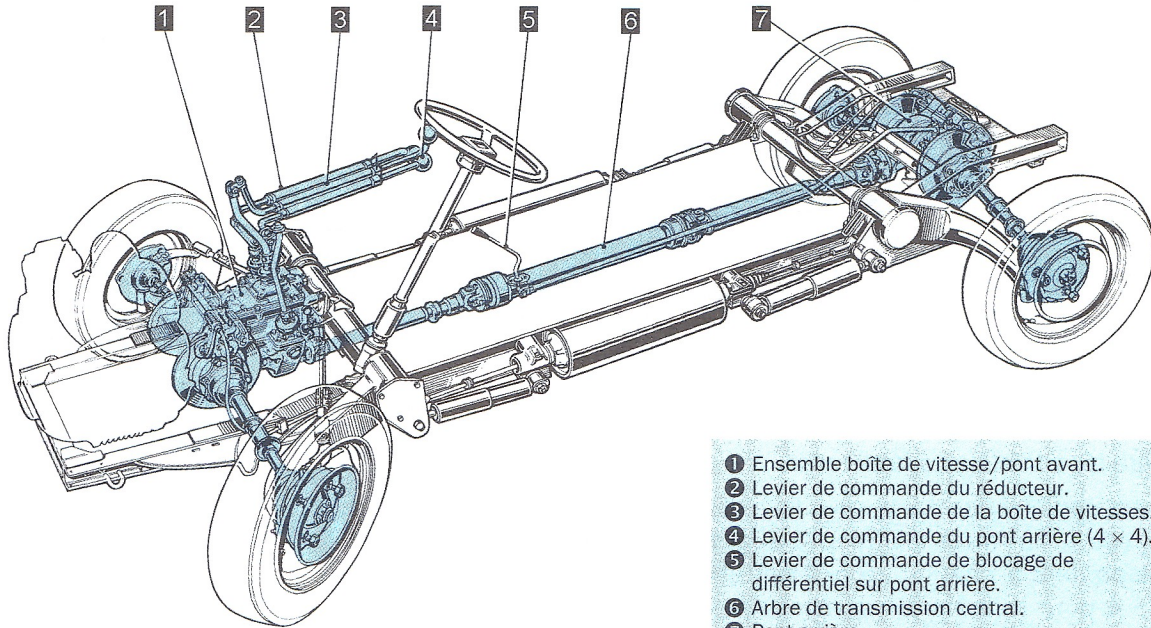
- 1 Boîte de transfert.
- 2 Commande du réducteur.
- 3 Engrenage réducteur.
- 4 Différentiel de boîte de transfert.
- 5 Pont arrière.
- 6 Pont avant.
- N. Transmission normale.
- R. Transmission « réductée ».
- M. Arbre moteur.

Figure 7.15 • Boîte de transfert : réalisation.

Le rapport de démultiplication total en vitesse « réduite » est donc égal à :

$$\text{rapport de BV} \times \text{rapport réducteur} \times \text{rapport de pont}$$

En utilisation, les différences possibles des vitesses des roues avant par rapport aux roues arrière imposent la présence d'un différentiel intermédiaire. Ce troisième différentiel est situé dans la boîte de transfert entre les arbres de transmission avant et arrière. Il peut être commandé manuellement ou être autobloquant.



- ① Ensemble boîte de vitesse/pont avant.
- ② Levier de commande du réducteur.
- ③ Levier de commande de la boîte de vitesses.
- ④ Levier de commande du pont arrière (4 × 4).
- ⑤ Levier de commande de blocage de différentiel sur pont arrière.
- ⑥ Arbre de transmission central.
- ⑦ Pont arrière.

Figure 7.16 • Méhari 4 × 4 (document Citroën).

### ■ Comment la transmission aux roues motrices est-elle réalisée ?

Le **moteur** est toujours **solidaire du châssis**. Les roues sont en contact avec le sol. Un mouvement relatif entre le châssis et les roues est nécessaire pour permettre la **suspension**.

Il faut donc prévoir un ou plusieurs **points d'articulation** sur la transmission entre le moteur et les roues, selon la disposition des éléments (figure 7.16, ci-dessus).

### ■ Quels sont les points d'articulation possibles de la transmission ?

Plusieurs cas sont possibles.

#### ● Moteur à l'avant, propulsion arrière :

- pont solidaire de l'essieu arrière, pont non suspendu (figure 7.17),
- pont solidaire du châssis, pont suspendu (figure 7.18).

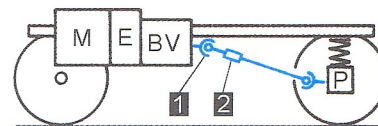


Figure 7.17 • Moteur avant propulsion AR. Pont non suspendu.

- ① Rotation sous angles variables.
- ② Liaison glissière.

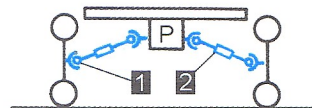


Figure 7.18 • Pont suspendu avant ou arrière.

- ① Rotation sous angles variables.
- ② Liaison glissière.

• **Tout à l'arrière.** L'ensemble moteur-boîte-pont est nécessairement suspendu. La transmission doit permettre des débattements verticaux (voir la figure 7.18).

• **Tout à l'avant :**

- débattements verticaux (suspension) ;
- mouvements horizontaux (braquage des roues).

■ Quelles sont les conditions à remplir par les arbres de transmission ?

Ils doivent permettre :

- de transmettre le mouvement de **rotation** à des **arbres non coaxiaux** (figure 7.19) ;
- une **liaison glissière** afin de compenser les différences de longueur des arbres provoquées par leurs mouvements angulaires.

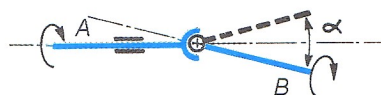
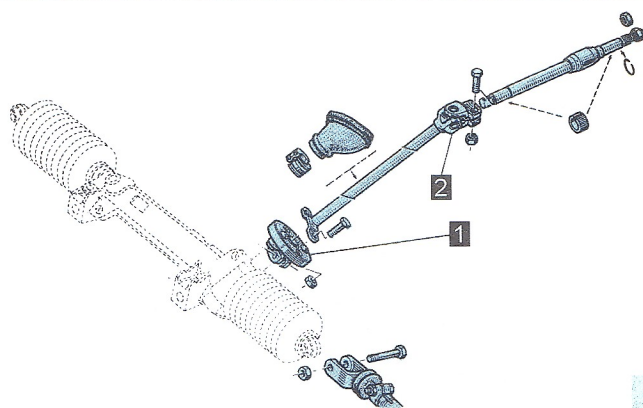


Figure 7.19 • Mouvement angulaire  $\alpha$  de B. Arbres A et B non coaxiaux.



La transmission



- ① Joint type « flector ».
- ② Joint de cardan.

Figure 7.20 • Articulation de la colonne de direction (document Renault).

■ Quelles sont les dispositions technologiques utilisées ?

On peut rencontrer pour les faibles variations angulaires (figure 7.20) :

- des joints **élastiques à déformation** (type « flector ») ;
- des **joints de cardan**.

Pour les grandes variations angulaires, des joints  **doubles**  de cardan ou homocinétiques.

■ Quel est le principe du joint de cardan ?

Les deux arbres A et B (figure 7.21) sont terminés par une fourche qui tourillonne sur un croisillon ②.

■ Quel est l'inconvénient du joint de cardan ?

Pour un mouvement  **uniforme**  de A et une position angulaire  $\alpha$  de B par rapport à A, on constate que le mouvement de B n'est pas uniforme et que ce défaut est proportionnel à la valeur de  $\alpha$ . Pour un tour, la

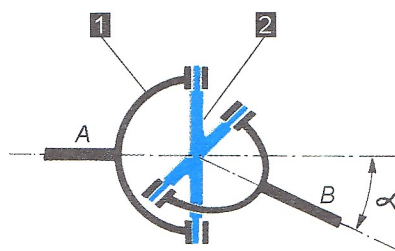


Figure 7.21 • Joint de cardan.

- ① Fourche.
- ② Croisillon.
- $\alpha$  : angle de transmission.

vitesse de *B* passe par deux maxima et deux minima (efforts de torsion).

Pour pallier cet inconvénient, on dispose deux joints de cardan dont le montage est tel que (figure 7.22) :

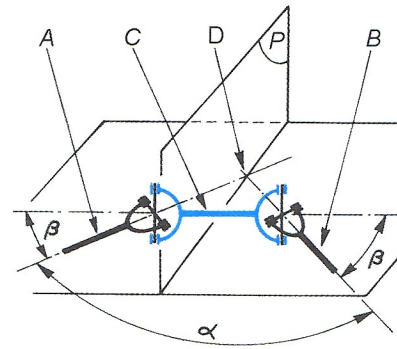
- les fourches de *A* et *B* sont dans le même plan ;
- l'arbre intermédiaire *C* fait travailler chaque cardan sous un angle  $\beta$  égal à la **moitié** de l'angle formé par *A* et *B* ;
- la position symétrique des deux cardans fait que les défauts engendrés par l'un sont annulés par des défauts opposés de l'autre. *A* et *B* ont un **mouvement uniforme**.

### ■ Qu'appelle-t-on joint homocinétique ?

Un joint homocinétique est un **joint double** de cardan dont l'arbre intermédiaire est réduit à son strict minimum. Les deux joints sont réunis dans un seul élément.

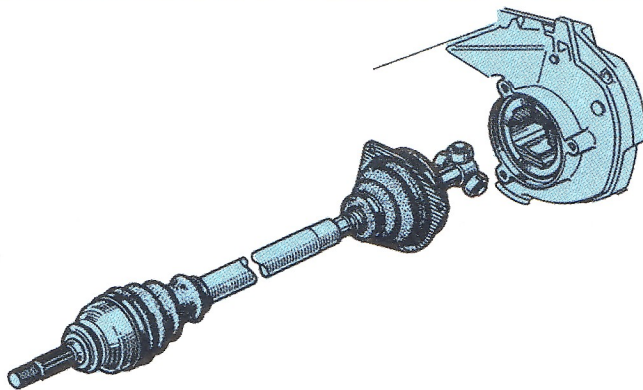
Le joint homocinétique peut être :

- à double croisillon,
- à croisillon à trois branches sur glissière (tripode ; figure 7.23).



**Figure 7.22** • Joint double de cardan ou homocinétique.

**A et B.** Arbres de transmission.  
**C.** Arbre intermédiaire.  
**D.** Intersection des axes *A* et *B*.  
**P.** Plan de symétrie.  
 $\alpha$  : angle formé par *A* et *B*.  
 $\beta = \frac{\alpha}{2}$



**Figure 7.23** • Joint de transmission homocinétique tripode (document Renault).

## Mémo

### ● Différentiel

Les roues motrices doivent pouvoir tourner à des vitesses différentes en cas de : virage, sous-gonflage, différence de diamètre des roues, charge mal répartie, inégalités du sol.

Le différentiel permet aux deux roues motrices d'un même essieu de tourner à des vitesses différentes en conservant une répartition de l'effort à chaque roue.

Le différentiel comprend :

- un boîtier lié en tous sens à la couronne du couple démultiplicateur ;
- un porte-satellites, solidaire du boîtier et tournant avec lui ;
- deux satellites montés fous sur l'axe porte-satellites dont les dentures permettent l'entraînement des planétaires ;
- deux planétaires, solidaires chacun d'un arbre de roue et tournant dans les paliers du boîtier.

Grâce à ce mécanisme, lorsqu'une roue fait un tour de plus que le boîtier, l'autre fait un tour de moins.

### ● Blocage du différentiel

Lorsqu'une des roues manque d'adhérence, elle patine et le véhicule reste sur place.

Le blocage du différentiel permet de solidariser un planétaire avec le boîtier de différentiel, ce qui a pour effet de bloquer le train épicycloïdal. La commande peut être manuelle ou automatique.

### ● Véhicule à quatre roues motrices

On appelle  $4 \times 4$  un véhicule dont les quatre roues sont motrices, et  $4 \times 2$  lorsque sur quatre roues, deux seulement sont motrices.

La transmission est assurée aux ponts avant et arrière par une boîte de transfert, qui permet, par une commande manuelle, d'utiliser le véhicule en  $4 \times 2$  ou en  $4 \times 4$ . Elle peut également comporter un réducteur dont le rôle est d'augmenter temporairement le couple appliqué aux quatre roues pour le franchissement de fortes pentes.

### ● Joints de transmission

La transmission sous des angles variables peut être assurée par :

- des joints élastiques à déformation,
- des joints simples de cardan,
- des joints homocinétiques.

Un joint homocinétique est un joint double de cardan dont l'arbre intermédiaire a été réduit afin que les deux joints soient réunis en un seul élément et dont les vitesses des arbres d'entrée et de sortie sont uniformes.

1

La transmission

## Testez vos connaissances

1. Dans un virage, les roues intérieures au virage tournent, par rapport aux roues extérieures :

- a. plus vite  
 b. moins vite  
 c. à la même vitesse

2. Dans un véhicule à moteur transversal, le pont est constitué d'un :

- a. engrenage simple  
 b. train épicycloïdal  
 c. couple conique

3. Dans un véhicule à moteur longitudinal, le pont est constitué d'un :

- a. engrenage simple  
 b. train épicycloïdal  
 c. couple conique

## Testez vos connaissances

4. Avec un pont classique, si une roue motrice patine, le véhicule :
- a. reste sur place
  - b. avance plus lentement
  - c. avance normalement
5. Avec un pont autobloquant, si une roue motrice manque d'adhérence, le véhicule :
- a. reste sur place
  - b. avance plus lentement
  - c. avance normalement

## Pour aller plus loin

1. Le fait que, sur certains véhicules, le pont soit décalé par rapport à l'axe de symétrie du véhicule a-t-il une influence sur le comportement du différentiel ?
2. Effectuez une recherche sur un type de véhicule à quatre roues motrices. Donnez toutes les caractéristiques et effectuez tous les schémas nécessaires à la compréhension et à l'utilisation de la transmission. Justifiez les solutions retenues en ce qui concerne les joints de transmission.

## Maintenance

Sur le plan pratique, il est nécessaire d'étudier la fiche de niveau 1 suivante du manuel de *Maintenance automobile : le savoir-faire* :

- Fiche n° 17 - Remplacer une transmission.

## Le freinage

### 8

#### Le freinage : généralités

##### ■ Comment un véhicule atteint-il la vitesse désirée ?

La mise en mouvement d'un véhicule arrêté est obtenue grâce à l'action de la **force motrice** ( $\vec{F}_m$ ).

Le passage de la vitesse  $v_0$  à la vitesse  $v_1$  en un temps donné nécessite une **accélération**.

L'accélération est la quantité de vitesse gagnée en une seconde.

##### Exemple

Un véhicule partant de la vitesse  $v = 0$ , atteint la vitesse de 72 km/h (20 m/s) en 10 secondes (figure 8.1).

Si nous supposons que l'accélération est constante, on observe que le véhicule doit **gagner 2 m/s par seconde** (2 m/s/s).

L'accélération est donc de 2 m/s<sup>2</sup>. La distance (L) parcourue pendant ces 10 secondes peut se calculer en considérant la vitesse moyenne entre 0 et 20 m/s :

$$v_m = \frac{0 + 20}{2} = 10 \text{ m/s}$$

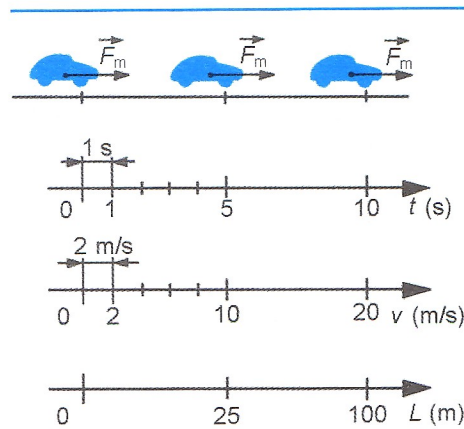
$$L = v_m t = 10 \times 10 = 100 \text{ m}$$

Lorsque le véhicule se déplace à vitesse constante, il y a **équilibre** entre la force motrice et les forces résistantes (figure 8.2) qui sont :

- la résistance au roulement des pneumatiques,
- les résistances mécaniques internes,
- la résistance de l'air agissant sur la surface frontale du véhicule (elle augmente avec le carré de la vitesse),
- l'effet de pente (pesanteur) en montée.

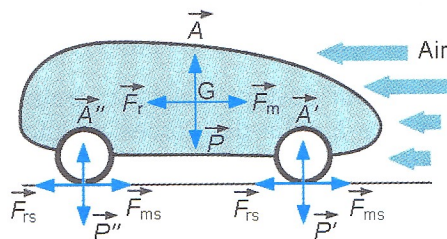
##### Remarque

En descente, cette force devient motrice et s'ajoute à  $F_m$ .



**Figure 8.1** • Vitesse et accélération.

Pour atteindre une vitesse de 20 m/s en 10 secondes, il faut réaliser une accélération de 2 m/s<sup>2</sup> à chaque seconde.



**Figure 8.2** • Équilibre des forces appliquées à un véhicule en mouvement uniforme.

- $\vec{F}_m$  : force motrice.
- $\vec{F}_r$  : somme des forces résistantes ramenées au centre de gravité.
- $\vec{P}$  : poids du véhicule ( $mg$ ).
- $\vec{A}$  : action du sol et de la portance.

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

Un véhicule en mouvement possède une **énergie cinétique** :

$$E_c = \frac{1}{2} Mv^2$$

Cette énergie est proportionnelle (figure 8.3) :

- à la masse du véhicule ( $M$ ),
- au carré de la vitesse ( $v^2$ ).

**Exemple**

Un véhicule de masse  $M = 1\,000\text{ kg}$  roulant à  $72\text{ km/h}$  ( $20\text{ m/s}$ ) a une énergie cinétique  $E_c$  égale à :

$$E_c = \frac{1\,000 \times 20 \times 20}{2} = 200\,000\text{ J ou } 200\text{ kJ.}$$

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

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

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

**Exemple**

Dans l'exemple ci-dessus, l'énergie cinétique représenterait une production d'énergie calorifique de :

$$\frac{200\,000}{4,18} = 47\,846\text{ calories, soit environ } 47\text{ kcal.}$$

Pratiquement, la suppression de la force motrice (accélérateur lâché) rompt l'équilibre entre  $\vec{F}_m$  et  $\vec{F}_r$  (figure 8.4).

- En accélération :  $F_m > F_r$ .
- À vitesse constante :  $F_m = F_r$ .
- Accélérateur lâché (en palier) :  $F_m < F_r$ .

Le moteur devient résistant : **frein moteur**. Son effet s'ajoute à celui des forces résistantes définies plus haut.

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.

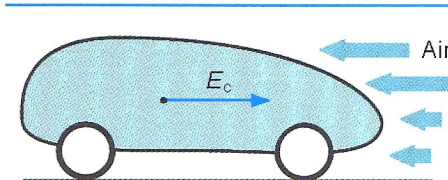


Figure 8.3 • Dans un véhicule en mouvement :

$$E_c = \frac{1}{2} Mv^2$$

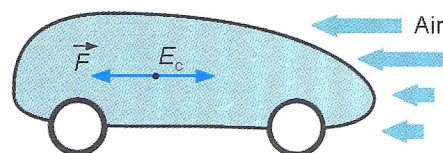


Figure 8.4 • La force motrice ( $\vec{F}_m$ ) est supprimée, la force résistante diminue la vitesse du véhicule : l'énergie cinétique diminue.

### ■ Comment l'arrêt d'urgence est-il réalisé ?

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 (effort retardateur) 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 (figure 8.5) :

- l'une est solidaire d'un élément tournant avec les roues,
- l'autre d'un élément fixe au châssis.

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

- les freins à **disque** (figure 8.6),
- les freins à **tambour** (figure 8.7).

### ■ Quels sont les éléments constitutifs d'un frein à tambour (figure 8.7) ?

La partie fixe se compose d'un plateau **1** appelé flasque et de segments garnis (**3** et **4**).

L'écartement des segments peut être actionné par :

- une came commandée par un câble (deux roues),
- un cylindre pneumatique commandé par de l'air comprimé (camions),
- un ou plusieurs cylindres hydrauliques commandés par un liquide sous pression (voitures de tourisme).

La partie mobile est le **tambour 5** dont l'alésage intérieur constitue la **piste de freinage**.

La forte chaleur (énergie calorifique) dégagée par le frottement des garnitures sur le tambour doit être évacuée par ce dernier.

Le tambour, réalisé en fonte, possède une assez bonne **conductibilité thermique**. Son **épaisseur importante** lui permet de résister aux déformations (ovalisation), dues à l'action des segments et de la chaleur.

### ■ Quel est le principe de fonctionnement d'un frein à tambour classique ?

La came (ou le cylindre) est actionnée par le dispositif de commande. Les segments s'écartent l'un de l'autre et entrent en contact avec le tambour.

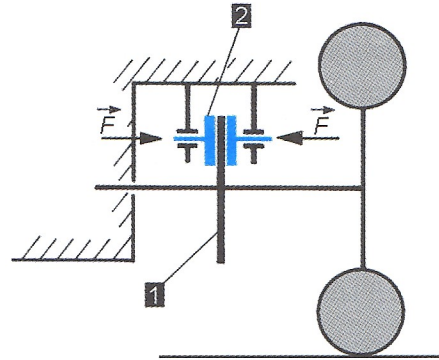


Figure 8.5 • Principe du freinage.

- 1 Élément tournant solidaire de la roue (disque ou tambour).
- 2 Élément solidaire du châssis entrant en contact avec l'élément tournant sous l'action d'une force.

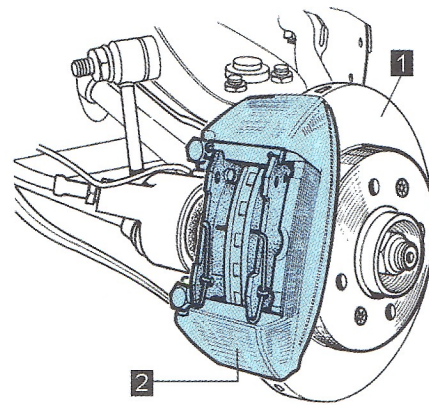


Figure 8.6 • Frein à disque (document Renault).

- 1 Élément mobile : disque.
- 2 Élément fixe : étrier et plaquettes.

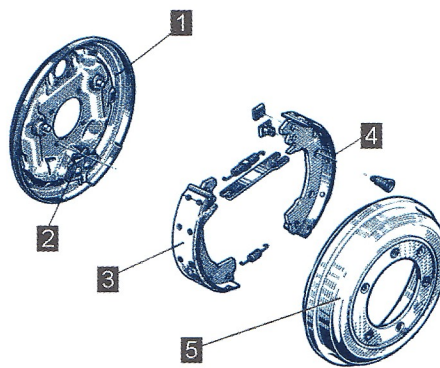


Figure 8.7 • Éléments constitutifs d'un frein à tambour classique (document Renault).

- 1 Plateau.
- 2 Point fixe.
- 3 et 4 Segments ou mâchoires.
- 5 Tambour.

2  
Le freinage

Au contact du tambour, par effet d'enroulement, les segments tendent à être entraînés et réagissent de la manière illustrée par les figures 8.8 A et B.

Donnons un sens de rotation (M).

- Centrage dans le tambour par leur mobilité verticale (frottement), sur l'appui ❶ et la commande (C).
- Le segment (P) s'arc-boute sur l'appui ❶ ce qui augmente son action de frottement sur le tambour : le segment (P) est dit **comprimé** ou **primaire** (figure 8.8A).
- Le segment (S) tend à quitter l'appui ❶, et à s'opposer à l'effort de la commande (C), ce qui diminue son action de frottement sur le tambour (figure 8.8B) : le segment (S) est dit **tendu** ou **secondaire**. L'efficacité et l'usure des deux segments sont différentes. On y remédie partiellement en utilisant une garniture plus tendre et plus courte pour le segment secondaire.

Dans tous les cas, l'**usure des garnitures** provoque une augmentation de la course des segments et, par conséquence, une **augmentation de la course** de la pédale de freins.

Il est donc nécessaire de procéder à un réglage périodique des butées de repos (excentriques), afin de ramener la course de la pédale à son minimum.

Cet inconvénient a été supprimé par le montage de freins à tambour à rattrapage automatique.

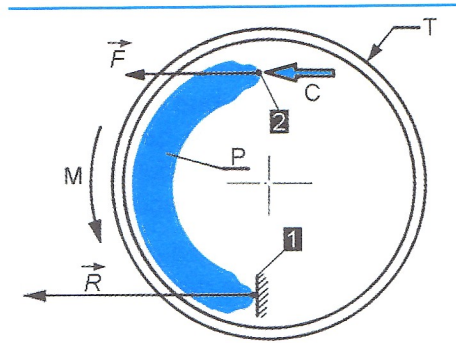


Figure 8.8A • Garniture comprimée ou primaire.

- T. Tambour.
- P. Segment primaire.
- C. Action du cylindre de commande.
- M. Sens de rotation.

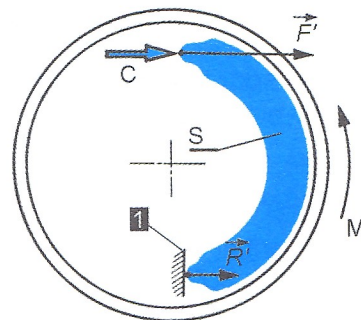


Figure 8.8B • Garniture tendue ou secondaire.

- T. Tambour.
- S. Segment secondaire.
- C. Action du cylindre de commande.
- M. Sens de rotation.

■ Quels sont les éléments constitutifs d'un frein à tambour à rattrapage automatique ?

Nous prendrons l'exemple d'un frein Bendix (figures 8.9A et B). Le segment primaire ③ comporte, articulé à ses extrémités :

- côté cylindre de roue, un levier d'ajustement cranté ④ percé d'une fenêtre à hauteur de la biellette ② ;
- côté point d'appui, un loquet cranté ⑤ dont les dents sont maintenues en contact avec celles du levier d'ajustement, sous l'action d'un ressort ⑥.

Côté **segment primaire**, la biellette ② est accrochée dans la fenêtre du levier d'ajustement et en appui sur le bossage de celui-ci, au repos.

Côté **segment secondaire** ⑬, la biellette est accrochée au segment par l'intermédiaire d'un ressort ⑩ et est en appui sur le levier de frein à main ⑪, lui-même en butée sur l'âme du segment ⑬.

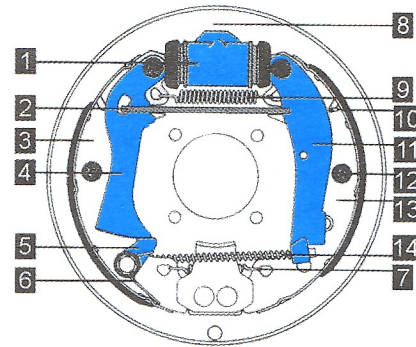


Figure 8.9A • Éléments constitutifs d'un frein à tambour à rattrapage automatique (document DBA Bendix).

- ① Cylindre de roue.
- ② Biellette.
- ③ Mâchoire primaire.
- ④ Levier d'ajustement.
- ⑤ Loquet de réglage.
- ⑥ Ressort de loquet.
- ⑦ Ressort de maintien.
- ⑧ Plateau.
- ⑨ Ressort de rappel.
- ⑩ Ressort de maintien de la biellette de frein à main.
- ⑪ Levier de frein à main.
- ⑫ Ressort d'ancrage.
- ⑬ Segment secondaire.
- ⑭ Câble de frein à main.

2

Le freinage

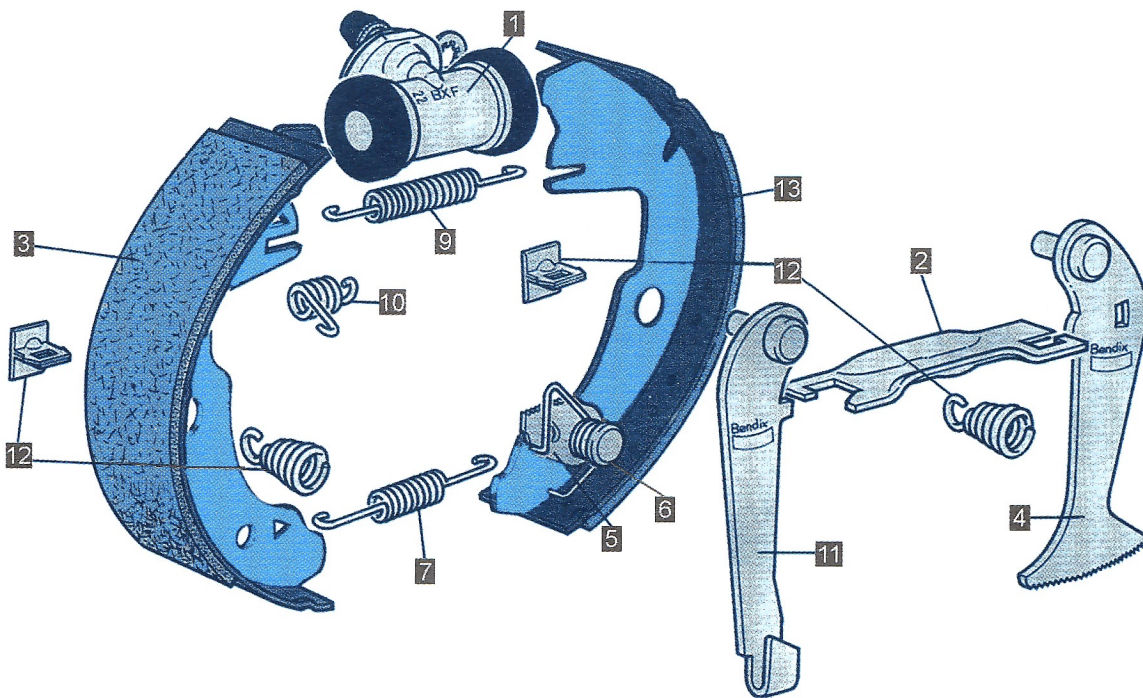


Figure 8.9B • Frein à tambour à rattrapage automatique (document DBA Bendix).

### ■ Fonctionnement du rattrapage automatique.

Sous l'effet de la pression hydraulique, les deux pistons opposés du cylindre de roue ❶ s'éloignent l'un de l'autre, entraînant les segments.

Dans un premier temps, on rattrape le jeu de fonctionnement ( $J$ ) défini par le crochet de la biellette ❷ et le levier d'ajustement ❸.

Ensuite, le levier pivote sur son axe en s'éloignant du segment sur lequel il est articulé. Si l'usure des garnitures est suffisante, le loquet de verrouillage ❹ laisse échapper une dent par rapport au levier d'ajustement.

### ■ Fonctionnement du frein à main.

L'effort appliqué par le câble à l'extrémité du levier de frein à main ❶ fait pivoter celui-ci sur son axe, communiquant l'effort à la biellette ❷ et au levier d'ajustement ❸ qui prend appui sur son point d'articulation, côté cylindre de roue et sur le loquet ❹ par la denture verrouillant le mécanisme de réglage automatique.

Les segments primaire et secondaire se déplacent jusqu'au contact des garnitures sur le tambour.

### ■ Quels sont les inconvénients des freins à tambour ?

Bien que d'une bonne efficacité, les freins à tambour présentent plusieurs inconvénients :

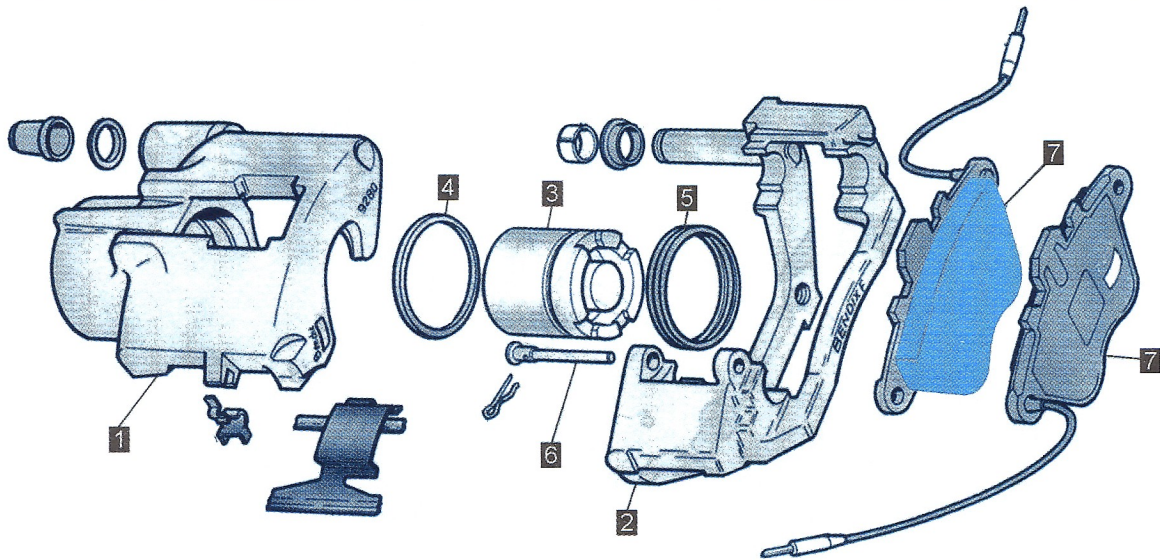
- masse relativement importante (masse non suspendue);
- **mauvaise évacuation de la chaleur**, d'où :
  - risque de déformation des tambours par dilatation (ovalisation),
  - mauvaise stabilité du freinage (différent à chaud et à froid).

Les freins à disque, associés à une commande assistée (servofrein), permettent de remédier à ces défauts.

■ Quels sont les différents types de freins à disque ?

Ils sont de deux types :

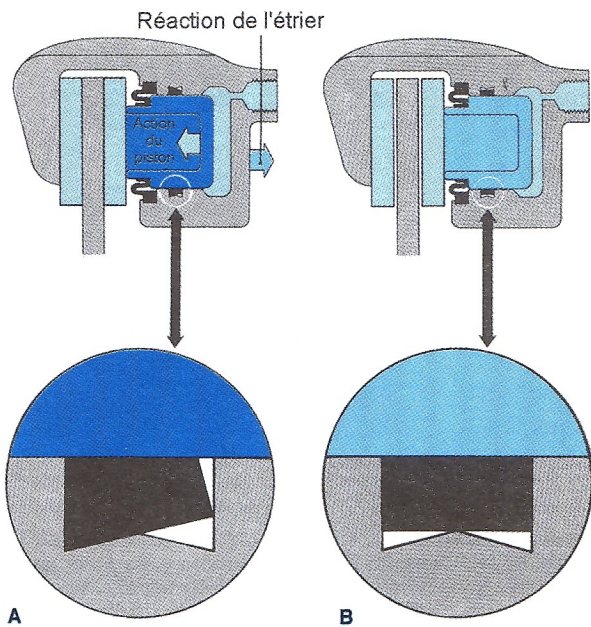
- à étrier coulissant (figures 8.10 et 8.11) ;
- à étrier fixe (figures 8.12 et 8.13).



2  
Le freinage

- ① Étrier.
- ② Chape avec colonnette.
- ③ Piston.
- ④ Joint de piston.
- ⑤ Capuchon de piston.
- ⑥ Axe de verrouillage.
- ⑦ Plaquettes.

Figure 8.10 • Frein à disque à étrier coulissant.



- A. Freinage.
- B. Défreinage.

Figure 8.11 • Frein à disque à étrier coulissant.

■ Quel est le fonctionnement des freins à étrier coulissant ?

Lorsqu'on établit la pression dans le circuit hydraulique (freinage), celle-ci agit, d'une part, sur le piston qui applique son patin sur le disque et, d'autre part, sur le fond de l'alésage du cylindre.

L'étrier se déplace axialement et applique le deuxième patin sur le disque.

Le joint caoutchouc de section carrée, monté dans une gorge trapézoïdale (ou en forme de M), est serré sur le piston et assure l'**étanchéité** (figure 8.11A). Lors du déplacement du piston, le joint se déforme (figure 8.11B). Lorsque la pression hydraulique chute, le joint, en reprenant sa forme initiale, rappelle le piston.

Si pour obtenir le freinage désiré, la course du piston est supérieure au jeu de déformation du joint d'étanchéité, le piston coulisse sur le joint déformé. Au défreinage, le joint ne rappellera le piston que de son jeu de déformation. Il y a donc un **rattrapage automatique**. La plaquette côté piston est libérée par le recul de celui-ci, l'autre est repoussée par le voile du disque, l'ensemble frein se recentre automatiquement.

■ Quels sont les éléments constitutifs des freins à étrier fixe (figures 8.12 et 8.13) ?

Les freins à étrier fixe sont moins répandus sur les véhicules de tourisme de gamme moyenne, car ils ont un encombrement supérieur aux freins coulissants, par contre, ils permettent un excellent défreinage.

Le frein est composé de deux demi-coquilles en fonte assemblées par des vis. La liaison hydraulique entre les deux demi-coquilles comportant chacune un piston est assurée par un canal intérieur. Le frein est **directement fixé sur le porte-moyeu**.

■ Quel est le principe de fonctionnement des freins à étrier fixe (figures 8.13A et B) ?

Sous l'action de la pression hydraulique, les deux pistons appliquent simultanément leurs plaquettes sur le disque. Comme pour le frein coulissant, ce sont les joints caoutchouc qui assurent le rappel des pistons au défreinage, et le rattrapage automatique d'usure.

■ Quels sont les avantages des freins à disque ?

Les freins à disque :

- permettent une **bonne évacuation de la chaleur** ;
- supportent les sollicitations intensives ;

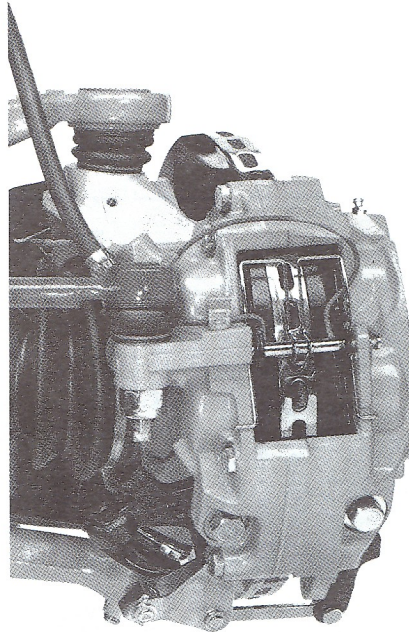


Figure 8.12 • Frein à étrier fixe (photo Jeanbor © Photeb).

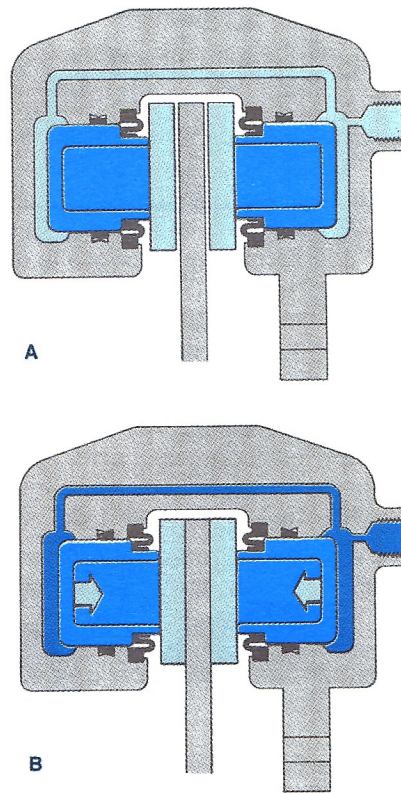


Figure 8.13 • Frein à étrier fixe (document DBA Bendix).

- A. Au repos.
- B. En cours de freinage.

– **conservent leur efficacité** malgré la chaleur et la dilatation du disque.

### ■ Quels sont les matériaux constituant les garnitures de frein ?

Les garnitures de frein sont conçues dans un **matériau de friction** capable de réaliser le frottement avec les parties tournantes (disque ou tambour). Les coefficients de frottement des garnitures se situent entre 0,25 et 0,50. Toutes les garnitures ne sont donc pas identiques.

### ■ Quelles sont les qualités demandées aux garnitures de frein ?

Lors du freinage, les parties frottantes sont soumises à des **efforts et à des températures élevées**, cette dernière pouvant atteindre 600 à 700 °C.

La principale qualité d'une garniture de frein sera donc de présenter un **coefficient de frottement constant**, indépendant de la vitesse, de la pression et de la température.

La diminution d'efficacité en température d'une garniture s'appelle le « *fading* » ou évanouissement, et peut se traduire par une perte presque totale de freinage d'un demi-train.

Les garnitures de frein doivent, de plus, présenter des caractéristiques de :

- résistance convenable à l'usure ;
- non-agressivité vis-à-vis des pistes de frottement ;
- absence de bruit ou de broutement.

Les plaquettes de freins à disque (figure 8.14) doivent également récupérer rapidement leur coefficient de frottement après mouillage.

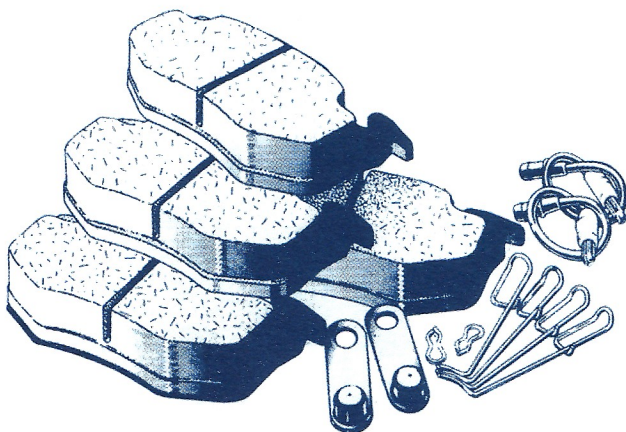


Figure 8.14 • Plaquettes de freins à disque.

■ Qu'est-ce que le couple de freinage (figure 8.15) ?

Le dispositif de freinage réalise un couple de freinage ( $\mathcal{C} = Fr$ ), dont la valeur est proportionnelle :

- à la force avec laquelle la garniture appuie sur la piste de freinage ( $F$ ),  $F$  étant elle-même proportionnelle à la force communiquée à la plaquette ( $T$ ) et au coefficient de frottement ( $f$ ) de la garniture ;
- au rayon intérieur du tambour ou au rayon moyen de la piste de freinage du disque ( $r$ ).

Le couple de freinage produit sur la roue un effort retardateur appelé **trainée**.

Dans un freinage normal, dès que les éléments frottants entrent en contact, l'effort retardateur **apparaît** puis **augmente** jusqu'à une valeur qui demeure sensiblement **constante** jusqu'à l'arrêt du véhicule.

L'effort retardateur provoque une diminution progressive et constante de la vitesse, c'est la **décélération**.

■ De quels facteurs l'effort de freinage à appliquer à chaque roue dépend-il ?

L'effort à appliquer à chaque roue devra être adapté aux possibilités d'adhérence avec le sol.

La force d'adhérence est fonction ( $\vec{A} = c\vec{P}$ ) :

- du **coefficient d'adhérence** ( $c$ ) des pneus sur le sol (figure 8.16) ;
- du **poids** ( $\vec{P} = M\vec{g}$ ) appliqué à chaque roue.

■ Quelle doit être la valeur de la décélération ?

La décélération est l'inverse de l'accélération, soit la quantité de vitesse perdue dans une seconde.

**Exemple**

Dans l'exemple choisi plus haut (page 71), si le conducteur dispose d'une distance d'arrêt  $L = 100$  mètres, celui-ci devra doser son effort de manière à s'arrêter dans cette distance.

Le véhicule réalisera une décélération (figure 8.17) :

$$\gamma = 2 \text{ m/s}^2$$

■ Quelle est la valeur de la décélération maximale ?

La décélération d'un véhicule se calcule par la formule :

$$\gamma = gc$$

dans laquelle :

- $g$  est l'accélération de la pesanteur ( $9,81 \text{ m/s}^2$ ) ;
- $c$  est le coefficient d'adhérence globale des pneumatiques sur le sol (inférieur à l'unité).

La décélération **ne peut** donc être **supérieure** à :

$$\gamma = 9,81 \times 1 = \mathbf{9,81 \text{ m/s}^2}$$

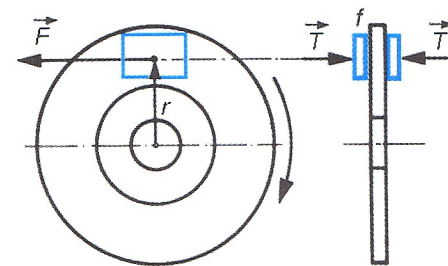


Figure 8.15 • Couple de freinage :  $\mathcal{C} = Fr$  (avec  $F = Tf$ ).

Éléments en contact	Coefficient d'adhérence (c)
Pneumatiques en bon état sur :	
• revêtement rugueux et sec	0,9
• sol mouillé	0,5
• neige tassée	0,3
• verglas	0,1

Figure 8.16 • Valeurs moyennes du coefficient d'adhérence pneus/sol.

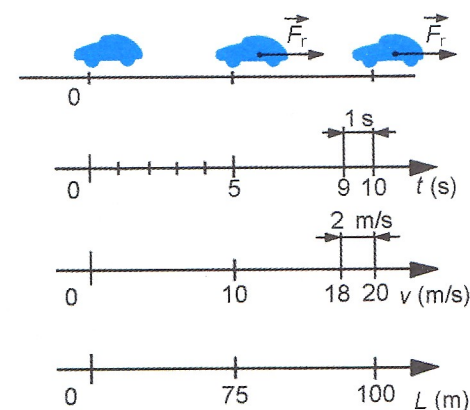


Figure 8.17 • Décélération. Le véhicule perd  $2 \text{ m/s}^2$ .

### ■ Quelles sont les valeurs de décélération courantes ?

Des essais ont montré que la décélération maximale possible, en freinage d'urgence, sur une route moderne, sèche, avec des pneumatiques et des freins en bon état, est rarement supérieure à **6 m/s<sup>2</sup>**.

#### Remarque

Le blocage des freins doit être évité car :

- la valeur de la décélération **diminue** (par passage de l'adhérence au glissement) ;
- le véhicule devient **impossible à diriger**.

### ■ Quelles sont les distances d'arrêt à prévoir ?

La distance parcourue pendant le freinage effectif est égale à :

$$L = \frac{v^2}{2gc} = \frac{v^2}{2\gamma}$$

On observe donc que la **distance parcourue** pendant le temps de freinage effectif augmente avec le carré de la vitesse.

#### Exemple

Si  $v_1 = 72 \text{ km/h} = 20 \text{ m/s}$  et  $\gamma = 6 \text{ m/s}^2$ , on a :

$$L_1 = \frac{20 \times 20}{2 \times 6} = 33,33 \text{ m}$$

Si la vitesse est doublée ( $v_2 = 144 \text{ km/h} = 40 \text{ m/s}$ ), pour une même décélération on obtient :

$$L_2 = \frac{40 \times 40}{2 \times 6} = 133,33 \text{ m}$$

#### Remarque

Dans le cas particulier (voir exemple précédent) où la **vitesse est doublée**, la loi générale vue précédemment entraîne donc que la **distance d'arrêt est quadruplée** ( $2^2 = 4$ ).

### ■ Comment évalue-t-on la distance effective d'arrêt ?

On doit tenir compte, dans la distance d'arrêt, de la distance parcourue pendant :

- le **freinage effectif**,
- le **temps de réaction du conducteur**,
- le **temps de réponse des freins**.

Le temps de réaction du conducteur se décompose ainsi :

- perception du danger,
- commande des membres par le cerveau,
- passage de la pédale d'accélérateur à celle des freins.

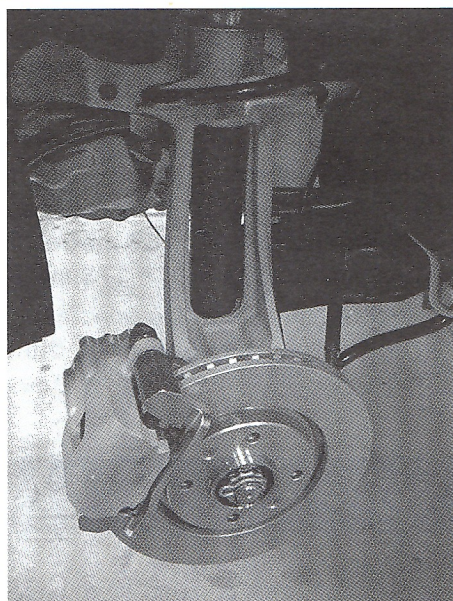


Figure 8.18 • Frein à disque en composite, à matrice métallique (document PSA Peugeot Citroën).

2

Le freinage

Pour un conducteur qui possède des réflexes normaux et un circuit de freinage en bon état, ce temps peut être estimé entre 75 centièmes de seconde et 1 seconde :

- à 72 km/h, en 1 seconde on parcourt 20 mètres,
- à 144 km/h, en 1 seconde on parcourt 40 mètres.

La **distance effective d'arrêt** peut donc être évaluée (pour un temps de réaction d'une seconde) :

- à **72 km/h** :  $33 + 20 = 53$  mètres,
- à **144 km/h** :  $133 + 40 = 173$  mètres.

Si le sol est mouillé et les pneumatiques dans un état moyen, la décélération peut diminuer de moitié ( $3 \text{ m/s}^2$ ). La distance effective d'arrêt, dans ce cas, sera pratiquement doublée.

## Mémo

### ● Raison du freinage

Un véhicule en mouvement possède une énergie cinétique  $E_c = \frac{Mv^2}{2}$ .

Le freinage permet sa dissipation par frottement (énergie calorifique).

### ● Différents modes de freinage

Le simple ralentissement est réalisé par les efforts résistants :

- résistance de l'air ;
- résistance au roulement, au frottement ;
- frein moteur.

Le freinage précis sur une distance donnée nécessite l'action complémentaire d'un dispositif de freinage.

### ● Réalisation du freinage

Le freinage est réalisé par la mise en contact d'un élément mobile tournant avec la roue et d'un élément fixe au châssis.

Les dispositifs de freinage sont :

- les freins à tambour,
- les freins à disque.

### ● Éléments constitutifs et fonctionnement d'un frein à tambour

Un frein à tambour comprend : un plateau, deux segments maintenus et rappelés par des ressorts, un élément de commande (cylindre de roue), un tambour. Lorsque le cylindre de roue reçoit une pression hydraulique, les segments s'écartent l'un de l'autre et entrent en contact avec le tambour.

La garniture qui se trouve en avant du frein dans le sens de la marche du véhicule est appelée primaire ou comprimée, l'autre, secondaire ou tendue. Elles peuvent comporter un système de réglage manuel ou automatique.

### ● Différents types de freins à disque

- Étrier fixe.
- Étrier flottant.

### ● Éléments constitutifs et fonctionnement d'un frein à disque à étrier flottant

Un étrier monobloc coulisse à l'intérieur d'une chape fixe, il est plaqué par deux clavettes maintenues par des ressorts. Au freinage, la pression hydraulique agit :

- sur le piston qui pousse la première plaquette contre le disque ;
- sur le fond de l'alésage du cylindre ; l'étrier se déplace axialement et appuie la seconde plaquette contre le disque.

Le rattrapage automatique est assuré par la distorsion du joint de piston.

## Mémo (suite)

### ● Freins à disque à étrier fixe

L'étrier est composé de deux demi-coquilles assemblées comportant chacune un piston. Le frein est directement fixé au porte-moyeu.

Les deux pistons se déplacent simultanément sous l'action de la pression hydraulique et appliquent chacun une plaquette.

Le rattrapage automatique est assuré par la distorsion des joints des deux pistons.

### ● Garniture de frein

Les garnitures sont réalisées dans un matériau de friction assurant un coefficient de frottement de 0,25 à 0,50. Les garnitures doivent :

- conserver leur coefficient de frottement indépendamment de la vitesse, de la pression et de la température ;
- résister à l'usure mais ne pas attaquer la piste de frottement.

### ● Couple de freinage

Il est défini par la formule  $\mathcal{C} = Fr$  avec :

- $\vec{F}$  force de frottement de la garniture sur le disque ou le tambour ( $F = Tf$ ) ;
- $r$  rayon intérieur du tambour ou rayon moyen du disque.

### ● Distance d'arrêt

La distance d'arrêt d'un véhicule est évaluée en fonction :

- du temps de réponse du conducteur (réflexes) ;
- du temps de réponse des freins ;
- de la vitesse du véhicule ( $v$  en mètres par seconde) ;
- de la décélération possible ( $\gamma$  en mètres par seconde).

La distance parcourue pendant le freinage effectif est  $D = \frac{v^2}{2gc}$  soit  $\frac{v^2}{2\gamma}$

Elle augmente avec le carré de la vitesse.

2

Le freinage

## Testez vos connaissances

1. Le système de freinage transforme l'énergie cinétique acquise en :

- a. énergie mécanique  
 b. énergie hydraulique  
 c. énergie thermique

2. On appelle frein moteur :

- a. la résistance de l'air  
 b. les temps résistants du moteur  
 c. le temps moteur

3. Dans un frein à tambour, la garniture qui se trouve en avant dans le sens de la marche du véhicule est appelée (2 réponses) :

- a. comprimée  
 b. tendue  
 c. primaire  d. secondaire

4. Si le constructeur veut augmenter le couple de freinage d'un véhicule, il doit augmenter :

- a. le diamètre des disques  
 b. la surface des plaquettes  
 c. l'épaisseur des plaquettes

5. Calculer la distance d'arrêt d'un véhicule roulant à 108 km/h sur sol mouillé (décélération  $gc = 3$  m/s) :

- a. 50 m  
 b. 100 m  
 c. 150 m

## Pour aller plus loin

1. Relevez, pour le véhicule de votre choix, les caractéristiques détaillées des freins, sans tenir compte des dispositifs de commande.
2. Quels sont les moyens dont dispose le constructeur pour augmenter le couple de freinage ?
3. Calculez la distance d'arrêt d'un véhicule roulant à une vitesse de 108 km/h et freinant avec une décélération constante de  $4 \text{ m/s}^2$ .

## Maintenance

Sur le plan pratique, il est nécessaire d'étudier les 2 fiches de niveau 1 suivantes du manuel de *Maintenance automobile : le savoir-faire* :

- Fiche n° 20 - Remplacer les plaquettes de frein ;
- Fiche n° 21 - Remplacer les mâchoires de frein.

## 9

## Les systèmes de commande du freinage

### ■ Comment les freins sont-ils actionnés ?

Dans une installation de freinage, il faut distinguer :

- le dispositif de **freinage**, avec les freins à disque et à tambour (figure 9.1A) ;
- le dispositif de **commande** qui comprend tous les éléments permettant au conducteur d'actionner le dispositif de freinage (figure 9.1B).

### ■ Quelles sont les conditions à remplir par le dispositif de commande ?

Le dispositif de commande doit :

- avoir 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, quels que soient l'orientation et les mouvements relatifs des roues par rapport au châssis,
  - convenablement sur chacun des **essieux** en fonction de la charge supportée par chacun d'eux ;
- arrêter le véhicule, malgré la défaillance d'un des éléments du circuit.

### ■ Quels sont les systèmes de commande les plus couramment utilisés ?

La commande peut être réalisée :

- **mécaniquement**, par tringles rigides, câbles souples (libres ou sous gaine) ;
- **hydrauliquement**, par action d'un liquide sous pression ;
- **pneumatiquement**, par action de l'air sous pression ou en dépression.

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.

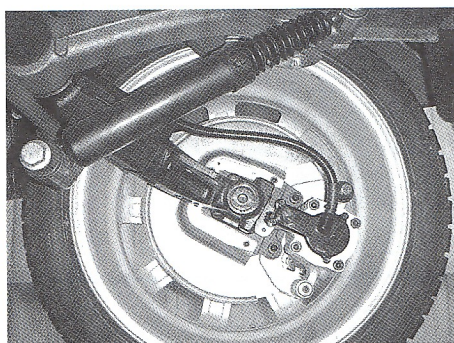


Figure 9.1A • Dispositif de freinage : frein à disque (document PSA Peugeot Citroën).



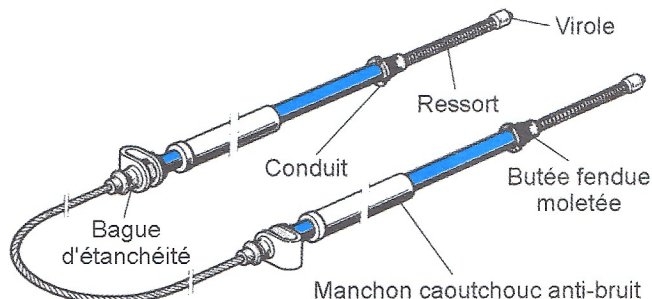
Figure 9.1B • Dispositif de commande : pédale et frein à main (document PSA Peugeot Citroën).

2

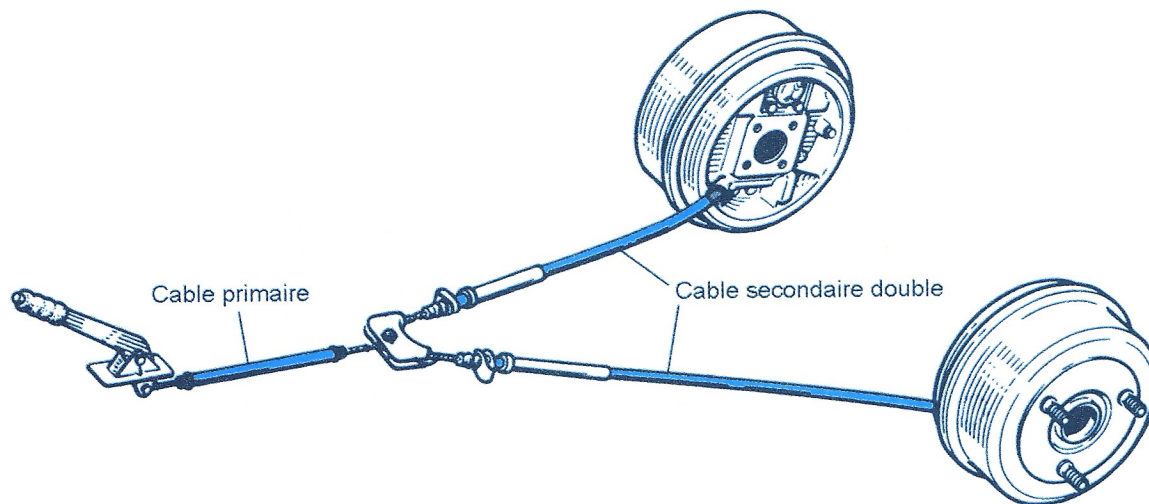
Le freinage

En véhicules particuliers, on utilise en général :

- une commande **mécanique** pour le frein de secours et de stationnement, appelé plus couramment « frein à main » (figures 9.2A et B) ;
- une commande hydraulique pour le circuit de freinage principal.



**Figure 9.2A** • Constitution d'un câble sous gaine. Câble secondaire de frein à main (document DBA Bendix).



**Figure 9.2B** • Commande mécanique du frein de secours à action sur les freins à tambour (document DBA Bendix).

### ■ Comment le frein de secours est-il réalisé ?

Le frein de secours et de stationnement, qui n'agit que sur un essieu, doit permettre :

- l'**arrêt** du véhicule en cas de défaillance du circuit principal (dans ce cas, la distance d'arrêt est au moins doublée) ;
- l'**immobilisation** permanente de celui-ci.

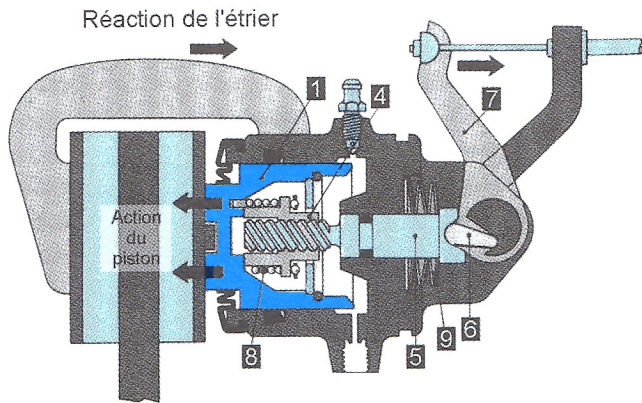
La commande de frein de secours comprend :

- un levier verrouillable, situé dans l'habitacle à portée de la main du conducteur et du passager ;
- un réseau de câbles libres ou gainés ;

– un mécanisme, commun ou indépendant du dispositif de freinage principal, qui permet la mise en action des garnitures sur leur piste de frottement.

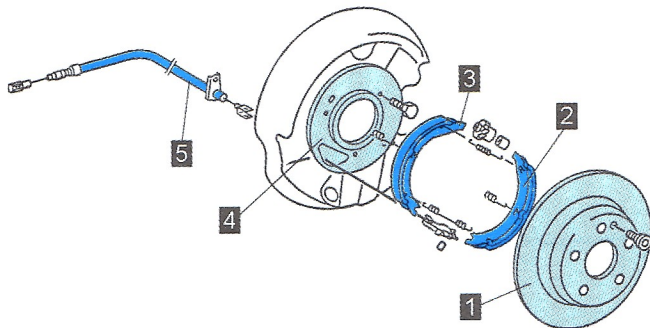
Le mécanisme de frein de secours peut :

- être incorporé dans le frein à tambour (→ Leçon 8) ;
- être incorporé dans les étriers (figure 9.3) ;
- comporter des étriers indépendants ayant leur propre jeu de plaquettes ;
- se présenter sous la forme de petits freins à tambour incorporés dans le déport des disques (figure 9.4).



- ① Piston.
- ④ Écrou.
- ⑤ Axe.
- ⑥ Poussoir.
- ⑦ Levier.
- ⑧ Ressort.
- ⑨ Rondelle élastique.

**Figure 9.3** • Mécanisme de frein de secours incorporé dans l'étrier de frein à disque (document DBA Bendix).



- ① Disque de frein avec tambour intérieur.
- ② et ③ Mâchoires de frein de secours.
- ④ Flasque.
- ⑤ Câble de commande.

**Figure 9.4** • Frein de secours à mâchoires indépendantes.

### ■ La commande mécanique est-elle satisfaisante pour le frein de secours ?

La commande mécanique est bien adaptée au frein de secours car elle :

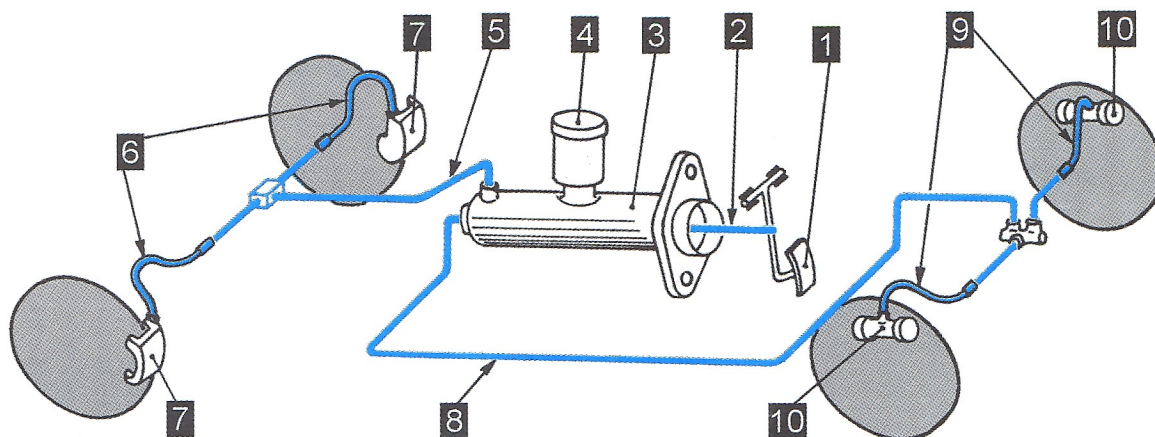
- est indépendante du système de commande de freinage principal ;
- conserve toute son efficacité durant une action prolongée en stationnement.

### ■ Quels sont les inconvénients des commandes mécaniques ?

La commande mécanique, valable pour un frein de secours agissant sur deux roues et fonctionnant peu, ne peut être utilisée pour le dispositif de freinage principal pour les raisons ci-dessous.

- **Mauvaise répartition** du freinage :
  - aux deux roues du même essieu ;
  - des roues avant par rapport aux roues arrière.
- **Mauvaise stabilité** du freinage lors :
  - des débattements de suspension ;
  - du braquage des roues ;
  - nécessité d'un maximum de liaisons rectilignes.
- **Mauvais rendement** (pertes d'énergie par frottement dans les gaines).
- Risques de **grippage** (défreinage retardé).
- **Usure** par distension.
- **Rupture** des brins du câble en usage intensif.

### ■ Quels sont les éléments constitutifs d'une commande hydraulique (figure 9.5) ?



- 1 Pédale de freins.
- 2 Tige de poussée.
- 3 Émetteur ou maître-cylindre.
- 4 Réservoir.
- 5 Canalisation de freins avant.
- 6 Flexibles de freins avant.
- 7 Étriers de freins à disque comportant chacun un cylindre récepteur.
- 8 Canalisation de frein arrière.
- 9 Flexibles de frein arrière.
- 10 Cylindres récepteurs pour frein à tambour (cylindre de roue).

Figure 9.5 • Commande hydraulique élémentaire des freins.

Une commande hydraulique élémentaire comprend :

- un **réservoir** de liquide ④, à la pression atmosphérique, placé en charge par rapport à l'émetteur ;
- un émetteur ou **maître-cylindre** ③ qui transforme la force mécanique fournie par le conducteur en une pression hydraulique ;
- des **récepteurs** ⑦ et ⑩ qui transforment cette pression hydraulique en une force capable d'actionner les segments et plaquettes ;
- un réseau de **canalisations** ⑤, ⑥, ⑧ et ⑨, souples ou rigides, qui transmettent la pression hydraulique de l'émetteur aux récepteurs.

### ■ Quel est son principe de fonctionnement ?

Le conducteur appuie sur la pédale de freins. Par l'intermédiaire d'une **tige de poussée** ②, il communique une **force** au piston de l'émetteur ou maître-cylindre.

Le liquide, pratiquement incompressible, se déplace dans les canalisations.

Son déplacement commande immédiatement la **mise en mouvement** des récepteurs.

Les pistons des cylindres récepteurs poussent les segments et plaquettes contre les pistes de frottement.

Dès que les cylindres récepteurs rencontrent une force résistante, il s'établit dans le circuit une pression  $p$  :

$$p = \frac{F}{S}$$

La valeur de cette pression  $p$  est donc :

- proportionnelle à la force communiquée au piston de l'émetteur,
- inversement proportionnelle à sa section.

Les cylindres restitueront une force ( $F' = pS'$ ) proportionnelle :

- à la pression du circuit,
- à la section de chaque cylindre récepteur (figure 9.6).

### Remarque

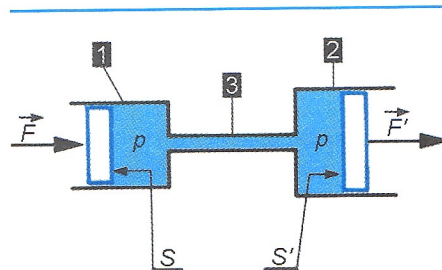
Cette incompressibilité des liquides (pression conservée) est le principe qui va être utilisé dans toute commande hydraulique (voir les paragraphes suivants).

### ■ Quels sont les avantages présentés par les commandes hydrauliques ?

- La **répartition du freinage** aux deux roues d'un même essieu est **parfaite** car, dans un circuit hydraulique simple, la **pression est égale** en tous les points de l'installation.

2

Le freinage



**Figure 9.6** • Principe de transmission de la pression et de modification des forces dans un circuit hydraulique.

- ① Émetteur.
  - ② Récepteur.
  - ③ Canalisation.
- Côté émetteur :  $p = F/S$ .  
Côté récepteur :  $F' = pS'$ .

- La force à transmettre peut être **amplifiée** par différence de section entre le cylindre émetteur et les cylindres récepteurs.
- Les canalisations s'adaptent facilement à des **liaisons sinueuses** (coudes).
- Les **frottements** sont inexistants.

### ■ Comment la force est-elle multipliée dans la commande des freins ?

La force à transmettre est multipliée :

- **mécaniquement**, par un système de levier, le rapport des forces est fonction du rapport de ces leviers ;
- **hydrauliquement**, par différence de diamètre entre l'émetteur et les récepteurs, le rapport des forces est fonction du rapport des diamètres.

### ■ Comment la force est-elle multipliée mécaniquement ?

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 ( $\vec{F}_c$ ),
- du **rapport des distances** par rapport à l'axe.

#### Exemple

Prenons le cas (figure 9.7) où l'effort du conducteur est égal à :

$$F_c = 50 \text{ N}$$

et où le rapport de bras de levier de la pédale est égal à :

$$R_1 = \frac{4}{1}$$

Dans ce cas, la force de la tige de poussée est :

$$F_t = \frac{50 \times 4}{1} = 200 \text{ N}$$

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.

### ■ Comment la force est-elle multipliée par les commandes hydrauliques ?

Le rapport de multiplication de la force par un système hydraulique est calculé en effectuant :

$$R_2 = \frac{S}{s} = \frac{\text{section du piston récepteur}}{\text{section du piston émetteur}}$$

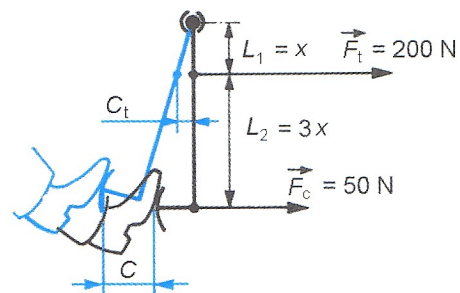


Figure 9.7 • Multiplicateur mécanique.

$$F_t = F_c \times \frac{L_1 + L_2}{L_1} = \frac{4x}{x}$$

$$F_t = F_c \times \frac{4}{1}$$

$$\text{d'où } C_t = C \times \frac{1}{4}$$

### Exemple

Prenons le cas, illustré par la figure 9.8, où la section du piston émetteur est  $s = 2 \text{ cm}^2$ , et où la section du piston récepteur est  $S = 4 \text{ cm}^2$ .

L'intensité de la force de la tige de poussée appliquée au piston émetteur est :

$$F_t = 200 \text{ N}$$

La pression dans le circuit est :

$$p \text{ (bar)} = \frac{F \text{ (daN)}}{s \text{ (cm}^2\text{)}}, \text{ d'où } p = \frac{20}{2} = 10 \text{ bars.}$$

La pression est égale en tous les points de l'installation.

La force ( $F_r$ ) avec laquelle le piston récepteur appuie sur la plaquette est donc égale à :

$$F_r = pS = 10 \times 4 = 40 \text{ daN, soit } 400 \text{ N}$$

Nous constatons deux choses.

- La force ( $F_r$ ) est **deux fois plus grande** que la force de départ ( $F_t$ ). Nous pouvons vérifier que  $F_r$  est égale à  $F_t \times R_1$ ; sachant que  $R_2$  est le rapport hydraulique ayant pour valeur :

$$R_2 = \frac{S}{s} = \frac{4}{2} = \frac{2}{1}$$

on obtient bien :  $F_r = \frac{200 \times 2}{1} = 400 \text{ N}$ .

- La course du piston récepteur ( $C_r$ ) est deux fois plus faible que celle du piston émetteur ( $C_e$ ).

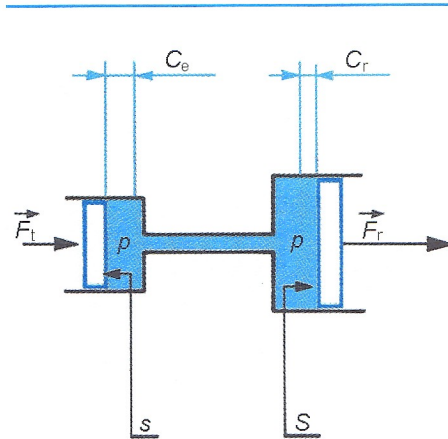


Figure 9.8 • Multiplicateur hydraulique.

$$F_r = F_t \times \frac{S}{s}$$

Si  $\frac{S}{s} = \frac{2}{1}$ , alors :

$$F_r = F_t \times \frac{2}{1}$$

$$C_r = C_e \times \frac{1}{2}$$

2

Le freinage

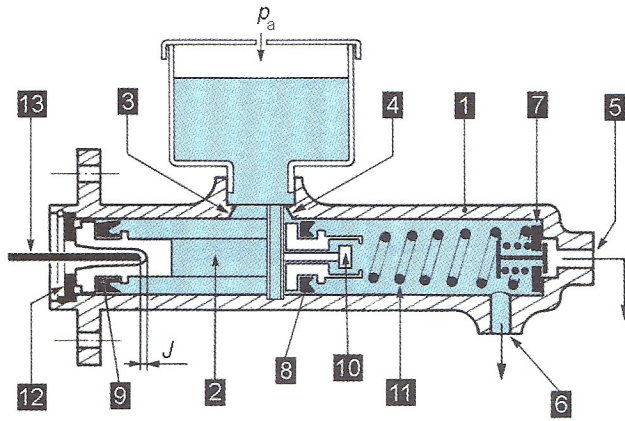
### ■ Quels sont les éléments constitutifs d'un maître-cylindre (figure 9.9, page suivante) ?

Un maître-cylindre (simple) comprend :

- un **corps cylindrique** ❶ en communication avec le réservoir par un trou dans lequel est emmanchée une goupille élastique fendue ;
- à son extrémité avant, un ou plusieurs **orifices** ❺ et ❻ en communication avec les cylindres récepteurs ;
- une **soupape de pression résiduelle** ❼ pour le circuit des freins à tambour ❺ ;
- un **piston** ❷ qui coulisse dans le cylindre ;
- une **couppelle secondaire** ❸ qui assure l'étanchéité vers l'extérieur ;
- un **ressort de rappel** ❿ du piston ❷ qui maintient la soupape de pression résiduelle ❼ et la couppelle primaire ❸.

### ■ Comment le maître-cylindre simple fonctionne-t-il ?

- **Position repos** (figure 9.9). Le piston est maintenu contre la rondelle butée ❶ par le ressort de rappel ❿. Dans cette position, le **clapet** ❶ est **ouvert** et l'ensemble du système est soumis à la pression atmosphérique,  $p_a$ .



- ① Corps.
- ② Piston.
- ③ Trou d'alimentation.
- ④ et ⑤ Orifices vers freins à tambour.
- ⑥ Orifice vers freins à disque.
- ⑦ Soupape de pression résiduelle.
- ⑧ Coupelle primaire.
- ⑨ Coupelle secondaire.
- ⑩ Clapet et son ressort de rappel.
- ⑪ Ressort de rappel du piston et de maintien de la soupape
- ⑫ Rondelle butée.
- ⑬ Tige de poussée.
- J. Jeu de garde.

Figure 9.9 • Maître-cylindre simple pour système mixte (disque et tambour). Position au repos.

• **Freinage** (figure 9.10). Sous l'action de la tige de poussée ⑬, le piston et la coupelle primaire se déplacent vers le fond de l'alésage. Dès que la tête du piston n'est plus en contact avec la goupille, **le clapet se ferme** et permet à la coupelle primaire de repousser le liquide vers l'avant du maître-cylindre.

Le liquide dirigé vers les freins à disque (orifice ⑥) permet, dans son déplacement, de repousser les pistons des étriers de freins.

Le liquide dirigé vers les freins à tambour passe par la **soupape de pression résiduelle** (figure 9.11) en repoussant la soupape centrale de son siège. Dès que tous les récepteurs ont effectué leur course, une forte pression s'établit.

S'il n'y a plus de mouvement de liquide, les pressions s'équilibrent de part et d'autre de la soupape de pression résiduelle, celle-ci se referme poussée par son petit ressort.

• **Défreinage**. Il s'effectue en deux temps.

– 1<sup>er</sup> temps (figure 9.12). Dès que le conducteur **lâche la pédale** de freins, le piston cherche à revenir en position de repos. Le retour du piston étant plus rapide que celui de la colonne de liquide, il se crée une **légère dépression** dans la chambre située en avant du piston.

La chambre située entre les deux coupelles est à la pression atmosphérique. Le liquide contenu dans cette chambre et le réservoir est aspiré vers l'avant et passe par le clapet ⑩ entrebâillé par la différence de pression.

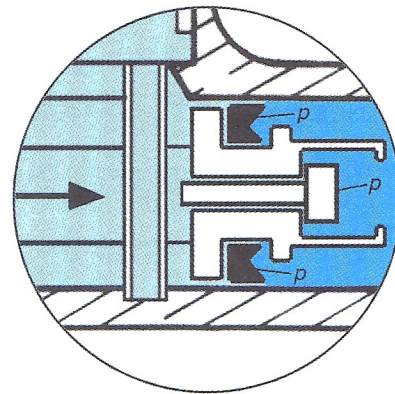


Figure 9.10 • Freinage : clapet fermé.

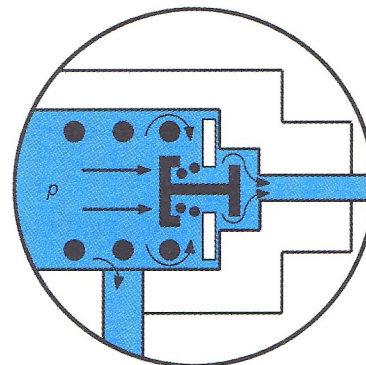


Figure 9.11 • Freinage : la soupape de pression résiduelle est ouverte par la pression p.

À mesure que les **pressions s'équilibrent** par compensation, le piston revient sur sa butée poussé par son ressort de rappel : l'ensemble du maître-cylindre est à la pression atmosphérique.

– 2<sup>e</sup> temps (figure 9.13). Le liquide revient des récepteurs de freins à disque et retourne au réservoir par le clapet et la goupille.

Le liquide qui revient des récepteurs de freins à tambour doit, pour pénétrer dans la chambre du maître-cylindre, soulever la soupape de pression résiduelle.

La pression du liquide dans les canalisations est supérieure à la pression régnant dans la chambre ( $p_a$ ), le passage s'effectue (figure 19.14A).

La pression dans ces canalisations diminue jusqu'à une valeur déterminée par le tarage du ressort interposé entre la soupape et le piston (figure 19.14B).

Cette **pression résiduelle**  $p_r$  est nécessaire afin de maintenir les pistons des cylindres récepteurs en contact avec les segments et diminuer ainsi la course à la pédale et le temps de réponse des freins à tambour.

### Remarque

Le système de réalimentation du maître-cylindre permet également de compenser :

- l'infime quantité de liquide qui ne revient pas des freins, par l'avancement des pistons récepteurs lié à l'usure des garnitures ;
- les variations de volumes dues à la dilatation du liquide par échauffement.

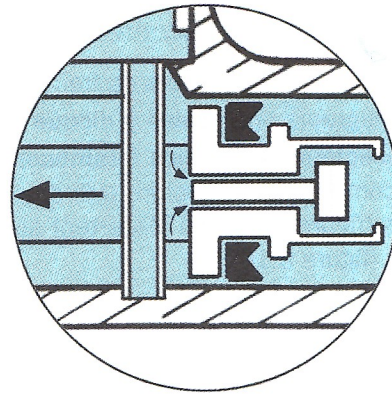


Figure 9.12 • Défreinage : 1<sup>er</sup> temps.

Le piston recule grâce :  
– à la force du gros ressort,  
– à l'ouverture du clapet.

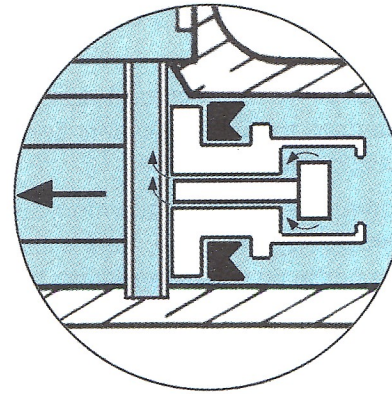
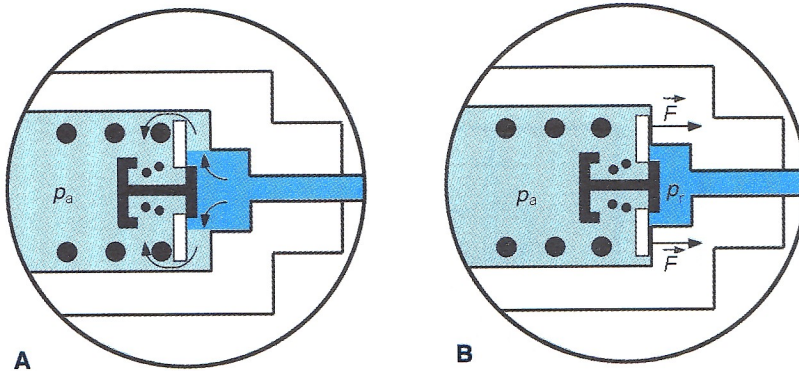


Figure 9.13 • Défreinage : 2<sup>e</sup> temps.

Le liquide qui revient des récepteurs passe par le clapet et la goupille.



**A.** Le liquide revient des freins en soulevant la soupape de pression résiduelle.  
**B.** Le ressort ramène la soupape sur son siège et maintient une pression résiduelle dans la canalisation ( $p_r$ ).

Figure 9.14 • Fin du défreinage.

■ Quels sont les éléments constitutifs des cylindres récepteurs hydrauliques ?

Les cylindres récepteurs de freins sont de deux types :  
 – récepteurs pour **freins à disque** (→ Leçon 17) ;  
 – récepteurs pour **freins à tambour** (cylindres de roues) ;  
 ils comportent un piston, cylindre borgne ou deux pistons (figure 9.15) qui s'écartent sous l'effet de la pression (figure 9.16).

Les récepteurs placés aux extrémités des circuits comportent un **purgeur** dont la vis pointeau permet, par un dévissage partiel, l'évacuation du liquide – vidage – ou des bulles d'air qu'il peut contenir – purge (figure 9.17).

■ Quel est l'inconvénient du circuit de freinage simple ?

Les canalisations et les récepteurs des quatre freins sont alimentés par la **chambre unique** du maître-cylindre.

Lorsqu'une fuite se produit dans le circuit, la pression chute dans toute l'installation. Le freinage principal est annulé.

Au contraire, la généralisation du **double circuit**, en autorisant un freinage, même un cas de défaillance d'une partie du circuit, **améliore la sécurité primaire**.

■ Quels sont les éléments particuliers au double circuit de commande ?

Un double circuit de freinage (figure 9.18) comporte :  
 – un maître-cylindre double appelé « tandem » dont chaque chambre commande un circuit indépendant ;  
 – deux réseaux de canalisations indépendants dont les branchements peuvent être différents selon les véhicules.

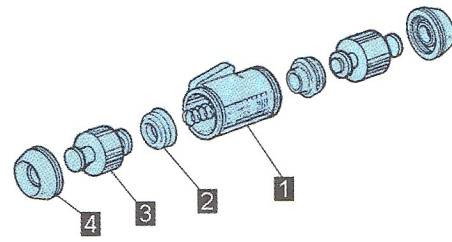


Figure 9.15 • Cylindre récepteur pour frein à tambour (document Renault).

- ① Ressort de poussée.
- ② Coupelles.
- ③ Pistons.
- ④ Cache-poussière.

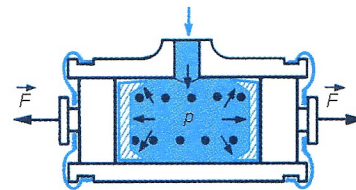


Figure 9.16 • Cylindre récepteur pour frein à tambour (cylindre de roue).

Transformation de la pression hydraulique en force mécanique.

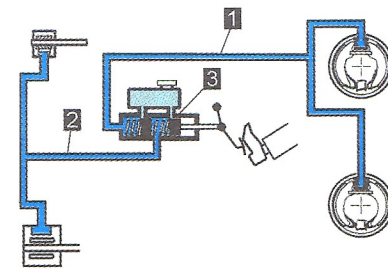


Figure 9.18 • Principe du double circuit de freinage.

- ① Circuit 1.
- ② Circuit 2.
- ③ Maître-cylindre double.

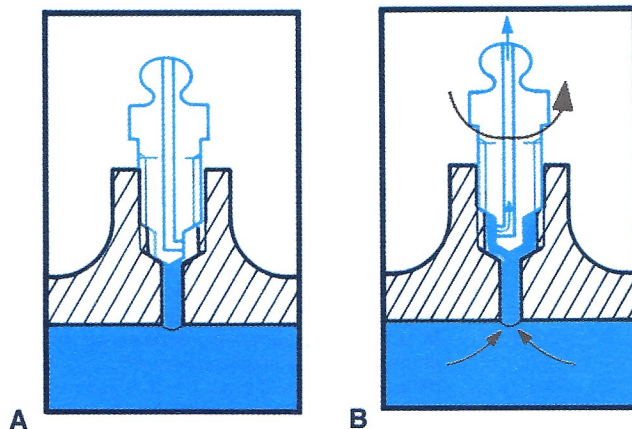
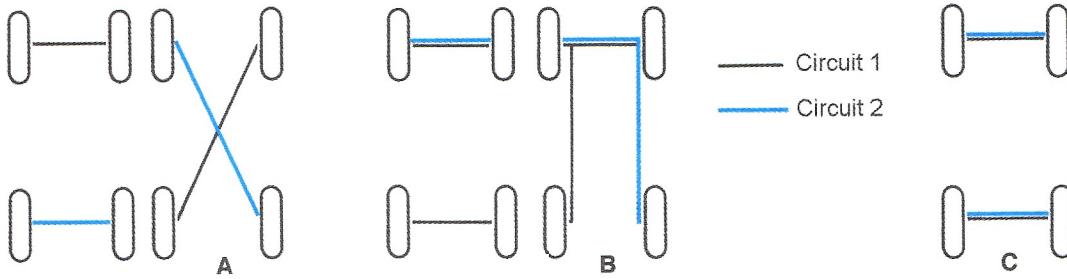


Figure 9.17 • Purgeur :

- A. Fermé.
- B. Ouvert.



**Figure 9.19** • Branchement des deux circuits :  
**A.** Un circuit pour deux roues.  
**B.** Circuit avant doublé.  
**C.** Circuit entièrement doublé.

2

Le freinage

■ **Quels sont les types de branchements possibles du double circuit de commande ?**

**1. Un circuit pour deux roues** (figure 9.19A). Dans ce cas, le circuit est partagé en deux.

**Exemple**

- Branchement en parallèle, (figure 9.19A, gauche) :  
 – circuit 1 : roues AV ;  
 – circuit 2 : roues AR.
- Branchement en croix (figure 9.19A, droite) :  
 – circuit 1 : roues AV.D et AR.G,  
 – circuit 2 : roues AV.G et AR.D.

**2. Le circuit avant est doublé** (figure 9.19B). Cette solution présente plus de difficultés techniques car les étriers de freins avant doivent posséder :  
 – deux pistons pour les étriers coulissants car il faut un piston par circuit (figure 9.20) ;  
 – quatre pistons pour les étriers fixes (deux pistons par circuit).

**Exemple**

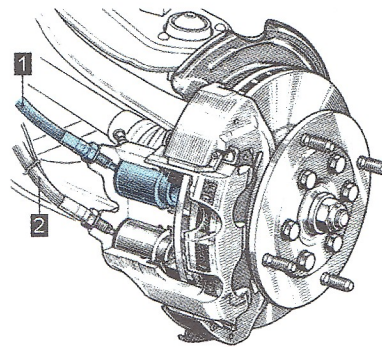
- Branchement en parallèle (figure 9.19A et B, gauche).
- Branchement en triangle (figure 9.19B, droite).

**3. Tout le circuit est doublé** (figure 9.19C). Cette solution nécessite le montage de quatre freins à disque à étrier double et est donc réservée, actuellement, aux véhicules de haut de gamme.

■ **Quels sont les éléments constitutifs d'un maître-cylindre « tandem » ?**

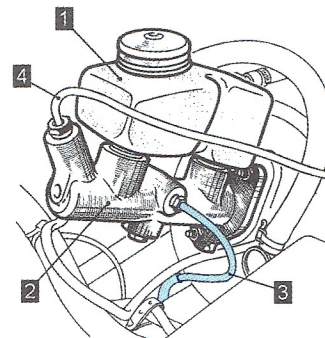
Le maître-cylindre tandem (figure 9.21) comporte un corps en fonte dans lequel coulissent **deux pistons**.

Le principe de fonctionnement de chacun des deux pistons est identique à celui du maître-cylindre simple étudié dans les pages précédentes. Il est alimenté par un réservoir double comportant deux parties séparées par



**Figure 9.20** • Étrier coulissant pour double circuit (document Renault).

- ① Circuit 1.
- ② Circuit 2.



**Figure 9.21** • Maître-cylindre à double circuit (document Renault).

- ① Réservoir en deux parties (cloisonné).
- ② Maître-cylindre « tandem ».
- ③ Circuit 1 ou primaire.
- ④ Circuit 2 ou secondaire.

une cloison intérieure. Le remplissage est commun mais les **sorties indépendantes**.

Il comporte deux ou quatre sorties. S'il ne comporte que deux sorties, celles-ci se séparent ensuite en deux parties afin d'alimenter tous les récepteurs.

### ■ Quel est son principe de fonctionnement ?

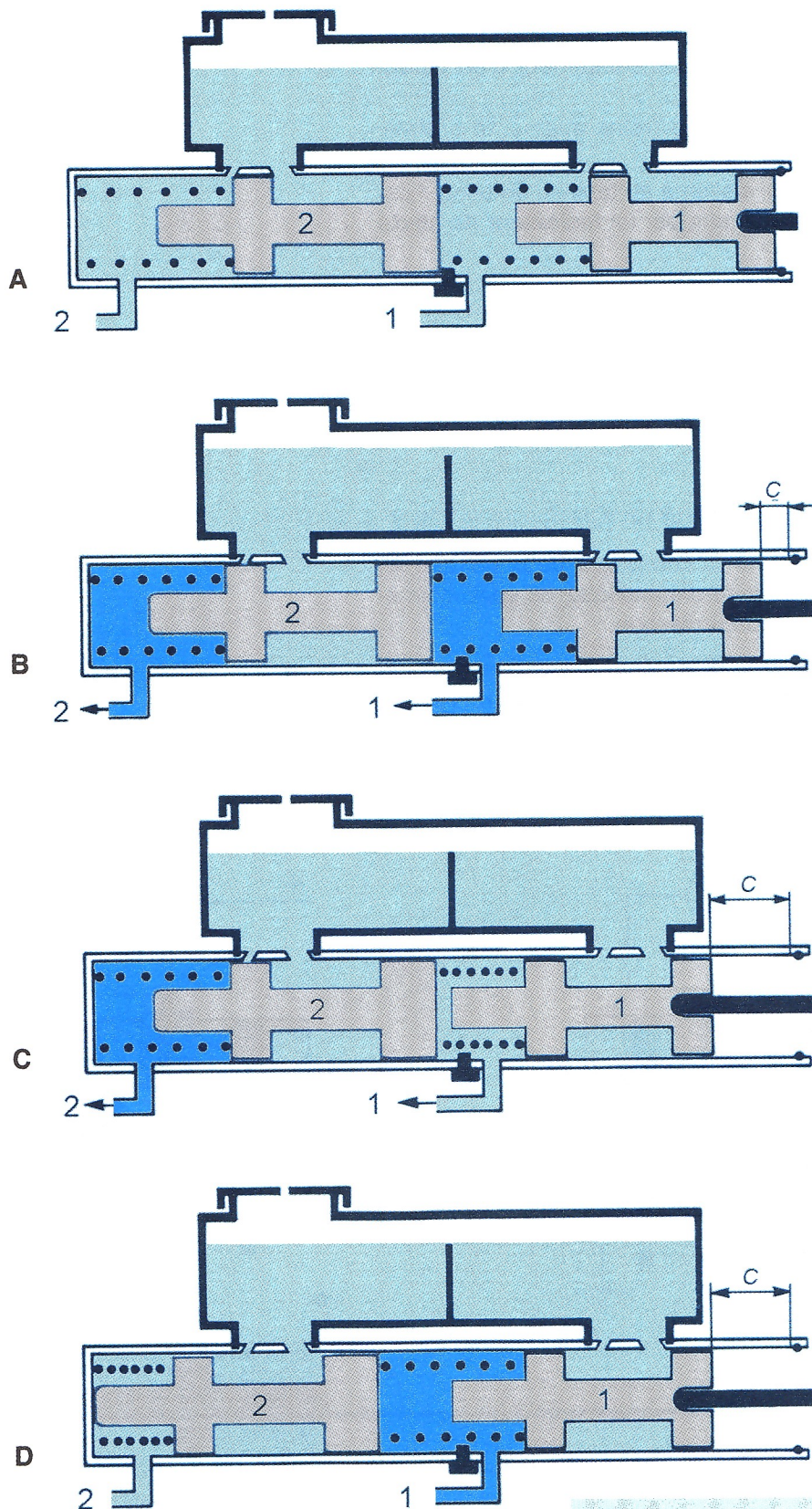
Le fonctionnement de chacun des pistons est identique à celui du maître-cylindre élémentaire en ce qui concerne le principe de mise en pression et le défreinage.

Nous expliquons donc uniquement les points particuliers dans le tableau ci-dessous, ceux-ci étant illustrés dans la figure 9.22.

Position	Piston 1	Piston 2	Pression circuit 1	Pression circuit 2	Course pédale
• <i>Repos</i> (figure 9.22A)	En appui sur sa rondelle butée grâce à l'action de son ressort de rappel.	En appui sur sa vis butée grâce à l'action de son ressort de rappel.	$p_a$	$p_a$	–
• <i>Freinage</i> (figure 9.22B)	Avance, commandé mécaniquement par la tige de poussée.	Avance, commandé hydrauliquement par la pression qui s'établit dans le circuit 1.	Normale, suivant l'effort du conducteur	Normale, suivant l'effort du conducteur	Courte
• <i>Freinage avec le circuit 1 défaillant</i> (figure 9.22C)	Avance, commandé mécaniquement par la tige de poussée.	Avance, commandé mécaniquement par la butée du piston 1 sur 2.	Faible ou $p_a$	Normale	Longue
• <i>Freinage avec le circuit 2 défaillant</i> (figure 9.22D)	Avance, commandé mécaniquement par la tige de poussée.	Avance, commandé hydrauliquement par la pression qui s'établit dans le circuit 1.	Normale, dès que le piston 2 a pris appui sur le fond de la chambre 2	Faible ou $p_a$	Longue

### Remarque

La liaison hydraulique des deux pistons est nécessaire car, même en freinage normal, la quantité de liquide déplacé dans le circuit primaire peut être supérieure à celle du circuit secondaire.



2

Le freinage

Figure 9.22 • Fonctionnement du maître-cylindre tandem (simplifié).

■ Comment le conducteur s'aperçoit-il de la défaillance d'un des deux circuits ?

Le conducteur s'aperçoit immédiatement d'un défaut de fonctionnement car :

- la **course** à la pédale de freins augmente brutalement ;
- un **témoin** spécial s'allume au tableau de bord, il est commandé électriquement par un **indicateur de chute de pression** (ICP).

■ Qu'est-ce qu'un ICP ?

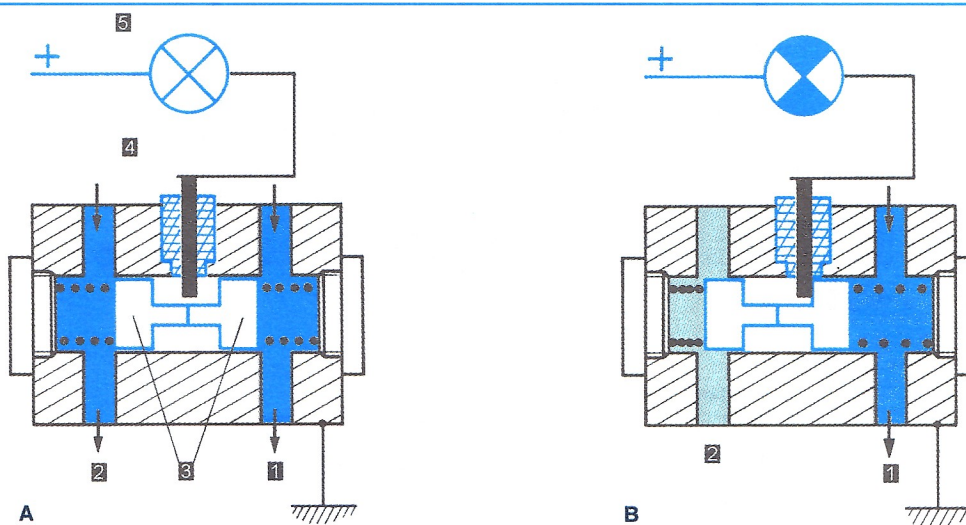
L'ICP est un appareil électrohydraulique dans lequel le passage des deux circuits est canalisé.

Il peut être placé à proximité du maître-cylindre, accolé ou incorporé à celui-ci.

■ Comment est constitué un ICP (figure 9.23) ?

Dans un corps en fonte coulissent deux pistons ③ munis chacun d'un joint d'étanchéité, ils sont maintenus en équilibre par deux ressorts.

Une borne électrique ④ isolée débouche dans l'alésage, elle est reliée au fil de retour d'un voyant lumineux ⑤. L'appareil, fixé sur une partie métallique du véhicule, est relié électriquement à la masse.



**Figure 9.23** • Indicateur de chute de pression.  
**A.** Position freinage sans incident.  
**B.** Freinage avec circuit 2 défaillant.

- ① Circuit 1.
- ② Circuit 2.
- ③ Pistons coulissants en contact avec la masse.
- ④ Fil électrique de retour de la lampe et borne isolée.
- ⑤ Lampe témoin.

■ Quel est le principe de fonctionnement d'un ICP ?

Au moment du freinage, si la pression hydraulique est identique dans les deux circuits, les deux pistons se trouvent en équilibre, poussés par des forces égales et directement opposées. Lorsque la pression diminue dans un des deux circuits, le piston sur lequel agit la pression la plus élevée coulisse et établit le contact électrique avec la borne. La lampe témoin s'allume au tableau de bord (figure 9.24).

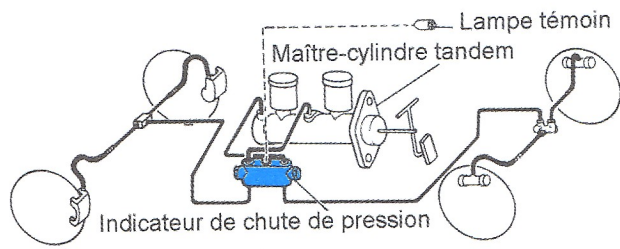


Figure 9.24 • Double circuit de freinage avec indicateur de chute de pression (document DBA Bendix).

2  
Le freinage

La figure 9.25 présente un maître-cylindre tandem avec indicateur de chute de pression incorporé.

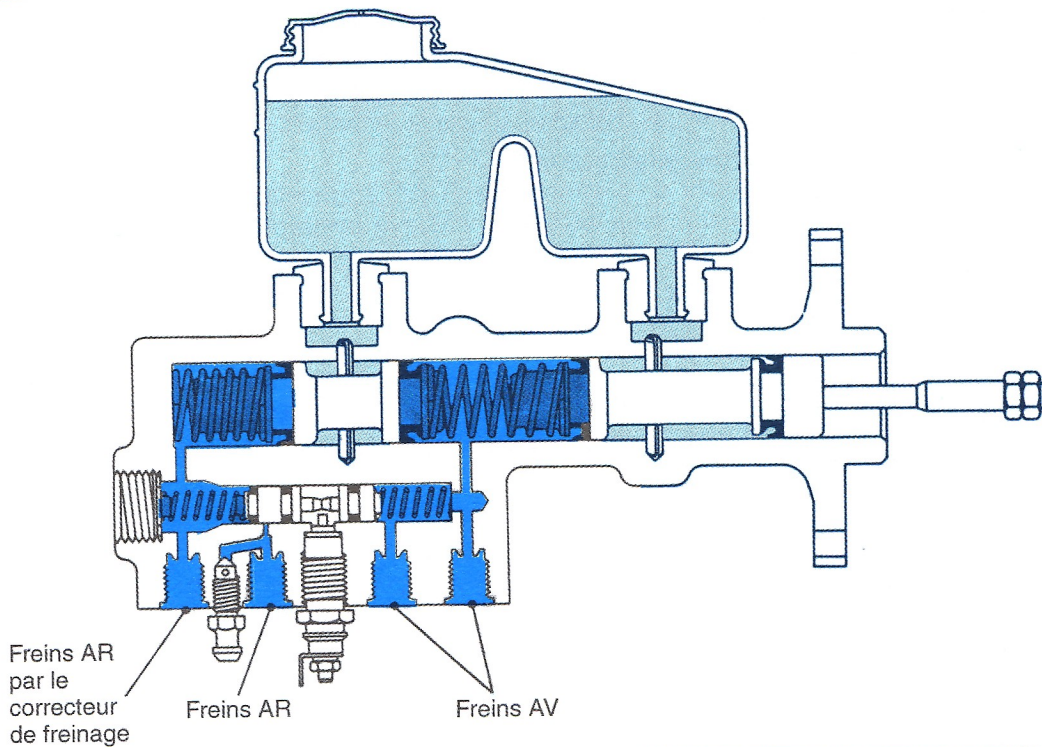


Figure 9.25 • Maître-cylindre tandem avec indicateur de chute de pression incorporé (document Bendix).

## Mémo

### ● Différents types de commandes

- Mécanique : frein de secours et de stationnement.
- Hydraulique : dispositif de freinage principal.
- Pneumatique : par pression ou par dépression.

### ● Commande mécanique : frein de secours

La commande du frein de secours et de stationnement comprend :

- un levier verrouillable placé dans l'habitacle,
- un réseau de câbles libres ou gainés,
- un mécanisme permettant la mise en contact des garnitures avec leur piste de frottement.

Les mécanismes de frein de secours peuvent être incorporés dans les éléments de freins principaux ou indépendants de ceux-ci.

### ● Commande hydraulique élémentaire : frein principal

La commande du frein principal comprend :

- un réservoir en charge,
- un émetteur ou maître-cylindre,
- un réseau de canalisations,
- des cylindres récepteurs,
- un liquide spécial.

### ● Multiplication de l'effort du conducteur

- Multiplication mécanique. La pédale de frein forme un levier dont le rapport est fonction des distances entre les points d'appui. La force communiquée à la tige de poussée est égale au produit de la force fournie par le conducteur par le rapport du bras de levier ( $F_t = F_c \times R_1$ ).

- Multiplication hydraulique. La force restituée par un cylindre récepteur hydraulique est égale au produit de la force de la tige de poussée par le rapport des sections des pistons ( $F_r = F_t \times R_2$ ) où :

$$R_2 = \frac{S}{s} = \frac{\text{section du piston récepteur}}{\text{section du piston émetteur}}$$

### ● Fonctionnement du maître-cylindre simple

- Freinage. Dès que la tête du piston s'écarte de la goupille, le liquide se déplace et actionne les récepteurs. La pression s'établit dès que ces derniers rencontrent une force résistante.

- Défreinage.

1<sup>er</sup> temps : recul du piston, compensation par le clapet.

2<sup>e</sup> temps : retour du liquide des récepteurs au réservoir, par la soupape de pression résiduelle et le clapet.

### ● Double circuit de freinage

Le double circuit permet d'obtenir un freinage, malgré la mise hors service d'une partie du circuit. Il comprend :

- un maître-cylindre à deux chambres séparées appelé « tandem »,
- deux réservoirs indépendants alimentant chacun une des chambres,
- deux pistons, primaire et secondaire,
- deux réseaux de canalisations indépendants.

Le circuit peut être divisé en deux demi-circuits partiellement doublés (à l'avant seulement), ou entièrement doublés. Une fuite sur un des deux circuits provoque :

- le freinage sur un seul circuit,
- l'augmentation brutale de la course de la pédale de freins,
- le fonctionnement d'une lampe témoin mise en circuit par un ICP (indicateur de chute de pression).

## Testez vos connaissances

1. Selon la loi de Pascal, la pression hydraulique dans les récepteurs sera d'autant plus forte que le piston du maître-cylindre sera :
  - a. de petit diamètre
  - b. de grand diamètre
  - c. plus long
2. Dans un récepteur hydraulique, la force pressante sur les plaquettes de frein est d'autant plus grande que (2 réponses) :
  - a. la pression est élevée
  - b. la pression est faible
  - c. sa section est grande
  - d. sa section est petite
3. En cas de fuite sur un des deux circuits de freinage, la course de la pédale de freins :
  - a. augmente
  - b. reste la même
  - c. diminue

2

Le freinage

## Pour aller plus loin

Quels sont les différents liquides utilisés dans les circuits hydrauliques d'automobile ? Relevez pour chacun leurs caractéristiques et leurs affectations.

## Maintenance

Sur le plan pratique, il est nécessaire d'étudier les deux fiches suivantes du manuel de *Maintenance automobile* : le savoir-faire :

- Fiche n° 22 - Purger le circuit de freinage ; niveau 1.
- Fiche n° 51 - Purger les freins avec un appareil ; niveau 2.

# 10

## L'assistance de freinage

### ■ Qu'entend-on par assistance du freinage ?

L'assistance du freinage est un dispositif qui permet, pour un **faible effort** sur la pédale de freins, d'obtenir dans le circuit une **forte pression** hydraulique.

### ■ Quels sont les dispositifs déjà étudiés permettant d'amplifier l'effort de freinage ?

Nous avons vu (→ Leçon 9) que les constructeurs utilisent le principe des bras de levier (figure 10.1) :

- **bras de levier mécanique**, rapport de pédale  $\frac{A}{B}$  ;
- **bras de levier hydraulique**, rapport des sections intérieures récepteur/émetteur :

$$\frac{S_1 \text{ ou } S_2}{S}$$

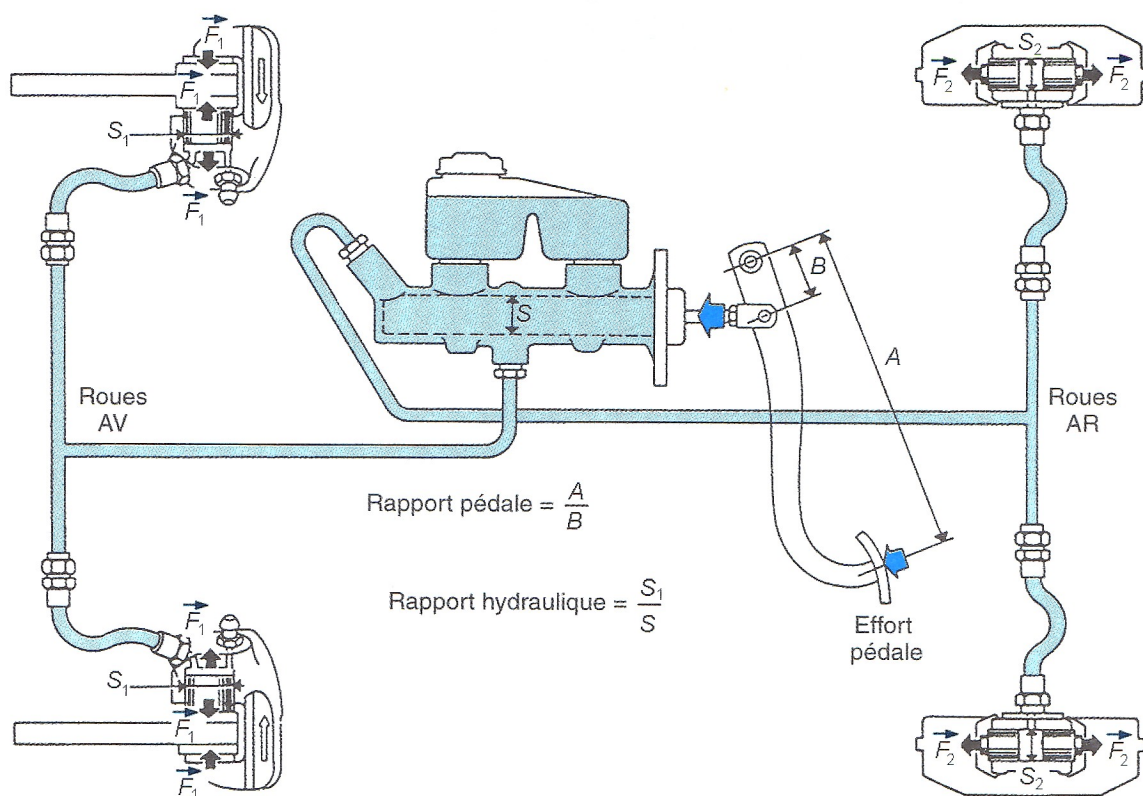


Figure 10.1 • Amplification de l'effort de freinage (document Bendix).

■ **Quels sont les avantages des systèmes d'assistance du freinage ?**

Ils permettent d'amplifier l'effort fourni par le conducteur sans obligatoirement utiliser le principe des bras de leviers mécaniques et hydrauliques qui présentent l'inconvénient d'augmenter la course de la pédale.

■ **Par quels moyens l'assistance est-elle obtenue ?**

À partir de l'énergie mécanique disponible sur le vilebrequin, on peut obtenir :

- une **dépression** ( $p < p_a$ ) dans la tubulure d'admission, ou par une pompe à vide – dans le cas d'un moteur Diesel (figure 10.2) ;
- une **pression hydraulique** fournie par une pompe à haute pression (figure 10.3) ;
- une **pression d'air** fournie par un compresseur (véhicules industriels).

■ **Quelle est l'origine de la force dans un dispositif d'assistance par dépression ?**

La force est obtenue par l'action de pressions différentes sur les deux faces d'un piston coulissant dans un cylindre. Le piston sépare le cylindre en deux chambres A et B (figure 10.4A). Une des chambres (A) est soumise à la pression atmosphérique ( $p_a$ ), l'autre (B) à une dépression ( $p < p_a$ ).

L'intensité de cette force est fonction :

- de la **différence** des pressions,
- de la **section** du piston.

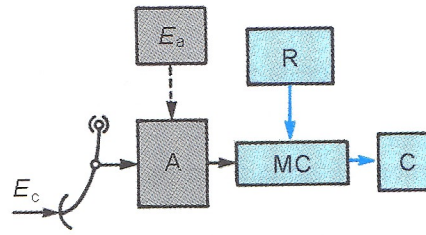


Figure 10.2 • Assistance par dépression.

$E_c$  : énergie du conducteur.  
 $E_a$  : énergie complémentaire d'assistance (dépression).  
**A.** Dispositif d'assistance.  
**R.** Réservoir hydraulique.  
**MC.** Maître-cylindre.  
**C.** Cylindre récepteur.

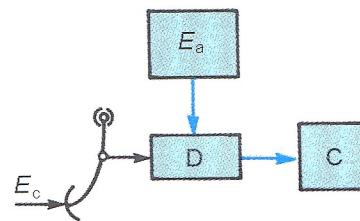
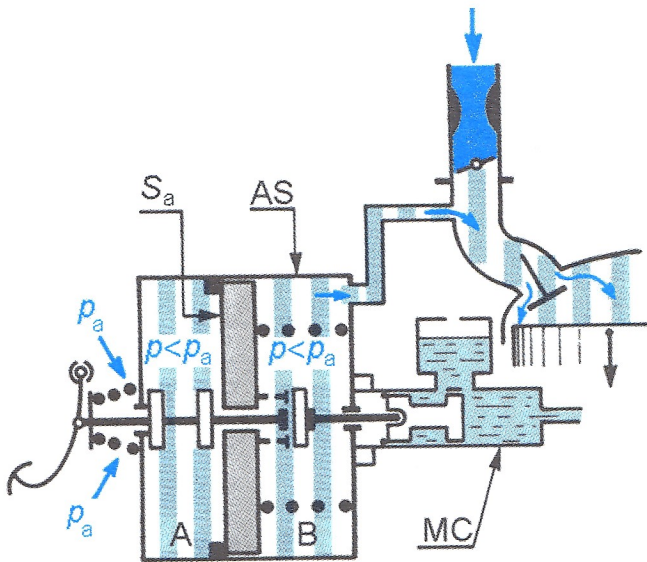


Figure 10.3 • Assistance par pression hydraulique.

$E_c$  : énergie du conducteur.  
 $E_a$  : énergie complémentaire d'assistance (pompe et réservoir sous pression).  
**D.** Doseur.  
**C.** Cylindres récepteurs.

2

Le freinage



**Position au repos :**  
**AS.** Assistance cylindre.  
**S<sub>a</sub>.** Section du piston d'assistance.  
**A.** Chambre A.  
**B.** Chambre B.

Figure 10.4A • Principe de l'assistance par dépression.

## ■ Comment l'effort du conducteur est-il amplifié ?

L'intensité de la force communiquée au piston hydraulique du maître-cylindre est égale à la somme de deux forces :

- intensité de la force de la tige de commande de la pédale de freins (égale à la force du conducteur  $\times$  par le rapport du levier de la pédale) ;
- intensité de la force du piston d'assistance ( $F_a$ ).

### Exemple

En partant de la figure 10.4B, donnons-nous des valeurs numériques :

- force conducteur,  $F_c = 10$  daN ;
- rapport de pédale,  $R = 3/1$  ;
- pression dans la chambre B,  $p = 0,5$  bar ;
- section du piston d'assistance,  $S_a = 60$  cm<sup>2</sup>.

Calculons l'intensité de la force de la tige de commande :

$$F_t = F_c R = 10 \times \frac{3}{1} = 30 \text{ daN}$$

Calculons l'intensité de la force de l'assistance :

$$F_a = (p_a - p) S_a$$

Si nous prenons  $p_a \approx 1$  bar, nous obtenons :

$$F_a = (1 - 0,5) \times 60 = 60 \text{ daN}$$

$$F'_t = F_t + F_a = 30 + 30 = 60 \text{ daN}$$

Nous voyons, dans ce cas, que la force de la tige de commande est **doublée**, grâce à l'action du dispositif d'assistance.

La dépression qui règne dans la tubulure d'admission est maximale en décélération (papillon fermé, vitesse de rotation du moteur élevée), ce qui correspond précisément au cas où le véhicule nécessite un freinage maximal.

### Remarque

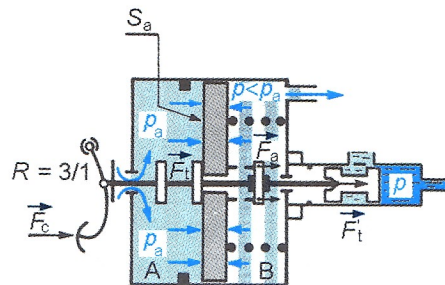
La différence de pression obtenue étant relativement faible, il est nécessaire d'utiliser un piston d'assistance de **fort diamètre**.

## ■ Quels sont les différents dispositifs d'assistance par dépression ?

Ces dispositifs sont :

- l'« **hydrovac** » ;
- le « **master-vac** » (figure 10.5).

Ils sont tous deux fondés sur le principe étudié plus haut. Nous étudierons plus particulièrement le principe du « master-vac », celui-ci étant actuellement le plus utilisé.



#### Position au freinage :

$S_a$ . Section du piston d'assistance.

A. Chambre A.

B. Chambre B.

$$F'_t = F_t + F_a; \quad F_t = F_c R$$

$$F'_t = (F_c R) + [(p_a - p) S_a]$$

**Figure 10.4B** • Principe de l'assistance par dépression.

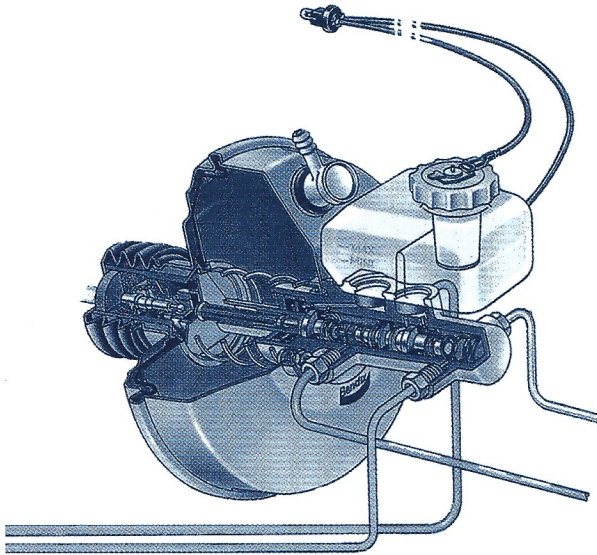


Figure 10.5 • « Master-vac »  
(document DBA Bendix).

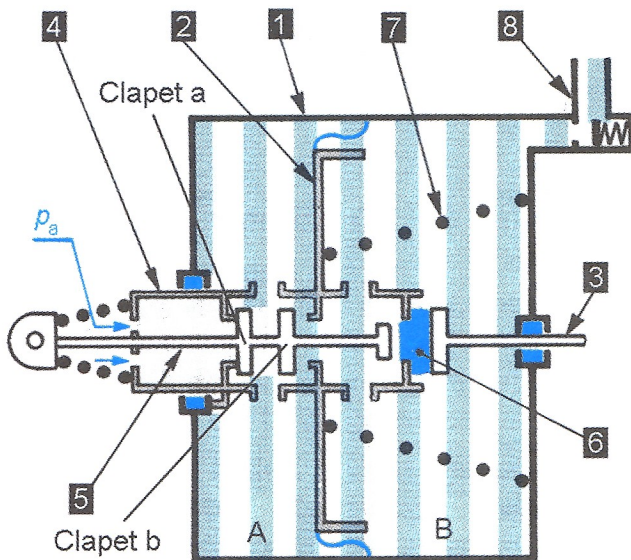
2

Le freinage

■ Quels sont les éléments constitutifs du servofrein « master-vac » (figure 10.6 A) ?

Le « master-vac » est intercalé entre la pédale de freins et le maître-cylindre. Il comprend :

- un **cylindre** de grand diamètre ❶, séparé en deux **chambres** (A et B) par un **piston coulissant** ❷ qui commande la tige de poussée ❸ du maître-cylindre ;



- ❶ Cylindre.
- ❷ Piston.
- ❸ Tige de poussée du MC.
- ❹ Valve de contrôle comportant deux clapets (a et b).
- ❺ Tige de commande.
- ❻ Disque de réaction.
- ❼ Ressort de rappel.
- ❽ Clapet anti-retour.

Figure 10.6A • « Master-vac » en position de repos.

- une **valve de contrôle** ④, solidaire du piston ②, commandée par la tige ⑤ et comportant deux clapets ;
- un **disque de réaction** élastique ⑥, qui reçoit les efforts du piston d'assistance et de la tige de commande.

La valve ④ comporte :

- un **clapet** (a) permettant ou non la communication du cylindre avec l'air à la **pression atmosphérique** ;
- un **clapet** (b) qui ouvre ou ferme la **communication** entre les deux chambres (A et B).

### ■ Quel est le principe de fonctionnement du « master-vac » ?

• **Position repos, moteur tournant** (figure 10.6A). Le clapet (a) est **fermé** et empêche l'air à la pression atmosphérique ( $p_a$ ) de pénétrer dans le cylindre. Le clapet (b) est **ouvert** et permet la communication entre les chambres. Une dépression identique s'établit dans les deux chambres.

Le piston est maintenu dans sa position de repos par un ressort de rappel ⑦.

• **Freinage** (figure 10.6B). L'action sur la pédale de freins provoque l'avancement de la tige de commande solidaire des clapets.

Simultanément :

- le clapet (a) est **ouvert** et permet l'entrée de l'air à la pression atmosphérique ( $p_a$ ) dans la chambre (A) ;
- le clapet (b) est **fermé**, seule la chambre (B) est soumise à la dépression  $p$ .

La différence de pression actionne le piston d'assistance qui pousse sur la tige de poussée du maître-cylindre par l'intermédiaire du disque de réaction ⑥. La **pression hydraulique** s'établit dans le maître-cylindre.

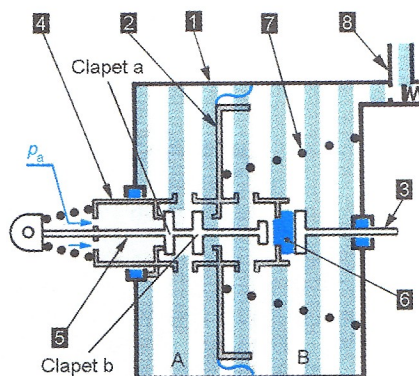
• **Dosage de l'effort de freinage**. Le conducteur fournit un effort modéré :

- le piston et la valve d'assistance continuent un instant leur course ;
- la tige de commande et les clapets restent immobiles.

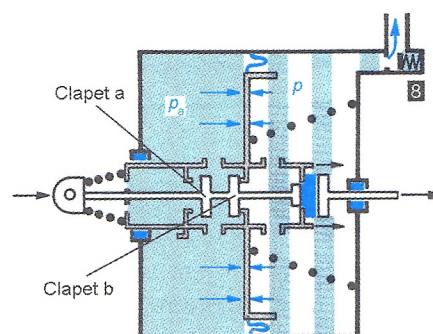
Le clapet (a) tend à se refermer, le clapet (b) à s'ouvrir. Il s'établit une **position d'équilibre** entre le piston d'assistance et la tige de poussée, dosée par l'élasticité du disque de réaction.

Si le conducteur augmente légèrement son effort, les clapets se déplacent. Le piston d'assistance reçoit une force supplémentaire puis retrouve une nouvelle position d'équilibre en rapport avec l'effort fourni.

• **Défreinage**. Le conducteur relâche la pédale. La tige de commande revient en position de repos grâce à l'action de son ressort de rappel.



Rappel de la position de repos



- ① Cylindre.
- ② Piston.
- ③ Tige de poussée du MC.
- ④ Valve de contrôle comportant deux clapets (a et b).
- ⑤ Tige de commande.
- ⑥ Disque de réaction.
- ⑦ Ressort de rappel.
- ⑧ Clapet anti-retour.

Figure 10.6B • « Master-vac » en position de freinage.

Le clapet (a) est **fermé** et empêche l'entrée de l'air à la pression atmosphérique. Le clapet (b) est **ouvert**, la dépression  $p$  s'établit dans les deux chambres. Le piston est en équilibre. Le ressort de rappel du piston ramène celui-ci en position de repos.

■ **Que se passe-t-il lorsque le moteur est arrêté (figure 10.6B, page précédente) ?**

• **Premier temps.** Un clapet anti-retour ③ placé dans la canalisation de dépression maintient celle-ci dans le cylindre d'assistance après l'arrêt du moteur.

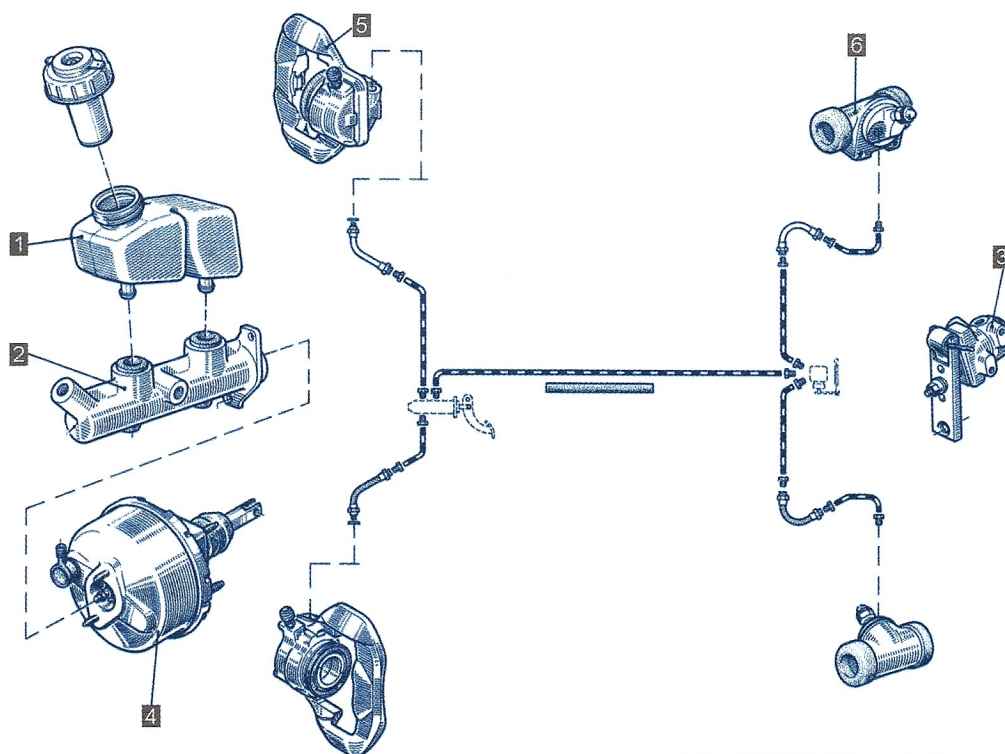
À chaque coup de frein, la mise en communication des chambres (A et B) augmente la pression en (B) jusqu'à l'équilibre des pressions en (A) et (B) à  $p_a$ .

• **Deuxième temps.** L'assistance ne fournit plus d'effort. L'action du conducteur est transmise directement au maître-cylindre sans amplification.

La pression hydraulique dépend uniquement de la force du conducteur : la force de freinage est nettement diminuée.

2

Le freinage



- ① Réservoir double.
- ② Maître-cylindre pour double circuit (tandem).
- ③ Correcteur de freinage.
- ④ Dispositif d'assistance (master-vac).
- ⑤ Étrier de frein à disques.
- ⑥ Cylindre récepteur de freins à tambour (cylindre de roue).

**Figure 10.7** • Circuit de freinage : récapitulation (document Renault).

■ Quels sont les éléments constitutifs d'une assistance par pression hydraulique (figure 10.8) ?

Le dispositif comprend (gamme moyenne et haut de gamme véhicules Citroën) :

- une **réserve de liquide** sous pression (→ Leçon 11, fin);
- un **doseur** à double tiroir hydraulique qui commande **deux circuits** de freinage indépendants.

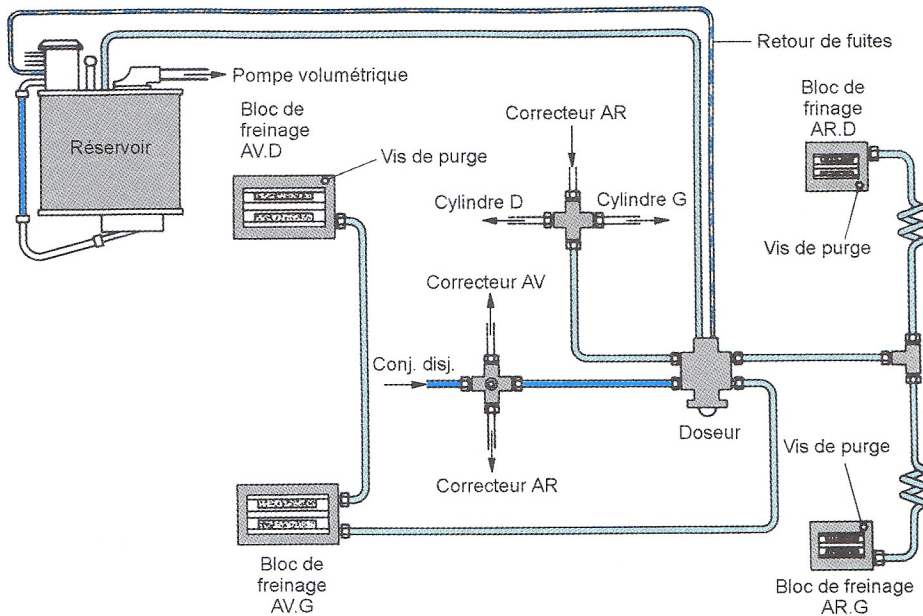


Figure 10.8 • Circuit hydraulique de freinage (document Citroën).

Le circuit des freins avant reçoit la pression de l'accumulateur-conjoncteur-disjoncteur et la communique, après dosage, aux cylindres récepteurs de freins avant. Le circuit des freins arrière reçoit la pression de la suspension arrière et la communique, après dosage, aux cylindres récepteurs de freins arrière.

Cette commande de freinage comporte donc :

- un **double circuit** branché en **parallèle**,
- une **assistance** par pression hydraulique,
- un **dispositif de correction** du freinage en fonction de la charge supportée par l'essieu arrière.

■ Quel est le principe de fonctionnement d'un doseur de pression ?

Un **tiroir se déplace dans un cylindre** comportant trois orifices (figures 10.10) :

- l'orifice (a) reçoit la haute pression (HP), dont la valeur est de l'ordre de 170 bars ;
- l'orifice (b) permet le retour au réservoir ;
- l'orifice (c) est relié aux récepteurs de freins.

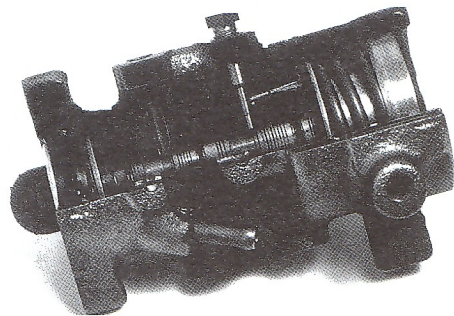
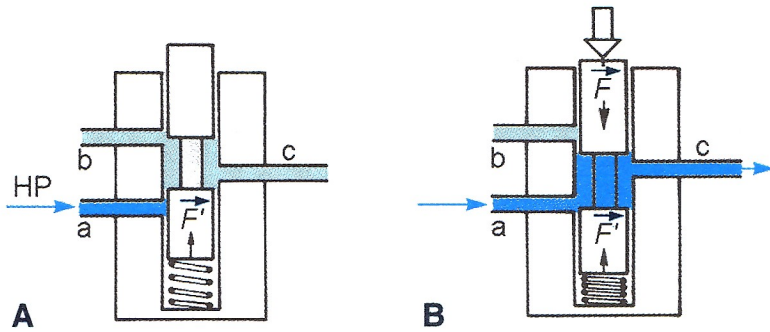


Figure 10.9 • Doseur de freinage (document Citroën).



A. Au repos.  
B. En cours de freinage.

Figure 10.10 • Tiroir hydraulique simple. Déclenchement du passage de liquide, mais impossibilité de doser.

2  
Le freinage

• **Freinage** (figure 10.10B). Un effort minime ( $\vec{F}$ ) exercé sur le tiroir, entraîne son déplacement :  
 – l'orifice (b) est obstrué ;  
 – l'orifice (a) est découvert ;  
 – l'orifice (c) est alimenté : le liquide sous pression (170 bars) se dirige vers les freins.

• **Défreinage**. Le conducteur lâche la pédale, le ressort ramène le tiroir au repos (figure 10.10A). Ainsi, l'orifice (c) communique avec (b), le liquide retourne au réservoir.

Nous observons, qu'avec ce type de tiroir, il est **impossible de doser l'effort** de freinage.

Le dosage est rendu possible en reliant, par une **dérivation**, l'orifice (c) et la partie inférieure du tiroir (figure 10.11A).

Lorsque le conducteur agit sur le tiroir ( $\vec{F}$ ), la pression s'établit simultanément (figure 10.11B) :

- dans les freins par l'orifice (c) ;
- sous le tiroir par l'orifice (d).

La **contre-pression** qui agit sur la surface inférieure du tiroir a pour effet de créer une force ( $\vec{F}'$ ) dirigée vers le haut et directement opposée à ( $\vec{F}$ ). La pression du liquide dirigé vers les freins est **dosée**.

Le conducteur est obligé de fournir un **effort proportionnel à la force** de freinage désirée.

■ **Comment le doseur de freins Citroën fonctionne-t-il ?**

Les figures 10.12A et B, ainsi que le tableau ci-après expliquent ce fonctionnement.

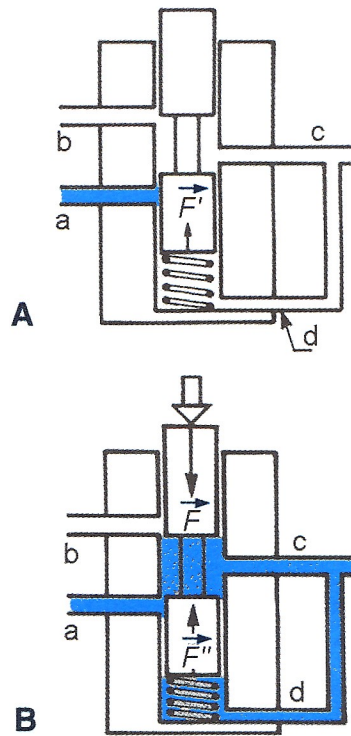
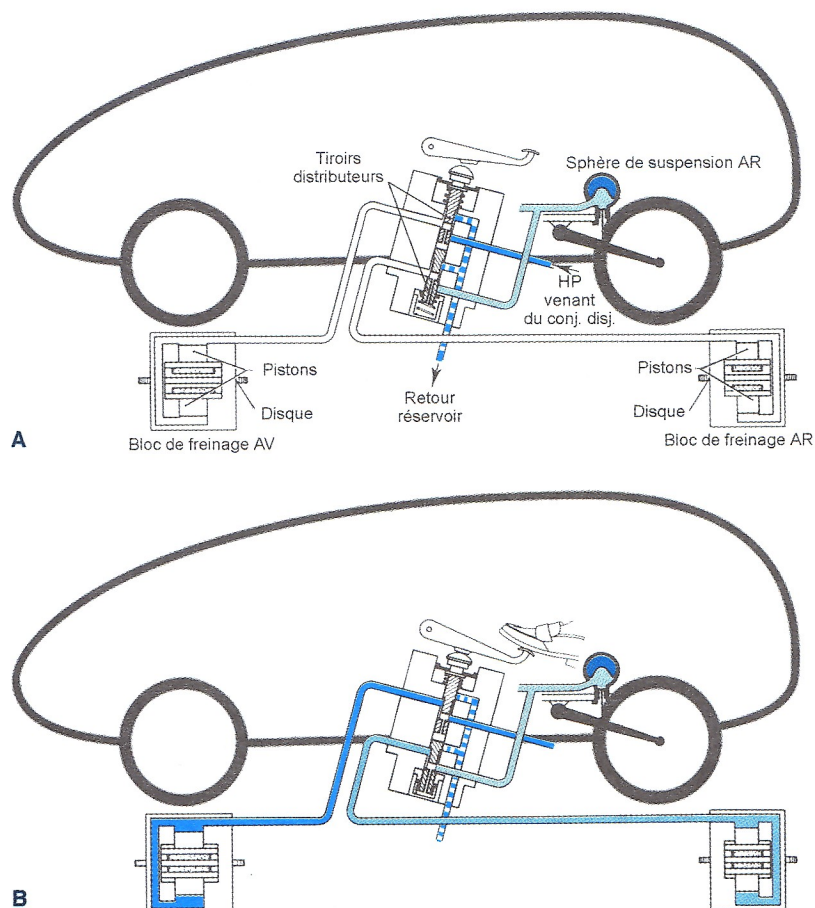


Figure 10.11 • Doseur. Résistance sous la pédale grâce à la contre-pression.

A. Au repos.  
B. En cours de freinage.

Position	Tiroir 1	Tiroir 2	Pression freins AV	Pression des freins AR
Repos	Maintenu en butée par son ressort.	Maintenu en butée par son ressort.	$p_a$	$p_a$
Freinage	Se déplace, commandé mécaniquement par la pédale de freins.	Se déplace, commandé hydrauliquement par la pression du circuit 1.	Dosée en fonction de l'effort sur la pédale.	Dosée en fonction de la pression dans : – le circuit avant (action hydraulique de 1 sur 2) ; – la suspension AR (variable suivant la charge du véhicule).



**Figure 10.12** • Doseur de freins (document Citroën).

**A.** Position non freinée.  
**B.** Position freinée.

### ■ Quels sont les avantages d'un doseur de pression ?

- La montée en pression (circuits) est **instantanée**.
- La course de la pédale de freins, toujours **très courte**, est indépendante de l'usure des garnitures de freins.

Le **temps de réponse** des freins est donc extrêmement **court** et contribue à diminuer la distance d'arrêt du véhicule (sécurité primaire).

## Mémo

### ● Différentes sources d'assistance

- Dépression régnant dans la tubulure d'admission (moteurs à essence); produite par une pompe à vide (moteurs Diesel).
- Pression hydraulique fournie par une pompe à haute pression (Citroën).
- Pression d'air fournie par un compresseur (véhicules industriels).

### ● Assistance par dépression

La force est obtenue par l'action de pressions différentes sur les deux faces d'un piston coulissant dans un cylindre. Le piston reçoit :

- d'un côté, la pression extérieure (atmosphérique),
- de l'autre, la dépression (pression inférieure à la pression atmosphérique).

L'intensité de la force du piston d'assistance est fonction :

- de la différence des pressions ;
- de la section du piston.

### ● La force communiquée au piston hydraulique du maître-cylindre

est égale à la somme de deux forces :

- force de la tige de commande de la pédale de freins (conducteur),
- force du piston (assistance).

### ● Les deux principaux dispositifs d'assistance par dépression sont :

- l'« hydrovac »,
- le « master-vac ».

Le « master-vac » est interposé entre la pédale de freins et le maître-cylindre simple ou double.

### ● Assistance par pression hydraulique

Le dispositif comprend :

- une réserve de liquide maintenue sous pression par une pompe,
- un doseur à deux tiroirs,
- deux circuits de freinage indépendants.

Par action sur la pédale de freins, le doseur met en communication :

- les freins avant et la haute pression venant de la réserve de pression,
- les freins arrière et le liquide de la suspension arrière dont la pression varie selon la charge.

Cette commande comporte donc :

- un double circuit branché en parallèle,
- une assistance par pression hydraulique,
- une correction du freinage en fonction de la charge supportée par l'essieu arrière.

### ● Équipement

Le moteur Diesel est équipé d'un dispositif d'injection permettant de réaliser toutes les conditions de fonctionnement nécessaires.

### ● Critique

Son rendement et son couple moteur sont supérieurs à ceux du moteur à explosion. Sa combustion est plus complète et ses gaz d'échappement, bien que moins toxiques en monoxyde de carbone, peuvent émettre des particules nocives pour les voies respiratoires.

## Testez vos connaissances

**1.** Dans un véhicule à moteur Diesel, la dépression nécessaire au fonctionnement du servofrein provient :

- a. de la dépression tubulure
- b. d'une pompe à vide
- c. d'une pompe haute pression

**2.** Grâce à l'assistance, l'effort du conducteur sur la pédale de frein :

- a. est augmenté
- b. est diminué
- c. reste le même

**3.** Si l'on coupe le moteur, l'assistance :

- a. disparaît
- b. reste normale
- c. fonctionne encore quelques instants

## Pour aller plus loin

Recherchez, pour le véhicule de votre choix, les caractéristiques du dispositif d'assistance de freinage.

# 11

## Les correcteurs de freinage

### De quels facteurs l'effort à appliquer à chaque roue dépend-il ?

Nous avons vu (→ Leçon 8) que :

- la force retardatrice applicable sans glissement à chaque pneumatique est fonction de sa force d'adhérence avec le sol ;
- la force d'adhérence d'un pneumatique sur le sol est proportionnelle ( $\vec{A} = c\vec{P}$ ) :
  - au coefficient d'adhérence ( $c$ ) des matériaux en contact, ici pneu/sol,
  - au poids ( $\vec{P}$ ) ou à la force appliquée par cette roue sur le sol.

Pour un coefficient d'adhérence donné, la force d'adhérence est donc fonction du poids  $\vec{P}$  (statique) ou de la force  $\vec{F}$  (dynamique) appliqués à chaque roue.

### Le poids appliqué sur chaque roue est-il uniformément réparti ?

Si le véhicule est à l'arrêt ou roule à basse vitesse, les deux essieux peuvent être différemment chargés.

Le centre de gravité du véhicule peut se trouver :

- vers l'avant ( $P' > P''$ ) ;
- à égale distance des deux essieux ( $P' = P''$ ) ;
- vers l'arrière ( $P' < P''$ ).

Dans les cas où le centre de gravité n'est pas à une distance égale des deux essieux, la force d'adhérence des pneus avant est différente de celle des pneus arrière (figure 11.1). L'effort de freinage ( $\vec{F}_r$ ) à appliquer à chaque essieu ne peut donc pas être identique.

### Quelles sont les dispositions technologiques qui permettent de réaliser un couple de freinage différent sur les deux essieux ?

Le couple de freinage est différent s'il existe, de l'avant par rapport à l'arrière, des différences de :

- diamètre de disques ou de tambours,
- section de cylindres récepteurs,
- coefficient d'adhérence des garnitures sur leur piste de frottement.

2

Le freinage

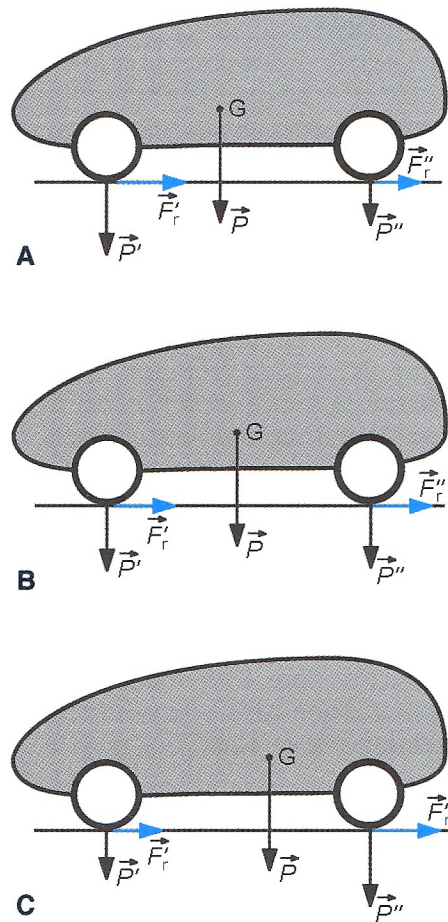


Figure 11.1 • Force d'adhérence par essieu :

$$\vec{A} = c\vec{P}$$

- A.  $P' > P'' \Rightarrow F'_r > F''_r$
- B.  $P' = P'' \Rightarrow F'_r = F''_r$
- C.  $P' < P'' \Rightarrow F'_r < F''_r$

■ Ces dispositions sont-elles suffisantes dans toutes les conditions de conduite ?

Lorsqu'un véhicule roule, il possède une énergie cinétique ( $E_c = Mv^2/2$ ) proportionnelle à sa masse et au carré de sa vitesse. Sachant que  $E_c$  est l'équivalent d'un travail ( $W = FL$ ), le véhicule possède une force instantanée dont l'intensité est :

$$F_m = \frac{W}{L}$$

Lorsque le conducteur commence à freiner, l'effort retardateur au niveau du sol provoque un couple de basculement proportionnel à :

- la distance du sol au centre de gravité,
- l'intensité de la force appliquée en ce point.

Il se produit alors un phénomène de plongée qui provoque un **report de charge** dynamique de l'essieu arrière vers l'essieu avant (figure 11.2).

**Remarque**

La « plongée » est le phénomène inverse du « cabrage ».

La force appliquée aux pneus avant est :

$$\vec{F}' = \vec{P}' \text{ (poids statique des roues avant)} + \vec{F} \text{ (report de charge).}$$

La force appliquée aux pneus arrière est :

$$\vec{F}'' = \vec{P}'' \text{ (poids statique des roues arrière)} - \vec{F} \text{ (report de charge).}$$

Dans les cas de **freinage d'urgence**, le couple de freinage à appliquer à l'essieu avant devra donc être **supérieur** à celui de l'essieu arrière.

■ Comment la répartition des efforts est-elle modifiée en cas de freinage d'urgence ?

En cas de freinage d'urgence, la répartition nécessaire, du fait du report de charge, est réalisée par la modification des pressions hydrauliques entre le circuit avant et le circuit arrière. Cette modification est obtenue grâce à l'interposition dans le circuit arrière d'un **correcteur de freinage** (figure 11.3).

■ Quels sont les différents types de correcteurs de freinage ?

Il en existe deux familles :

- les **limiteurs**,
- les **compensateurs**.

■ Quelles sont les fonctions des limiteurs ?

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

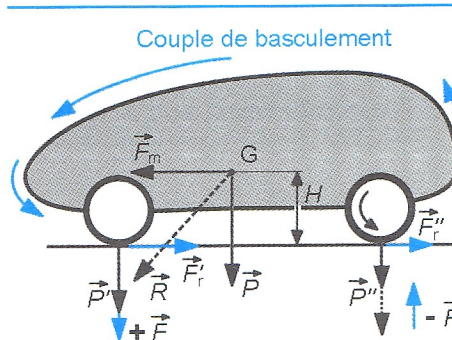


Figure 11.2 • Report de charge au freinage.

Force appliquée aux pneus avant :

$$\vec{F}' = \vec{P}' + \vec{F}$$

Force appliquée aux pneus arrière :

$$\vec{F}'' = \vec{P}'' - \vec{F}$$

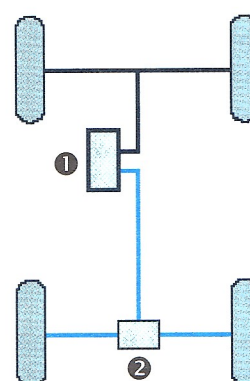


Figure 11.3 • Circuit de freinage.

① Maître-cylindre.

② Correcteur de freinage.

■ Quel est le principe de fonctionnement du limiteur asservi ?

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

Il est donc possible de modifier la pression de limitation en rendant le **tarage** du ressort du limiteur **dépendant de la hauteur de caisse** (asservi à la suspension). Ainsi, à chaque position de la hauteur de caisse correspond un tarage de ressort différent (figures 11.4 et 11.5).

2

Le freinage

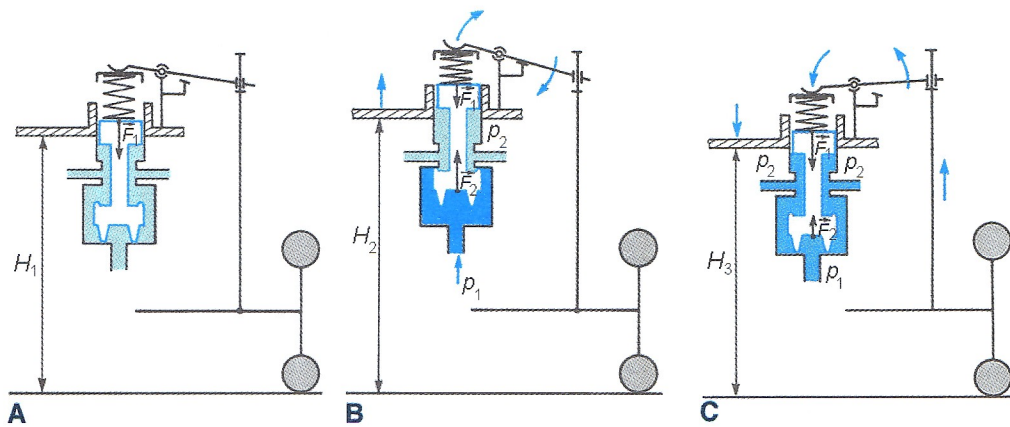


Figure 11.4 • Principe de fonctionnement du limiteur asservi.

- A. Position de non freinage, véhicule à vide.
- B. Position de freinage modéré, essieu arrière délesté :

$$H_2 > H_1; F_2 > F_1; p_1 > p_2$$

Fermeture du clapet à pression moyenne.

- C. Position de freinage modéré, essieu arrière chargé :

$$H_3 < H_1; F_2 < F_1; p_1 = p_2$$

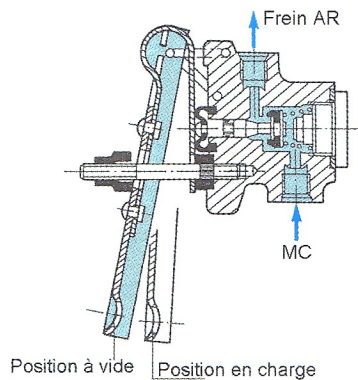
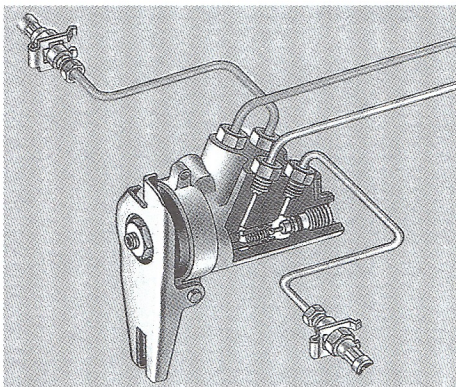


Figure 11.5 • Limiteurs asservis (document DBA Bendix).

La fermeture du clapet du limiteur sera réalisée à des pressions variables en fonction de la charge supportée par l'essieu (figure 11.6).

■ Quel est le principe de fonctionnement des 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 (figure 11.7).

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

• **Position repos.** Le ressort agit sur le piston par l'intermédiaire du levier d'asservissement. Il crée une force ( $\vec{F}_1$ ) proportionnelle à la charge de l'essieu et maintient le piston au fond de l'alésage. Le clapet ④ est alors ouvert.

La communication hydraulique maître-cylindre/cylindre de roues arrière est assurée (figure 11.8A, page suivante), donc :

$$p_1 = p_2$$

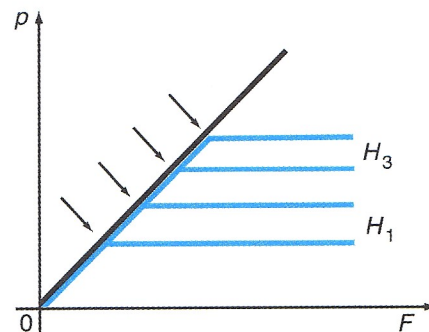
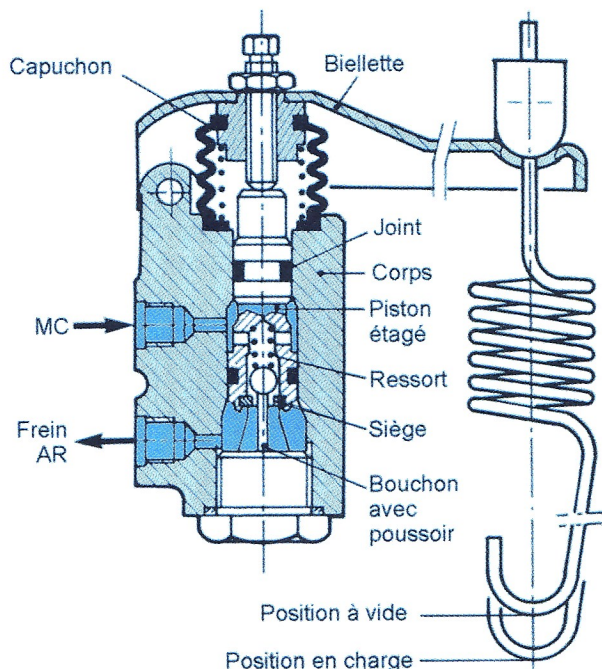
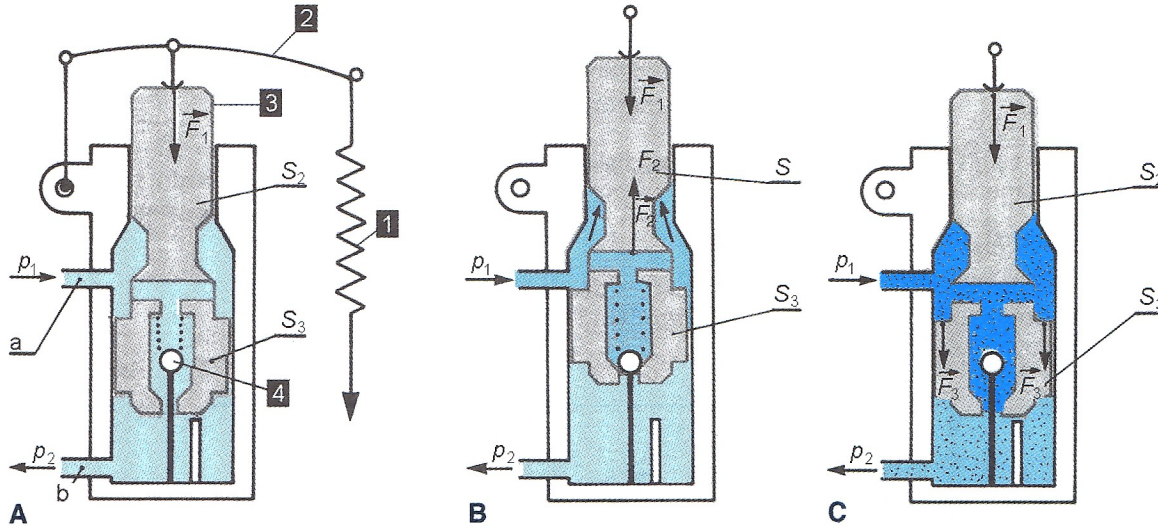


Figure 11.6 • Limiteur asservi. La fermeture du circuit s'effectue à des pressions variables selon H.

→ point de fermeture du clapet.

Figure 11.7 • Compensateur asservi. Vue en coupe (document DBA Bendix).



**Figure 11.8** • Compensateur asservi à la suspension.

- ① Ressort lié à la suspension.
- ② Levier d'asservissement.
- ③ Piston étagé.
- ④ Clapet.
- A.** Position au repos :  $p_1 = p_2$
- B.** Position au freinage :  $F_2 > F_1$  ;  $p_2 < p_1$
- C.** Augmentation de la pression au maître-cylindre (en  $p_1$ ),  $p_2$  augmente proportionnellement avec un certain rapport.

• **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 (figure 11.8B).

• **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 :

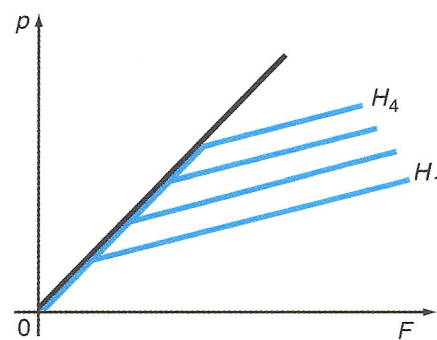
$$|p_1 S_3| > |p_2 S_3|$$

Le piston redescend, le clapet s'ouvre,  $p_2$  augmente ( $p_2 = p_1$ ) et un nouvel équilibre s'établit sur le piston (figure 11.8C) :

$$|p_1 S_3| = |p_2 S_3|$$

L'action de  $p_1$  sur  $S_2$  fait remonter le piston, donc le clapet se ferme.

Pendant la phase de **montée en pression**, le piston **oscille** donc autour d'une position d'équilibre. Par une succession d'ouvertures et de fermetures, la **pression arrière augmente moins que la pression avant**.



**Figure 11.9** • Compensateur asservi.

La compensation commence à des pressions variables selon la charge. La pression dans le circuit arrière augmente moins que dans le circuit avant.

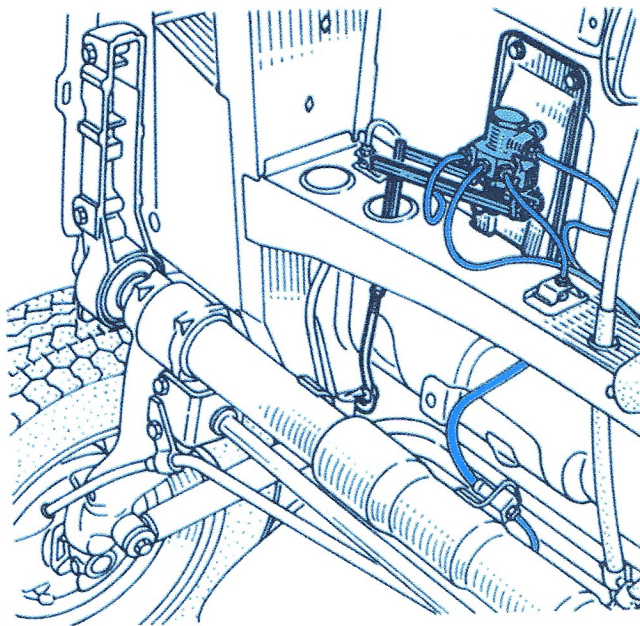
2  
Le freinage

## ■ Les correcteurs permettent-ils de réaliser le freinage idéal ?

Les correcteurs de freinage réalisent une solution plus ou moins approchée du problème de la répartition du freinage, car ils ne peuvent tenir compte :

- du report de charge sur un même essieu dans les virages ;
- de l'adhérence réelle de chaque pneu sur le sol.

Certains véhicules haut de gamme comportent un dispositif qui permet le contrôle individuel du blocage des roues (→ Leçon 12, ABS).



**Figure 11.12** • Compensateur asservi.  
Positionnement sur le véhicule (document Renault).

## Mémo

### ● Répartition du freinage

La répartition des couples de freinage appliqués aux freins avant et arrière est réalisée :

- statiquement par les différences de :
  1. diamètre des disques et tambours,
  2. section des cylindres récepteurs,
  3. coefficient de frottement des garnitures ;
- dynamiquement, par répartition de la pression entre les récepteurs hydrauliques des roues avant et arrière.

### ● Différents types de correcteurs de freinage

- Limiteurs (asservis ou non).
- Compensateurs (asservis ou non).

## Mémo (suite)

### ● Principe des limiteurs

Ils limitent la pression dans les cylindres récepteurs de l'essieu délesté (en général essieu arrière) à une valeur :

- prédéterminée par le tarage de son ressort (limiteur non asservi) ;
- variable selon la charge.

### ● Principe des compensateurs

Les compensateurs assurent, pour chaque pression du circuit avant, une pression arrière plus faible mais proportionnelle dans un rapport déterminé.

### ● Système antiblocage

Certains véhicules sont équipés d'un dispositif qui assure le contrôle du blocage de chaque roue et donc tient compte de l'adhérence réelle de chaque pneu sur le sol (ABS).

2

Le freinage

## Testez vos connaissances

1. Sur un véhicule, comment la force de freinage doit-elle être répartie ?
  - a. plus forte à l'avant
  - b. plus forte à l'arrière
  - c. identique aux 4 roues
2. Le correcteur de freinage asservi est relié mécaniquement à :
  - a. la direction
  - b. la suspension
  - c. la carburation
3. La distance de freinage est d'autant plus courte que l'on :
  - a. bloque les roues
  - b. limite la pression dans le circuit arrière
  - c. limite la pression dans le circuit avant

## Pour aller plus loin

Relevez, pour le véhicule de votre choix (véhicule sans ABS) :

- le type de correcteur de freinage utilisé ;
- les valeurs et les conditions de contrôle de la pression dans les cylindres récepteurs arrière.

## Maintenance

Sur le plan pratique, il est nécessaire d'étudier la fiche de niveau 2 suivante du manuel de *Maintenance automobile : le savoir-faire* :

- Fiche n° 52 - Régler un correcteur de freinage.

# 12

## Les systèmes antiblocage des roues

### ■ Quelles sont les raisons d'être des systèmes antiblocage des roues ?

Nous avons vu (→ Leçon 11) que les correcteurs de freinage, aussi perfectionnés soient-ils, avaient leurs limites. Ils ne peuvent en effet tenir compte :

- des reports dynamiques dus à la force centrifuge en virage,
- de l'adhérence réelle de chaque pneu sur le sol (gravillons, verglas, etc.).

Il ne peut y avoir freinage que s'il y a adhérence. Tout glissement :

- augmente la distance d'arrêt,
- fait perdre le contrôle de la trajectoire du véhicule (figure 12.1).

### ■ Quelle est la fonction des systèmes antiblocage ?

Les systèmes antiblocage (ABS, ABR, etc.) ont pour fonction de détecter le blocage d'une ou plusieurs roues lors du freinage, et de défreiner les roues concernées pendant un court instant jusqu'à ce qu'elles retrouvent leur adhérence.

Le système permet donc de diminuer la distance d'arrêt du freinage sur sol glissant sans dosage particulier du freinage de la part du conducteur (figure 12.2).

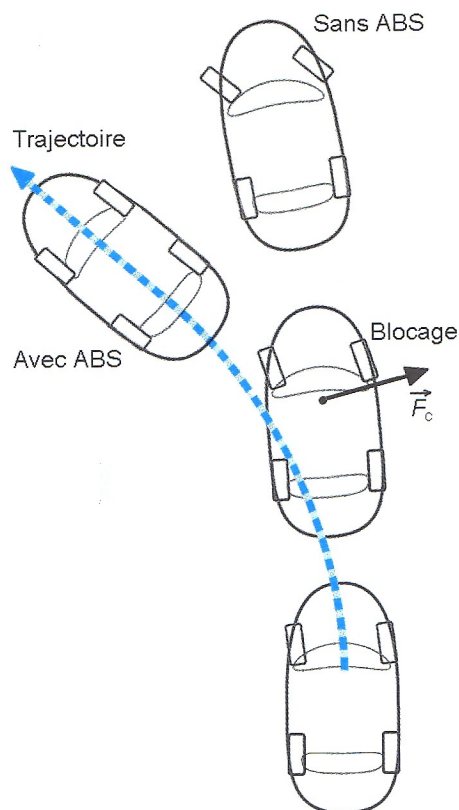


Figure 12.1 • Virage sur sol glissant : sans ABS, s'il y a blocage d'une roue, le véhicule va tout droit.

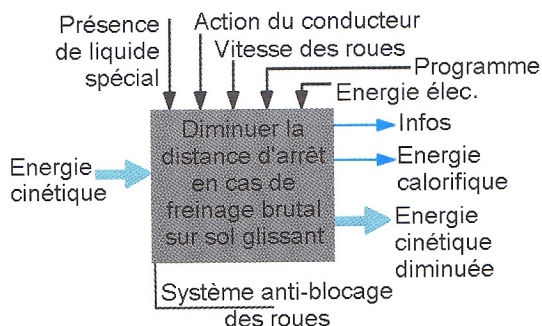


Figure 12.2 • Fonction globale des systèmes ABS.

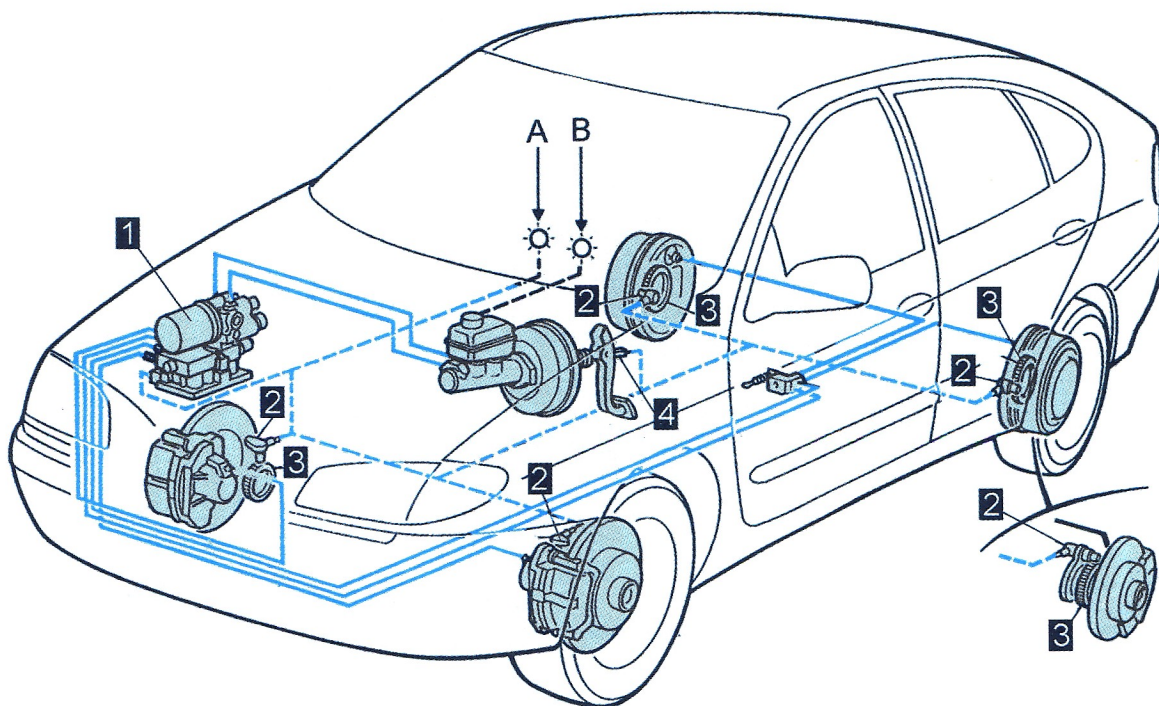
■ Quels sont les éléments qui composent les systèmes antiblocage ?

Nous pouvons observer que, globalement, tous les systèmes d'antiblocage sont composés des mêmes éléments (exemple figure 12.3) :

- un élément de commande actionné par le conducteur (maître-cylindre classique ou spécial) ;
- un capteur et sa cible à chaque roue ;
- un groupe hydraulique comportant un modulateur ;
- un calculateur électronique.

2

Le freinage



- ① Groupe hydraulique + calculateur.
- ② Capteurs de roues.
- ③ Cibles.
- ④ Contacteur pédale.
- A. Témoin d'ABS.
- B. Témoin niveau liquide.

Figure 12.3 • Système ABS sur freins classiques (document Renault).

■ Quel est le principe de fonctionnement des systèmes antiblocage ?

Lorsqu'il y a freinage, le contact pédale met le système en veille. Le calculateur mesure en permanence grâce aux capteurs de roues :

- les conditions de roulage (ligne droite, courbe, etc.),
- les accélérations, les décélérations,
- l'adhérence des pneumatiques.

• **Accélération et décélération.** À partir de la vitesse instantanée d'une roue (donnée par le capteur), il est possible de calculer l'accélération et la décélération de la roue considérée, en observant l'évolution de la vitesse au cours du temps.

• **Adhérence longitudinale pneu/sol.** La logique du calculateur calcule l'adhérence instantanée exacte à partir du comportement des roues en rapport ou non avec la vitesse du véhicule.

• **Conditions de roulage.** En virage : les courbes sont détectées en observant les différences de vitesse des roues intérieures aux virages par rapport à celle des roues extérieures.

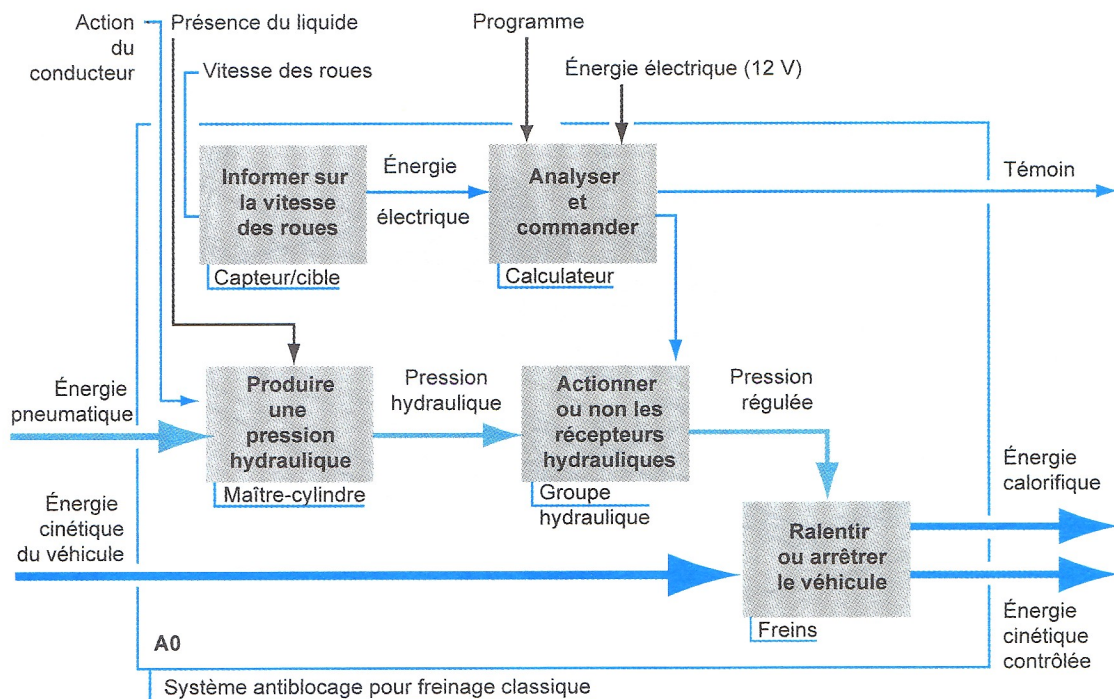
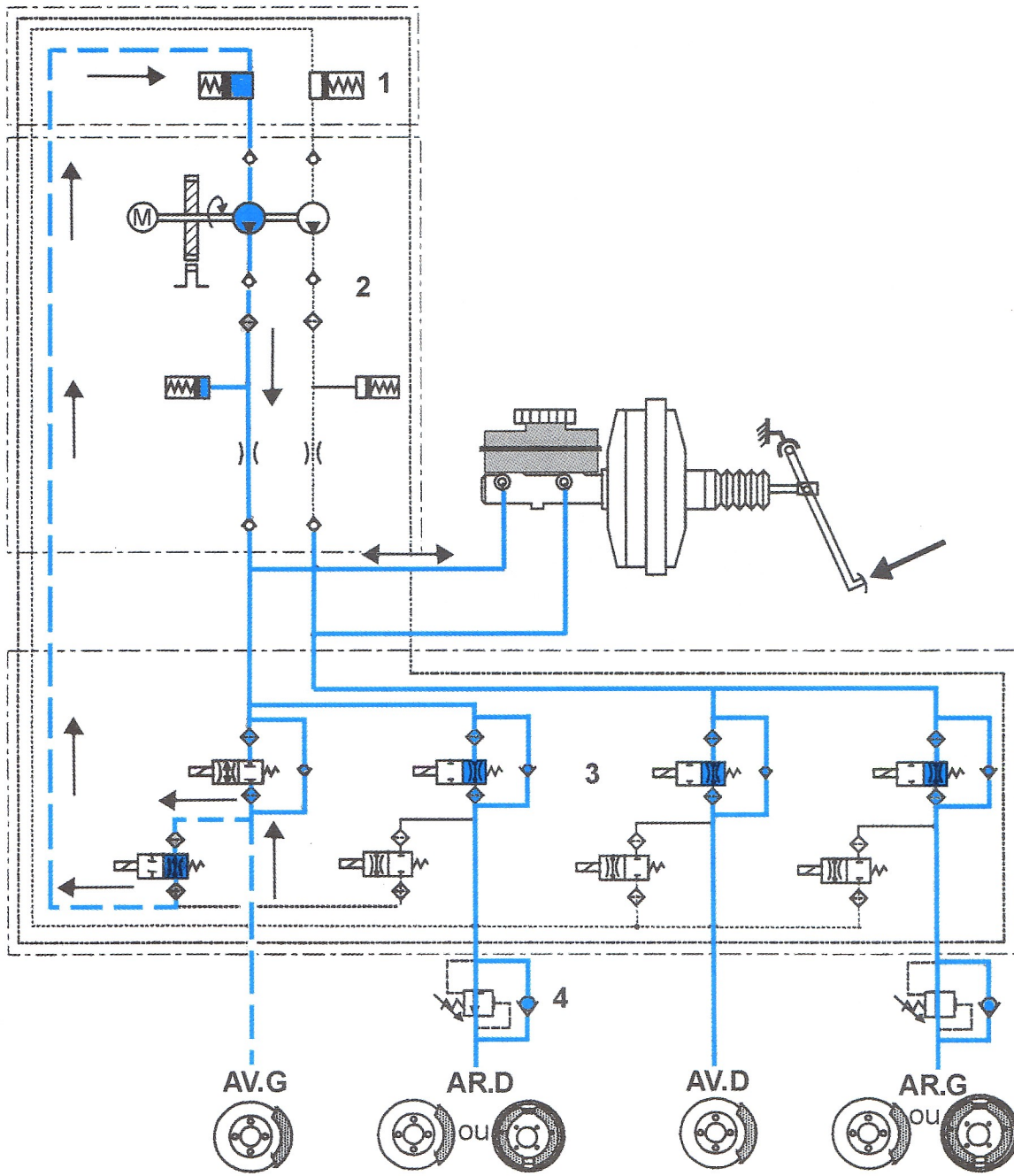


Figure 12.4 • Analyse systémique descendante du système antiblocage pour freinage classique, niveau A0.

■ Quel est le principe de fonctionnement du groupe hydraulique de régulation ?

Dès qu'une roue présente une vitesse de rotation anormale (glissement), le calculateur agit sur le modulateur (électrovannes) afin que la roue soit **défreinée partiellement ou totalement** par baisse ou suppression de la pression hydraulique dans le récepteur concerné (figure 12.5).



- ① Accumulateur basse pression.
- ② Chambre d'amortissement et moteur-pompe.
- ③ Bloc électrovannes (modulateur).
- ④ Compensateurs.

**Figure 12.5** • Schéma hydraulique du système avec défreinage de la roue avant gauche (document Renault).

Dans l'exemple de la figure 12.5, la roue avant gauche présente des pertes d'adhérence. Si le glissement est total, l'électrovanne d'échappement est mise en position ouverte et simultanément, celle d'admission est fermée.

Dans le même temps, la pompe est actionnée et la pression est évacuée du récepteur. Le liquide en excédent est stocké dans l'accumulateur basse pression. Si la quantité est importante (deux roues bloquées), l'excédent remonte au réservoir.

Le conducteur ressent un à-coup dans la pédale qui lui signale la mise en action du système antiblocage. Ce qui lui permet d'avoir une information sur l'état du contact pneu/sol.

**Remarque**

Ce système permet également une montée en pression après baisse.

Le tableau ci-dessous va nous permettre de récapituler.

État de la pression	Électrovanne d'admission	Électrovanne d'échappement	Moteur-pompe	Régulation
• Montée	(0) Ouverte	(0) Fermée	0	Sans régulation
• Maintien	(1) Fermée	(0) Fermée	0*	Avec régulation
• Baisse	(1) Fermée	(1) Ouverte	1	
• Montée après baisse	(0) Ouverte	(0) Fermée	1	

0 = non alimentée en tension

1 = alimentée en tension

\* Lors du premier maintien, la pompe ne fonctionne pas (0). Lors des maintiens suivants, la pompe fonctionne (1).

**Quels sont les paramètres qui déclenchent la mise en action du groupe de régulation par le calculateur ?**

Les quatre capteurs de roues délivrent chacun une tension proportionnelle à la fréquence de rotation de chaque roue (figure 12.7). Ces tensions sont converties par le calculateur en courbes de vitesses tangentielles des roues (figure 12.8).

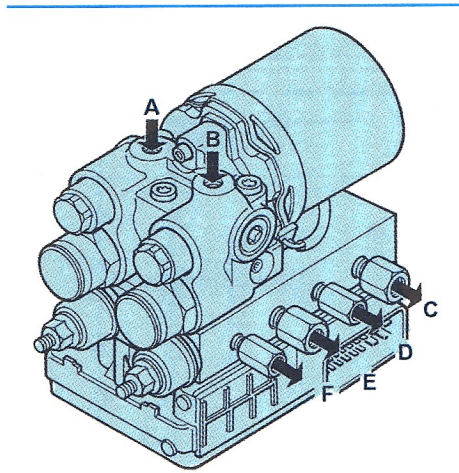


Figure 12.6 • Groupe hydraulique avec calculateur (document Renault).

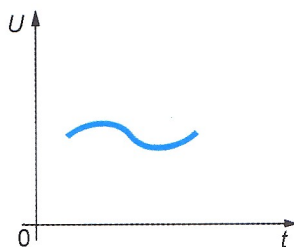


Figure 12.7 • Tension capteur.

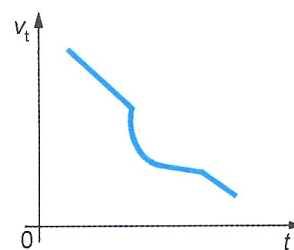


Figure 12.8 • Vitesse tangentielle d'une roue.

À partir de ces vitesses, la logique du calculateur détermine pour chaque roue une grandeur appelée **vitesse de référence** (figure 12.9) qui est proche de la vitesse du véhicule.

À partir de ces mêmes vitesses, la logique « reconnaît » le type d'adhérence et les conditions de roulage : verglas, route mouillée, haute adhérence, virage, etc. Elle en déduit un **seuil de glissement optimal** adapté à chacune des roues (figure 12.10).

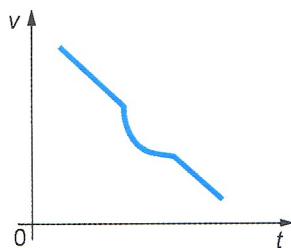


Figure 12.9 • Vitesse de référence.

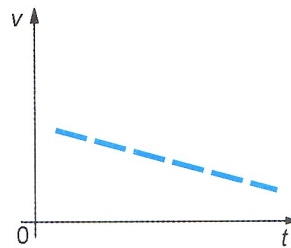


Figure 12.10 • Seuil.

2

Le freinage

Deux cas peuvent se présenter :

**1.** La vitesse de la roue concernée **ne descend pas en dessous du seuil** de vitesse ; elle est adaptée aux circonstances de roulage et d'adhérence instantanées. La roue ne se dirige donc pas vers le blocage. L'antiblocage n'est pas actionné (figure 12.11).

**2.** La vitesse de la roue concernée **descend en dessous du seuil**. Cela signifie que la vitesse de la roue s'écarte trop de la vitesse du véhicule. Le calculateur déclenche une régulation hydraulique en direction de la roue concernée (figure 12.12).

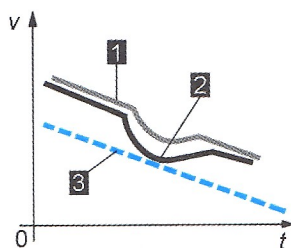


Figure 12.11 • La vitesse de la roue ne passe pas le seuil.

- ① Vitesse de référence.
- ② Vitesse de roue.
- ③ Seuil.

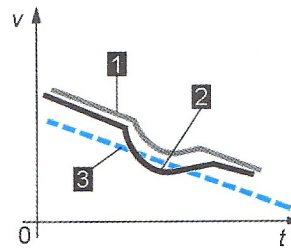


Figure 12.12 • La vitesse passe sous le seuil.

■ Quelles sont les caractéristiques d'un système antiblocage intégré ?

Après l'étude d'un système antiblocage sur freins classiques (récapitulation figure 12.13), observons les particularités des systèmes intégrés (figures 12.14, 12.15 et 12.16).

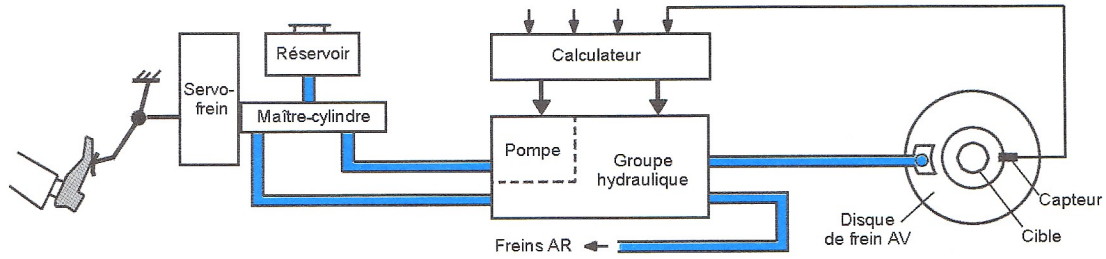


Figure 12.13 • Systèmes sur freinage classique (Bendix, Teves, Bosch).

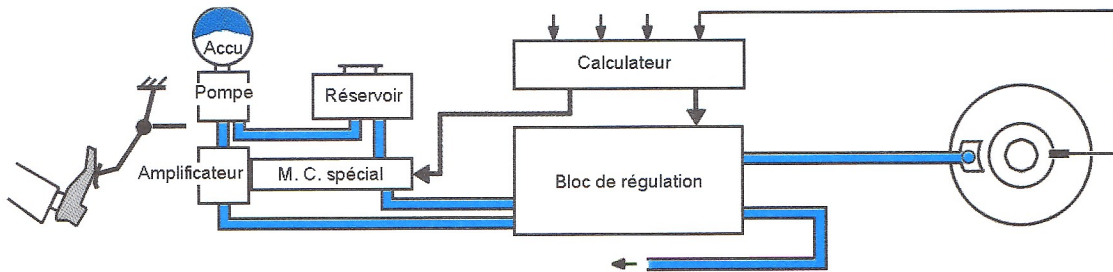


Figure 12.14 • Système intégré Teves.

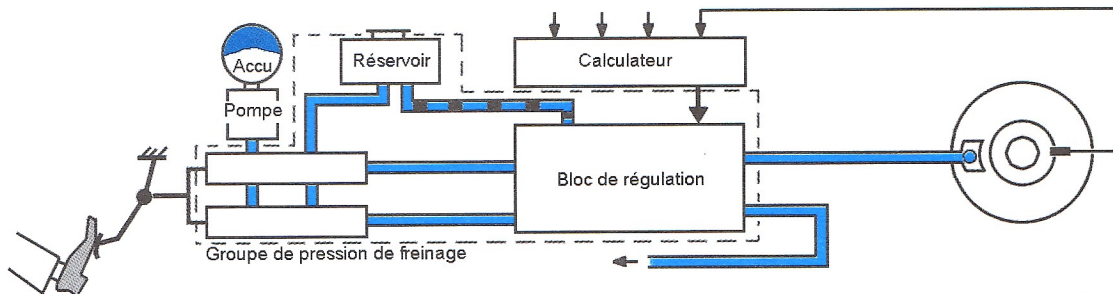


Figure 12.15 • Système intégré Bendix.

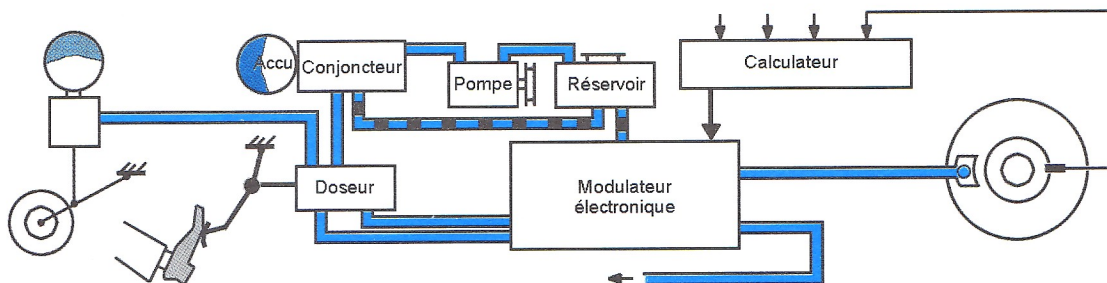
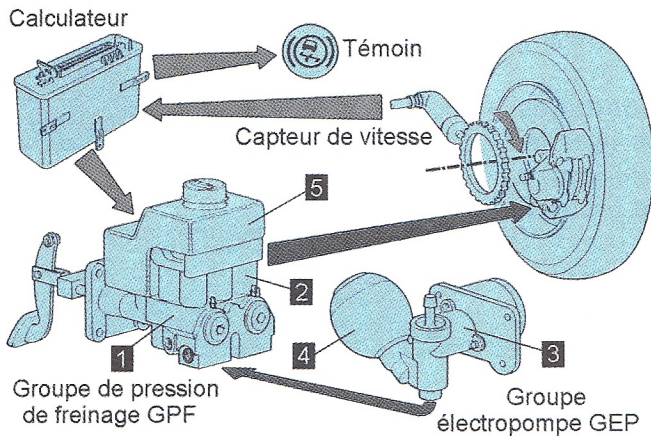


Figure 12.16 • Système Bendix pour Citroën.

**Exemple**

Regardons le système intégré Bendix (figures 12.15 page précédente et 12.17 ci-dessous).

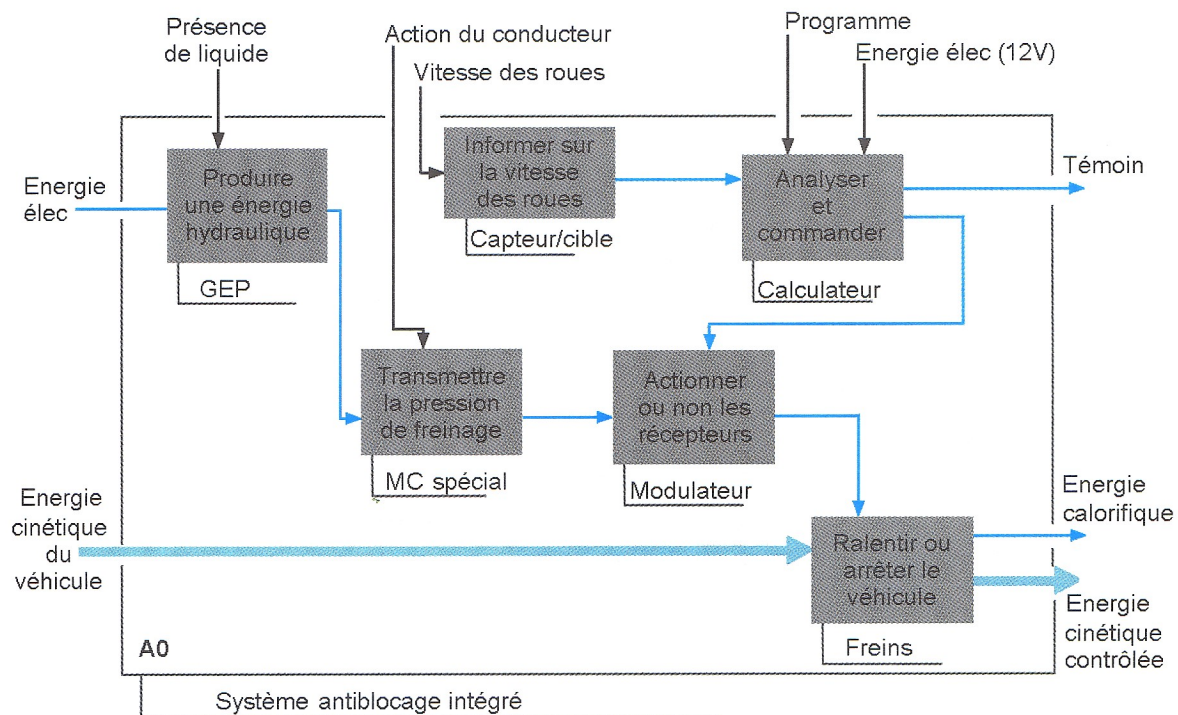


- 1 Maître-cylindre spécial à double circuit.
- 2 Modulateur.
- 3 Pompe aspirante et refoulante.
- 4 Accumulateur hydropneumatique.
- 5 Réservoir hydraulique.

**Figure 12.17** • Système antiblocage intégré (document Bendix).

Dans ce système, le maître-cylindre classique est remplacé par un maître-cylindre spécial à double circuit intégré au groupe hydraulique appelé **groupe de pression de freinage** (GPF). L'assistance du freinage est assurée par un ensemble appelé **groupe électropompe** (GEP) composé d'une pompe aspirante et refoulante, et d'un accumulateur de pression.

La figure 12.18 présente l'analyse des systèmes antiblocage intégrés.



**Figure 12.18** • Analyse systémique descendante des systèmes ABR intégrés.