

ROYAUME DU MAROC

مكتب التكوين المهني وإنعاش الشغل

Office de la Formation Professionnelle et de la Promotion du Travail

DIRECTION RECHERCHE ET INGÉNIERIE DE FORMATION

RÉSUMÉ THÉORIQUE & GUIDE DE TRAVAUX

PRATIQUES

**MODULE N°:12 ENTRETIEN D'UN SYSTEME DE
FREINAGE**

SECTEUR : REPARATION DES ENGINS A MOTEUR

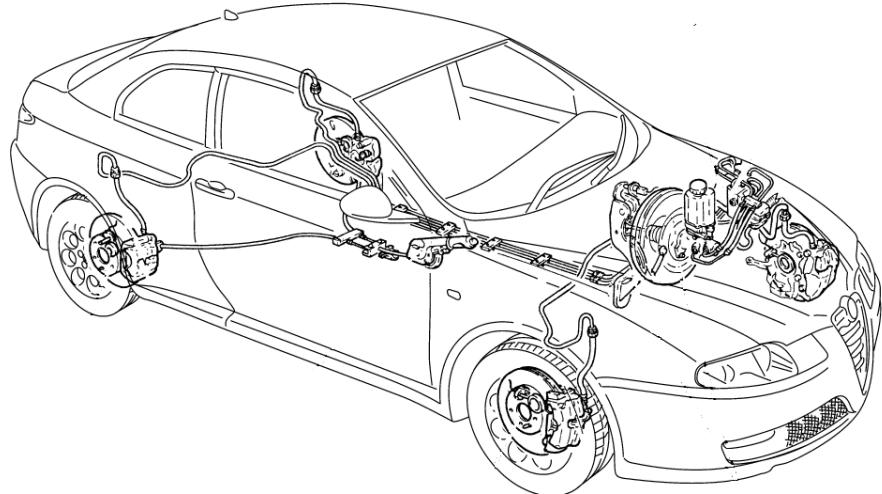
**SPÉCIALITÉ : RÉPARATION DES ENGINS A MOTEUR
OPTION : AUTOMOBILE**

NIVEAU : TECHNICIEN

Sommaire

1. FREINAGE	3
2. TYPES DE SYSTEME DE FREINAGE	4
3. TYPES DE COMMANDE	5
4. SCHEMA HYDRAULIQUE EN "X"	6
5. DYNAMIQUE DU FREINAGE	7
5. 1 COEFFICIENT D'ADHERENCE	7
5. 2 FACTEURS INFLUENCANT LE COEFFICIENT D'ADHERENCE	8
5.3 FORCE DE FREINAGE	9
5.4 PREPARATION DE LA FORCE DE FREINAGE SUR LES ESSIEUX	10
5.5 DISTANCES DE FREINAGE	11
5.6 DELAIS DE FREINAGE	12
6. COMPOSANTS DU SYSTEME DE FREINAGE	13
6.1 FONCTIONNEMENT DES COMPOSANT	13
6. 2 PEDALES DE FREIN	15
6.3 SERVOFREIN A DEPRESSION ET MAITRE-CYLINDRE	16
6.4 FONCTIONNEMENT DU SERVOFREIN A DEPRESSION	17
6.5 MAITRE-CYLINDRE DE FREINS	18
6.6 REPARTITEUR DE FREINAGE	18
6.7 REPARTITEUR DE FREINAGE: FONCTIONNEMENT	19
6.8 FREINS A DISQUES	20
6.9 TYPES D'ETRIERS DE FREIN	20
6.10 TYPES DE DISQUES	21
6. 11 PLAQUETTES	22
6. 12 FREINS A TAMBOUR	22
6. 13 DISPOSITIF D'AUTO-REGLAGE DU JEU MACHOIRES-TAMBOURS ARRIERE	23
6. 14 FREIN DE STATIONNEMENT	24
6. 15 LIQUIDES POUR SYSTEME DE FREINAGE	25
7. SYSTEMES DE FREINAGE SERVO-ASSISTÉ	26
7. 1 COULISSEMENT DU PNEU	26
7. 2 VARIATION DE L'ADHERENCE AVEC LE COULISSEMENT	27
7.3 ADHERENCE TRANSVERSALE	28
7.4 COMPORTEMENT DU VEHICULE EN PHASE DE FREINAGE	29
8. SYSTEME ANTI-BLOCAGE	29
8.2 FREINAGE EN COURBE	31
8.3 FRANCHISSEMENT D'UN OBSTACLE	31
8.3 SYSTEME ABS	33
8.4 FONCTIONNEMENT DU SYSTEME	34
8.5 CAPTEURS DE VITESSE DE ROUE	35
8.5 SYSTEME ELECTRO-HYDRAULIQUE	38
8.6 CONFIGURATIONS POSSIBLES DU SYSTEME	41
8.7 SIGNIFICATION DES SIGLES	41
8.8 SCHEME HYDRAULIQUE DE LA CENTRALE ELECTRO-HYDRAULIQUE	43
8.9 FONCTIONNEMENT DE LA CENTRALE ELECTRO-HYDRAULIQUE	44
8.9. 1 PHASE DE REPOS	44
8.9. 2 PHASE D'AUGMENTATION DE LA PRESSION	45
8.9.3 PHASE DE MAINTIEN DE LA PRESSION	46
8.9.4 PHASE D'ABAISSEMENT DE LA PRESSION	47
8.9.5 RELACHEMENT DE LA PEDALES DE FREIN	48
9. FONCTION EBD	49

1. FREINAGE



A. FONCTIONS

le freinage d'un véhicule remplit deux fonctions distinctes:

- permettre la diminution de la vitesse du véhicule en cours de route par le ralentissement et, si besoin est, l'arrêt sur des distances raisonnables.
- maintenir le véhicule à l'arrêt lorsqu'il se trouve en stationnement, notamment dans le cas d'une route en pente

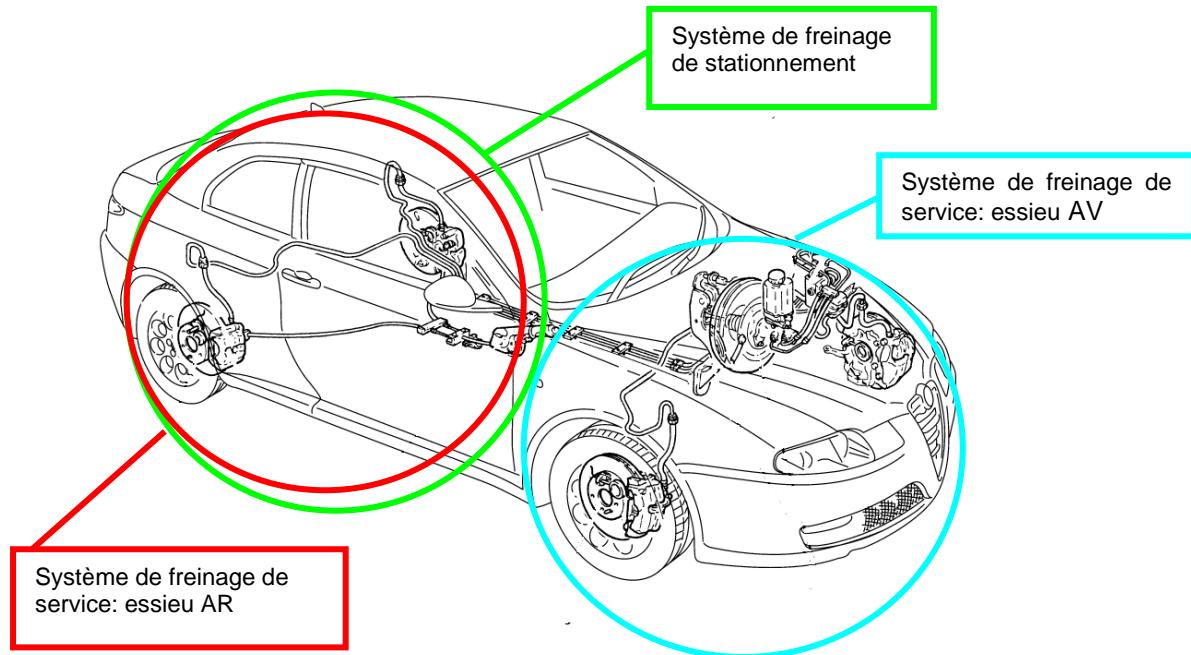
B. MODALITE

Le freinage s'effectue en transformant l'énergie cinétique du véhicule en frottement et donc en chaleur laquelle est diffusée dans l'air; l'organe chargé de cette opération est le frein.

FREIN: s'agissant des véhicules on désigne par "frein" un organe spécifique commandé par le conducteur à l'aide d'un levier prévu à cet effet (à pédale) capable d'engendrer une action contraire à la vitesse même du véhicule; des actions analogues sont également exercées par ce que l'on appelle les résistances passives du mouvement telles que la résistance aérodynamique, celle du roulement, celle causée par les frottements du moteur et de la transmission; toutefois la seule contrôlable (et modifiable) par le conducteur est celle exercée via la pédale de frein.

PUISANCES NECESSAIRES: en général le frein s'oppose au mouvement de rotation des roues et des organes rotatifs qui leur sont reliés mais aussi il crée indirectement des forces qui s'opposent à la vitesse du véhicule grâce à l'adhérence des roues au sol; les puissances ainsi demandées au frein sont très élevées de l'ordre de centaines de kW pour les automobiles et encore davantage pour les véhicules utilitaires.

2. TYPES DE SYSTEME DE FREINAGE



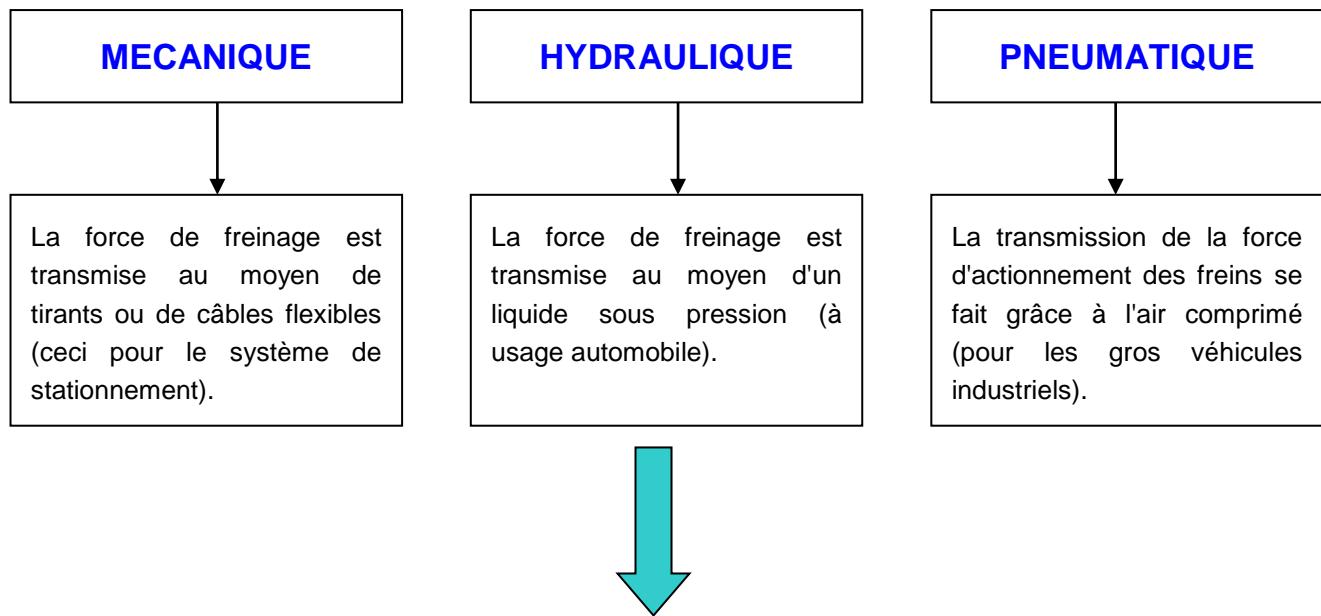
SYSTEMES DE FREINAGE: pour remplir les deux conditions distinctes de fonctionnement ci-dessus, les systèmes de freinage des véhicules se composent de deux sections.

SYSTEME DE FREINAGE DE SERVICE: le système de service (frein à pédale) permet de réduire la vitesse du véhicule, de maintenir une vitesse constante du véhicule sur une route en pente et de stopper le véhicule; ce système est utilisé pendant le fonctionnement normal du véhicule; le freinage est modulé progressivement par la pression exercée sur la pédale de frein et il intervient sur toutes les roues; pour des raisons de sécurité le système est dédoublé en deux circuits indépendants.

SYSTEME DE FREINAGE DE SECOURS: le système de secours intervient, généralement avec peu d'efficacité, lorsque celui traditionnel tombe en panne, ce système ne constitue pas un troisième système autonome venant s'ajouter à ceux de service et de stationnement; il peut être le circuit du système de freinage de service en fonctionnement ou un frein de stationnement à action progressive.

SYSTEME DE FREINAGE DE STATIONNEMENT: le système de stationnement (frein à main) a pour rôle de maintenir le véhicule bloqué en l'absence du chauffeur (en descente, en stationnement, etc); pour des raisons de sécurité le frein de stationnement doit présenter une liaison mécanique entre le dispositif d'actionnement et le frein de la roue; cela peut être par exemple un câble en acier.

3. TYPES DE COMMANDE



SYSTEME DE FREINAGE HYDRAULIQUE: le système de freinage hydraulique exploite la pression d'un liquide pour transmettre la force de freinage de la pédale de commande aux organes de freinage situés au niveau des roues.

PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT une pompe, commandée par la pédale de frein et reliée au réservoir d'alimentation du liquide transmet la pression atteinte à quatre actionneurs hydrauliques montés sur les freins dont l'action sur les plaquettes de freinage assure le freinage du véhicule; la pompe est commandée dans la plupart des cas à l'aide d'un appareil multiplicateur de l'effort (servofrein); dans de nombreuses applications on adopte en outre un réducteur de pression à l'arrière train qui module l'action de freinage AR en fonction de la pression de freinage et de la charge qui pèse sur l'essieu AR.

SCHEMAS ADOPTES: le circuit hydraulique est toujours de type dédoublé (pour des raisons de sécurité); il comprend deux circuits indépendants pour le train AV et l'arrière train; les variantes de ce schéma de base sont les suivantes:

Schéma dédoublé intégré: il se compose d'un circuit unique auquel s'ajoute un circuit indépendant uniquement pour les freins AV (schéma en H);

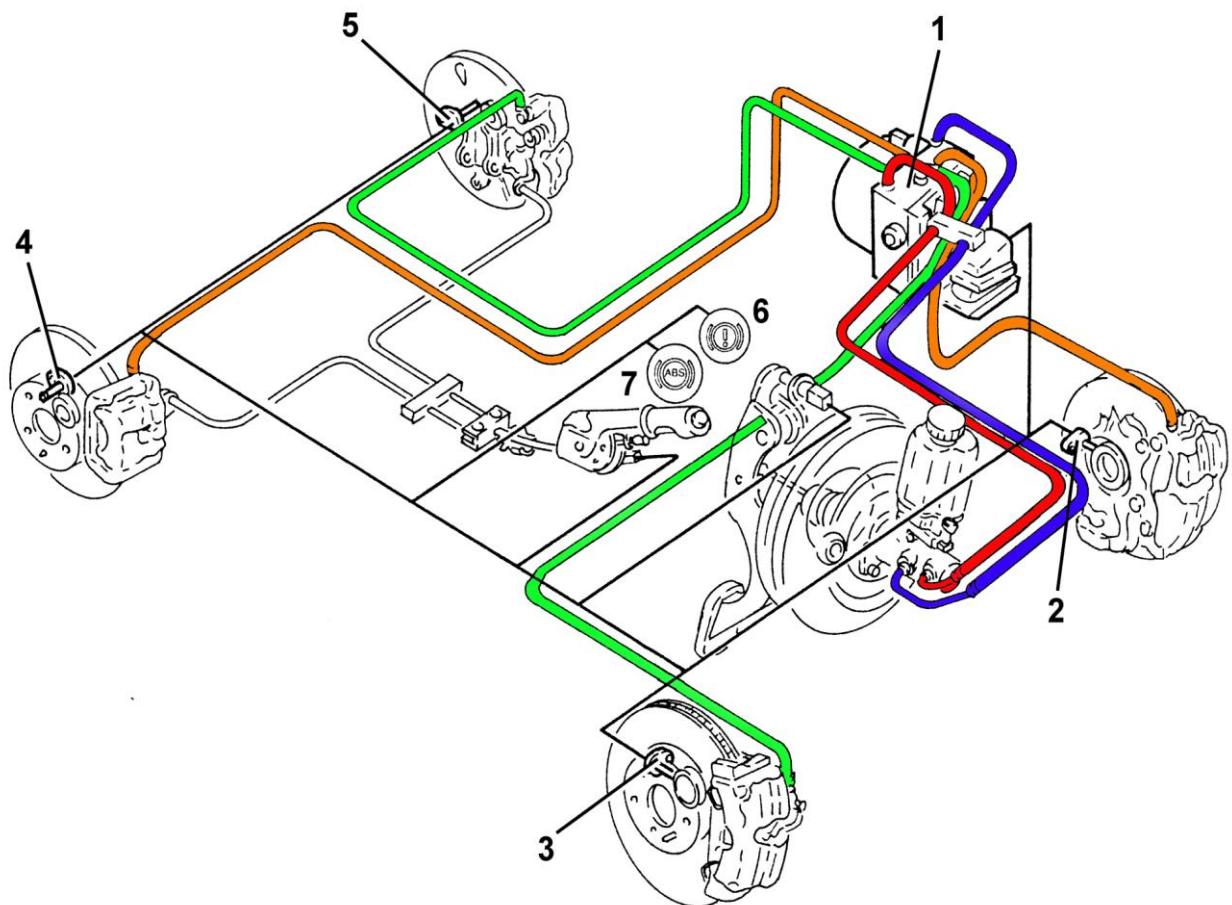
Schéma croisé: deux circuits de commande à l'avant et à l'arrière du côté opposé selon un schéma en X

Schéma dédoublé intégré: il existe deux circuits complets indépendants l'un de l'autre.

Schéma en double triangle comprend deux circuits dont chacun concerne trois seules roues (habituellement deux à l'avant et un à l'arrière).

Sur les véhicules récents du groupe Fiat on peut trouver uniquement le schéma de freinage croisé en X (voir ci-dessous).

4. SCHEMA HYDRAULIQUE EN "X"



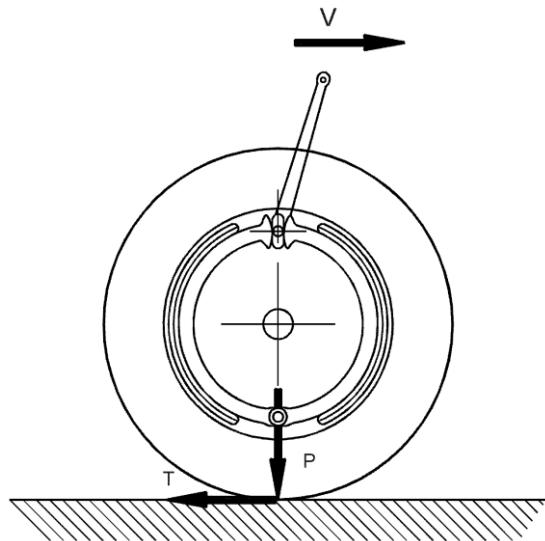
Dans le schéma de branchement hydraulique en X le premier canal à la sortie du maître-cylindre alimente l'actionneur du frein AVG et du frein ARD; le deuxième canal alimente les actionneurs AVD et ARG.

Le dédoublement des deux circuits permet en cas de panne, par exemple suite à la vidange d'un circuit, d'assurer le fonctionnement du freinage grâce à l'autre circuit.

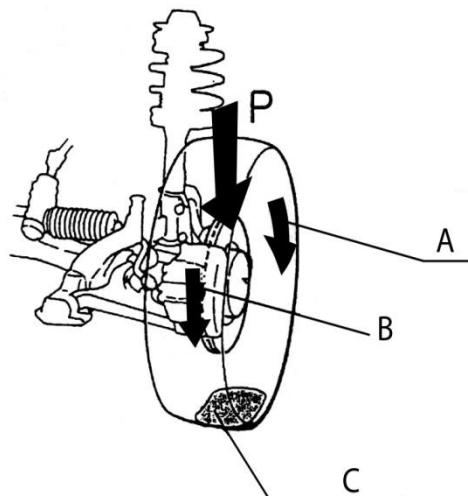
De plus pour maintenir un freinage équilibré, on choisit d'actionner les actionneurs de façon croisée.
Sinon, une commande dédoublée de type essieu AV - essieu AR pourrait entraîner une instabilité du véhicule en raison d'une mauvaise répartition du freinage entre les essieux.

5. DYNAMIQUE DU FREINAGE

5.1 COEFFICIENT D'ADHERENCE



V - vitesse du véhicule
P poids reposant sur la roue
T force tangentielle d'adhérence



A. sens de rotation
B. force de freinage
C. zone d'appui/d'adhérence
P. force du poids

DEFINITION: le coefficient d'adhérence est le rapport entre la charge reposant sur la roue et la force T tangentielle qui est engendrée lors du contact entre la roue et le sol; c'est un paramètre indiquant la capacité de la roue à "s'accrocher" à la route sans glisser.

CONDITIONS le coefficient d'adhérence NE dépend ni des caractéristiques du véhicule ni de la vitesse mais du type de pneu, de son état et des conditions de la chaussée.

CHAUSSEE				
Pneus	Asphalte sec	Asphalte mouillé	Boue Neige	Verglas
Chape neuve	0,9	0,6	0,25	0,1
Chape usée	0,65	0,4	0,2	0,1

IMPORTANT: la valeur maximum d'accélération en phase d'augmentation de la vitesse du véhicule aussi bien que la valeur maximum de décélération en phase de freinage sont limitées par la valeur d'adhérence des pneus; au-delà de cette limite d'adhérence les roues patinent (lorsque la vitesse augmente) ou glissent (au moment du freinage).

5. 2 FACTEURS INFLUENCANT LE COEFFICIENT D'ADHERENCE

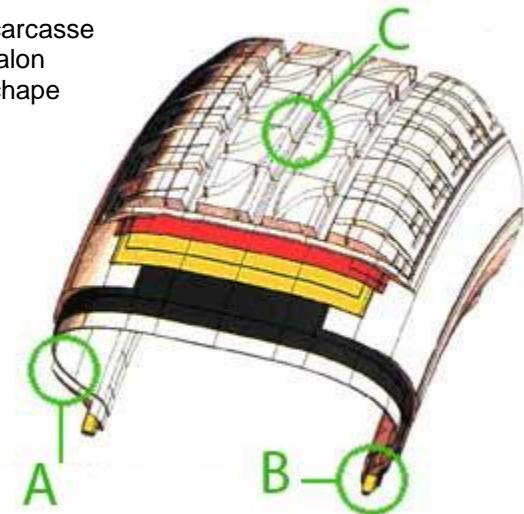
Le coefficient d'adhérence ou de frottement désigne la poussée maximum qui peut s'exercer tangentielle sur la périphérie d'un pneu par rapport à la force du poids qui repose sur lui; un coefficient d'adhérence supérieure permet d'obtenir, à poids égal reposant sur la roue, une force d'adhérence supérieur pneu-chaussée, force qui constitue la limite maximum de la force de freinage qui peut s'appliquer à la roue elle-même.

STRUCTURE
MELANGE
SCULPTURE
TEMPERATURE
USURE
VITESSE



PNEUMATIQUE

- A. carcasse
- B. talon
- C. chape



FORME
RUGOSITE
ETAT DE
SURFACE
TEMPERATURE



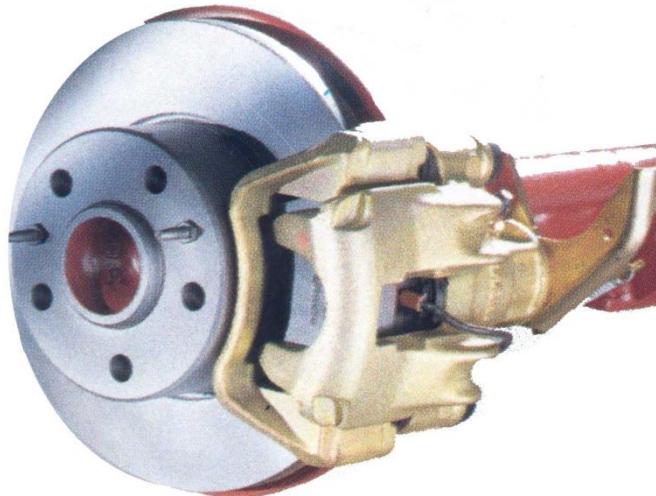
CHAUSSEE



5.3 FORCE DE FREINAGE

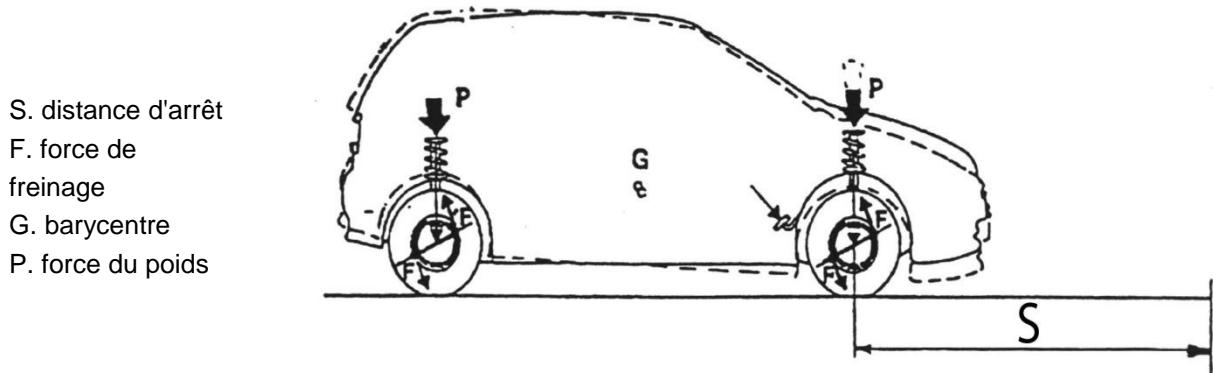
DEFINITION: la force de freinage est une force qui, lorsqu'elle est appliquée à certains éléments du véhicule (par exemple le moyeu de roue) permet le freinage du véhicule; cette force de freinage est engendrée par le frottement produit entre les mâchoires et les tambours (ou entre les patins et leurs disques) lorsqu'ils entrent en contact au moyen des forces exercées sur la pédale.

LIMITATIONS: la force de freinage ne peut être indéfiniment élevée comme cela serait souhaitable en vue d'un arrêt rapide du véhicule; la force de freinage (ou mieux le couple de freinage s'il s'applique aux roues) est limitée, à poids égal reposant sur la route, par la valeur de la force d'adhérence qui s'instaure au contact entre la roue et la chaussée; si la force de freinage dépasse cette limite la roue se bloque réduisant ainsi l'action de freinage sur les roues en raison de la baisse d'adhérence.



ADAPTATION AUTOMATIQUE DU SYSTEME les dimensions du système de freinage doivent tenir compte du poids du véhicule à pleine charge et du coefficient maximum d'adhérence sol-pneu, ceci dans le but d'assurer un ralentissement efficace ou un arrêt le plus rapidement possible dans n'importe quelle condition de roulement; il est cependant surdimensionné à causes des conditions récurrentes de charge partielle et d'adhérence réduite; dans ces circonstances l'application de la force de freinage aboutit au blocage immédiat des roues et par conséquent à la réduction du coefficient d'adhérence et à une baisse de l'efficacité du freinage; l'objectif d'arrêter un véhicule de façon rapide et efficace quelles que soient les conditions oblige par contre de conserver l'état de roulement des pneus bien que, pour des besoins de conception la force de freinage appliquée sur les plaquettes de freins soit fréquemment excessive par rapport au poids en roulement et aux coefficients normaux d'adhérence.

5.4 PREPARATION DE LA FORCE DE FREINAGE SUR LES ESSIEUX

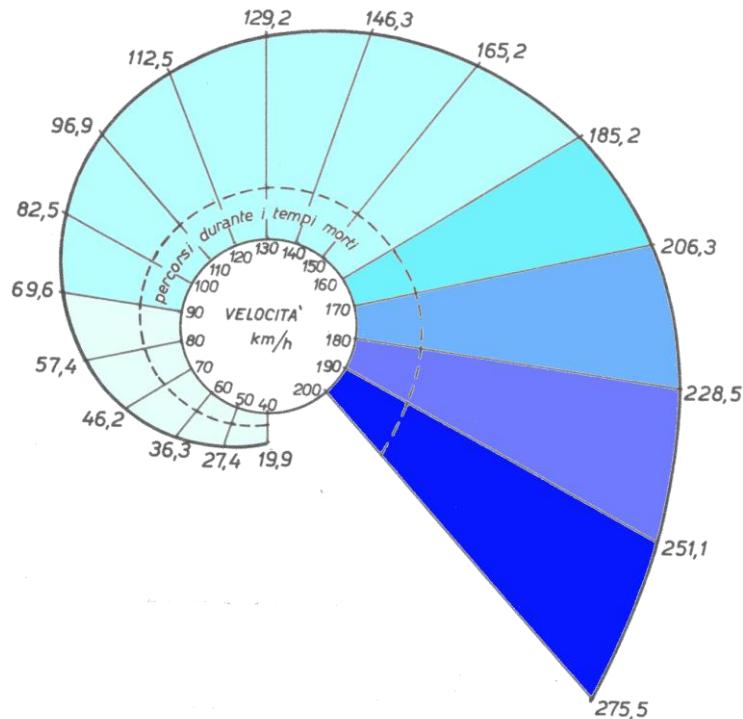


CONDITIONS POUR UN FREINAGE EQUILIBRE Théoriquement pour un freinage équilibré sur un véhicule idéal, avec le barycentre au niveau du sol, il faudrait que le poids du véhicule soit réparti de façon égale sur toutes les roues, afin de pouvoir exercer sur chacune d'entre elles une force de freinage compatible avec la valeur de la force d'adhérence, proportionnelle au poids.

CONDITIONS REELLES: dans la réalité le barycentre est surélevé par rapport au sol, ce qui explique que la force d'inertie due au freinage et agissant sur le barycentre crée un couple de forces qui entraîne un allègement de l'essieu AR et une augmentation du poids reposant sur l'essieu AV; par conséquent, dans ces conditions, proportionnellement aux décélérations du véhicule, on améliore les conditions d'adhérence de l'essieu AV mais on agrave les conditions d'adhérence de l'essieu AR d'autant que dans certains cas il peut y avoir blocage des roues AR entraînant des phénomènes de surdirection.

REPARTITEUR DE FREINAGE: pour obtenir un freinage équilibré il faudrait augmenter la puissance de freinage sur les roues AV et la réduire sur celles AR; c'est dans ce but que certains systèmes de freinage ont été dotés de régulateurs de pression, capables de réduire la puissance de freinage sur les roues AR en fonction de la charge; ces dispositifs ont pour nom "répartiteurs de freinage" et seront détaillés plus avant.

5.5 DISTANCES DE FREINAGE



DEFINITION: il s'agit de la distance couverte par le véhicule au moment où le conducteur commande le frein jusqu'à ce que le véhicule s'arrête entièrement.

PARAMETRES: dans la définition de la distance de freinage on devra prendre en compte, en plus de la valeur de décélération avec laquelle le véhicule ralentit, également les temps morts qui s'écoulent entre l'actionnement de la commande et le début du freinage (temps perceptible dans les systèmes qui exploitent une source d'énergie auxiliaire pour le freinage).

CONDITIONS DETERMINANTES

les valeurs de distance de freinage sont calculées comme suit:

- Pneus en excellentes conditions et gonflés à la pression préconisée
- Système de freinage en excellent état de marche
- Parcours rectiligne
- Route plate, goudronnée et sèche
- Charge normale et bien répartie sur le véhicule

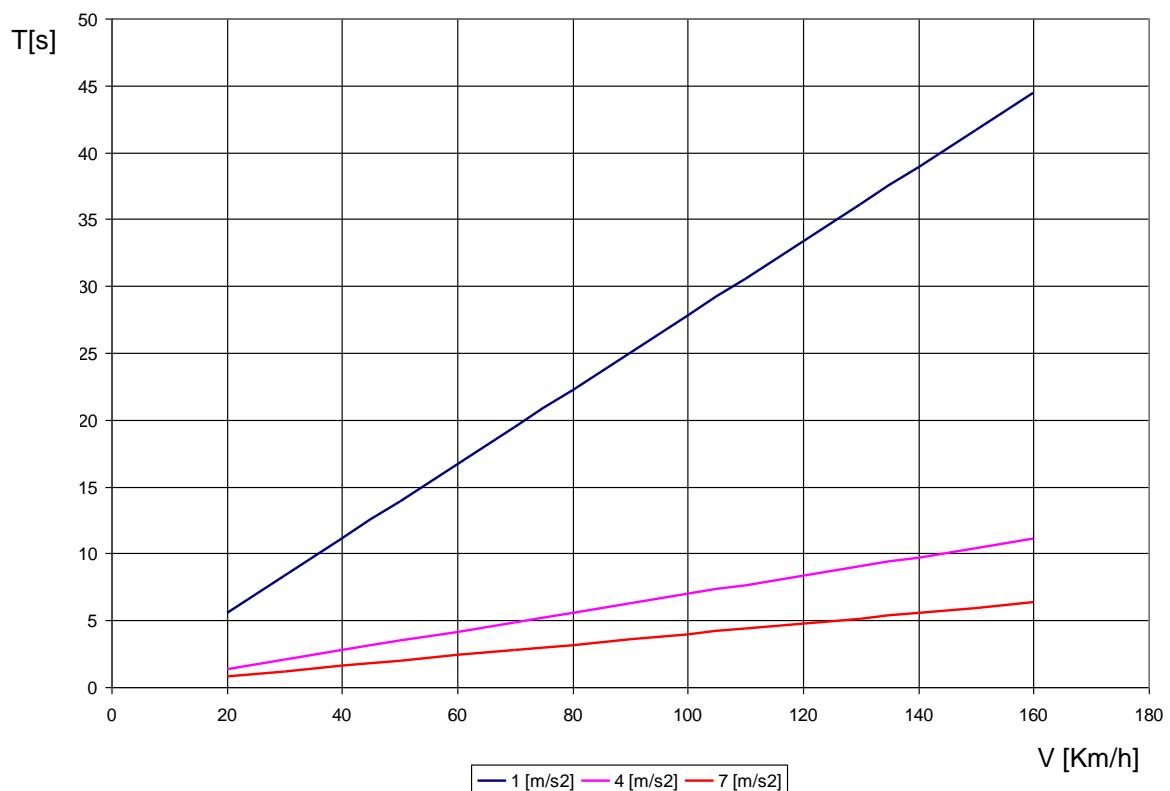
5.6 DELAIS DE FREINAGE

DEFINITION: conformément à la définition de la distance de freinage, il s'agit du délai qui s'écoule depuis l'actionnement de la commande par le conducteur jusqu'à l'arrêt complet du véhicule; il se compose d'un temps de réponse et d'un temps de décélération.

PARAMETRES: ce sont les mêmes que ceux qui entrent en jeu pour déterminer les distances de freinage.

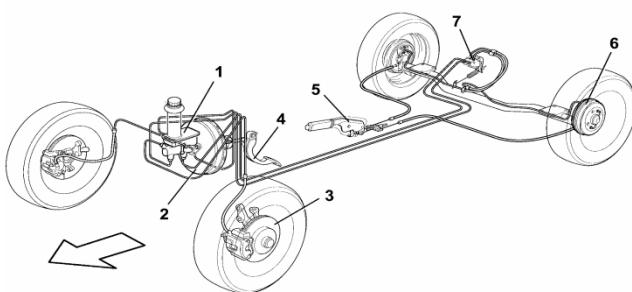
CONDITIONS ce sont les mêmes que celle prévues pour calculer les distances de freinage.

Graphique des délais de freinage pour trois différentes valeurs de décélération:



6 COMPOSANTS DU SYSTEME DE FREINAGE

6. 1 FONCTIONNEMENT DES COMPOSANT

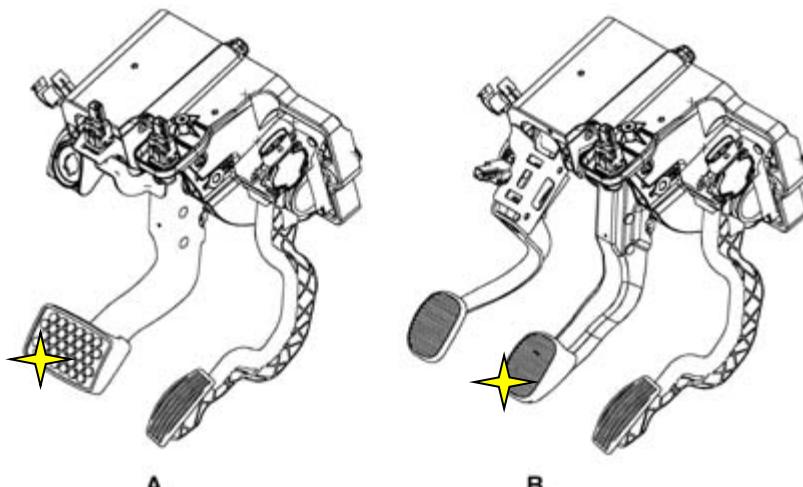
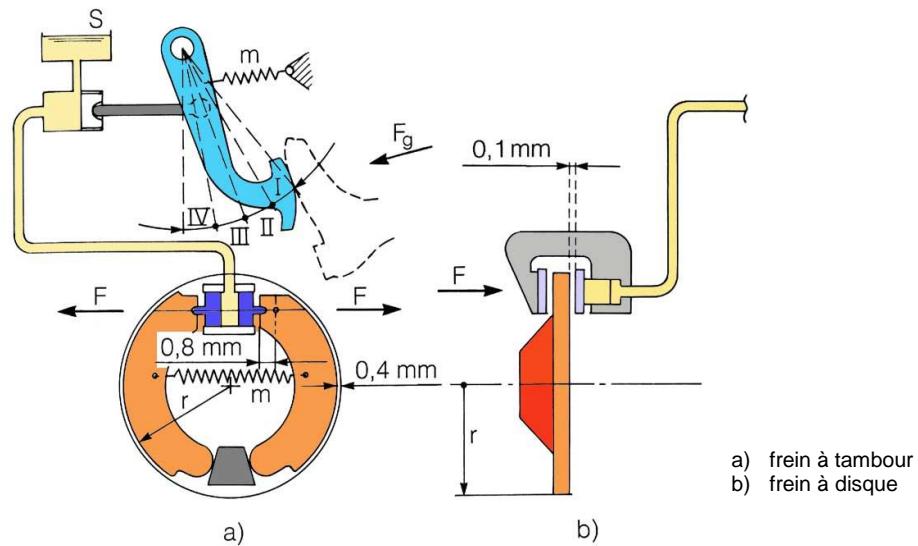


1. réservoir de liquide de freins et pompe pour circuits de freins indépendants
2. servofrein à dépression
3. freins à disque AV
4. pédale de frein
5. levier de commande du frein de stationnement
6. freins AR à tambour
7. répartiteur de freinage

COMPOSANT	FONCTION	CONNEXIONS
Pédale de frein	Permet au conducteur de commander et de transmettre la force que le conducteur exerce sur la pédale au piston du maître-cylindre	Elle est reliée mécaniquement au piston du maître-cylindre
Servofrein à dépression	Il s'agit du composant qui augmente la force exercée sur la pédale du frein par le conducteur	Mécaniquement avec le maître-cylindre et la pédale de frein; branchement pneumatique avec la source de dépression (conduit d'admission moteur pour les moteurs à essence ou pompe à vide pour les moteurs diesel).
Pompe à vide	Dans les moteurs diesel il s'agit de la source de dépression. (cf. manuel moteur diesel)	Mécaniquement avec le moteur; branchement pneumatique avec le servofrein à dépression
Maître-cylindre des freins	Il s'agit du dispositif qui transforme la force provenant de la pédale et du servofrein en pression hydraulique transmise ensuite aux actionneurs.	Mécaniquement avec la pédale de frein et le servofrein; hydrauliquement avec les actionneurs de freinage.
Répartiteur de freinage	Contrôle et limite la pression du liquide dans le circuit de freinage des roues AR	Hydrauliquement avec les freins de l'essieu AR et avec le maître-cylindre des freins
Freins à disque	Effectuent le freinage	Mécaniquement avec les moyeux de roue et hydrauliquement avec le maître-cylindre
Freins à tambour	Effectuent le freinage	Mécaniquement avec les moyeux de roue et hydrauliquement avec le maître-cylindre de freins
Frein de stationnement	Effectue le freinage pendant le stationnement du véhicule	Mécaniquement avec les freins de l'essieu AR

Réservoir	Contient le fluide (huile) qui alimente le système de freinage	Hydrauliquement avec le maître-cylindre de frein
------------------	--	--

6. 2 PÉDALE DE FREIN



BUT: par l'intermédiaire de la tige, la pédale transmet la force que le conducteur exerce sur la pédale au piston du maître-cylindre qui détermine la pression hydraulique.

FONCTIONNEMENT en intervenant sur la pédale de frein, le conducteur commande le maître-cylindre de freins en mettant sous pression l'huile qu'il contient; la pression se répercute sur les freins qui effectueront le freinage; ainsi la force de freinage sera proportionnelle à la force avec laquelle le conducteur actionne la pédale de frein; ceci se vérifie dans les systèmes qui ne sont pas équipés de l'ABS (antibloquage des roues lors du freinage) car la pression d'actionnement des freins est limitée pour éviter le blocage des roues, même si le conducteur enfonce la pédale.

La course de la pédale de frein est subdivisée en quatre parties correspondant aux phases suivantes:

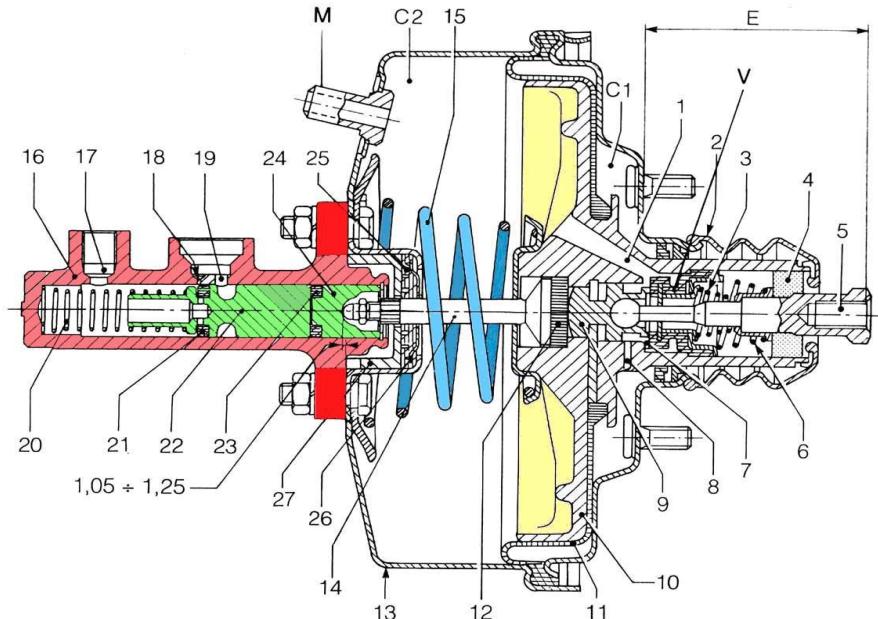
Phase 1: course de reprise des jeux de commande, y compris ceux hydrauliques correspondant par exemple à la fermeture dans la pompe de commande du conduit de communication avec le réservoir d'huile S; cette course équivaut à environ 10 mm sur la pédale de frein

Phase 2: course correspondant à l'accouplement des garnitures de commande au tambour ou au disque; cette valeur équivaut à environ 65 mm

Phase 3: course de réaction correspondant à la déformation de la transmission de commande sous la pression exercée entre les plaquettes de freins et le tambour ou disque; pour les freins à tambour cette course équivaut à environ 5mm et à 10 mm pour les freins à disque

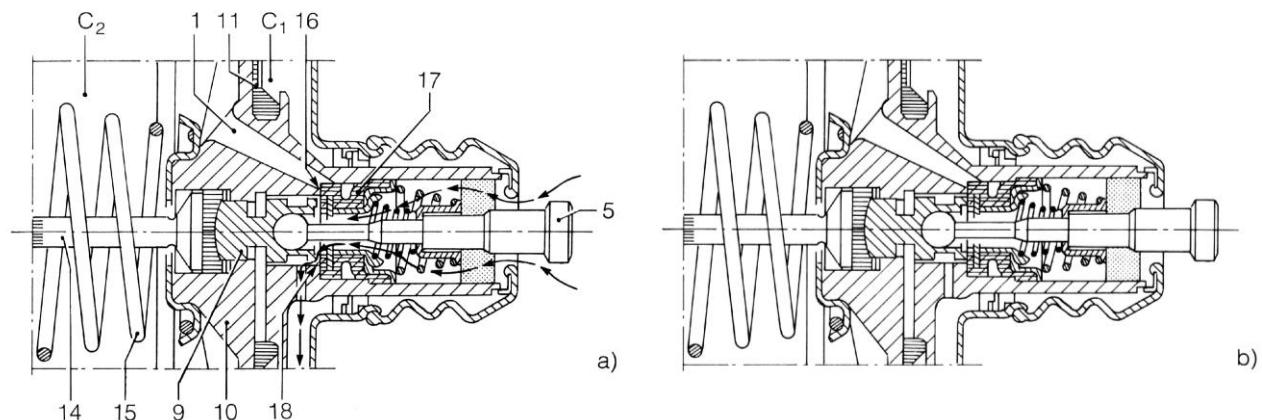
Phase 4: course de réserve: doit garantir la réalisation complète de la course de réaction en tenant compte des usures et en particulier des effets thermiques; pour les deux types de freins elle équivaut à environ 20 mm.

6.3 SERVOFREIN A DEPRESSION ET MAITRE-CYLINDRE



C1, C2 chambres de l'actionneur pneumatique	14. tige
E corps de commande et de réglage	15. ressort de retour du piston
M raccord du tuyau en dépression du moteur	16. corps de la pompe hydraulique
1. conduit en dépression	17. siège du raccord à trois voies de la canalisation de freins
2. soufflet de protection	18. et 19 orifices de compensation et d'alimentation de la pompe
3. et 6 ressorts de la soupape de réglage (V)	20. ressort de réaction du piston hydraulique 24
4. filtre à air	21. bague flottante
5. tige de commande soupape V	22. porte-bague flottante
7. et 8 communication de C1 avec l'atmosphère	23. joint d'étanchéité
9. piston de l'ensemble des soupapes de réglage (E)	24. piston hydraulique
10. piston pneumatique de support de la membrane	25. joint d'étanchéité AV
11. membrane	26. cuvette de centrage de la tige 14
12. disque de réaction de la tige 14	27. bague de guidage
13. couvercle	

6.4 FONCTIONNEMENT DU SERVOFREIN A DEPRESSION

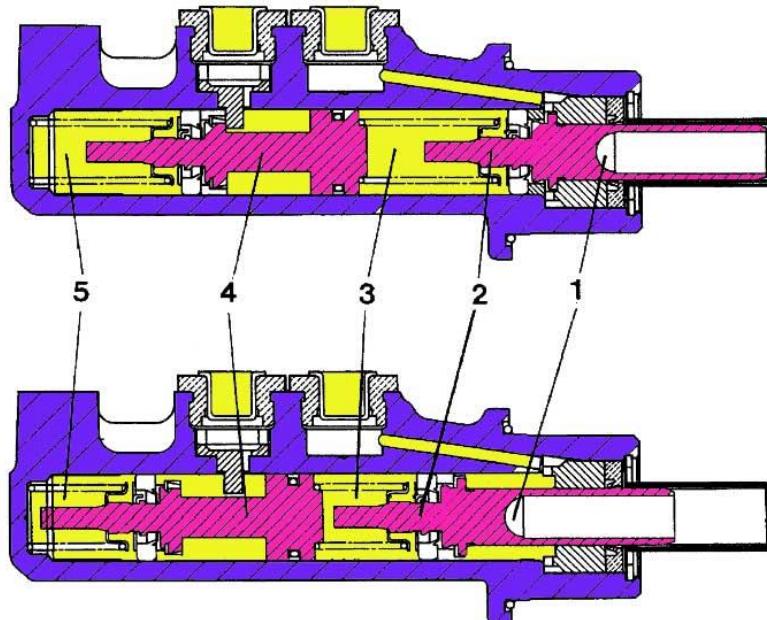


PHASE D'ACTIONNEMENT (cf. figure a): Le fonctionnement du servofrein se base essentiellement sur la fermeture et l'ouverture des passages (16) et (18) par la soupape actionnée par la tige de commande (5); la pédale exerce une pression sur la tige (5) qui bouche le conduit via le joint (17) qui appuie sur le logement de passage (16); simultanément la tige (5) ouvre le conduit (18) qui fait communiquer la face AR de la membrane pneumatique (11) avec l'atmosphère; par ailleurs elle exerce une poussée via la pointe (14) sur le maître-cylindre de frein avec la force résultant de la somme de la force avec laquelle on actionne la pédale de frein et de la force fournie par l'actionneur pneumatique.

PHASE DE MAINTIEN (cf. figure b): si on ne lève pas le pied de la pédale sans appliquer de charge, le déplacement vers la gauche du corps (10) bouche l'espace (18) entre l'obturateur et le joint (17) interrompant l'action progressive du servofrein qui se stabilise dans une condition de freinage modérée; pour parvenir à un freinage plus puissant enfoncez davantage la pédale en rétablissant la communication entre C1 et l'atmosphère.

PHASE DE RELACHEMENT: pour interrompre le freinage et revenir en condition de repos, il suffit de relâcher la pédale en faisant reculer la garniture (17) sur laquelle reste appuyé l'obturateur; on ouvre ainsi les passages (1) (7) et (8) équilibrant les dépressions des deux côtés de la membrane qui revient en condition de repos grâce au ressort (15).

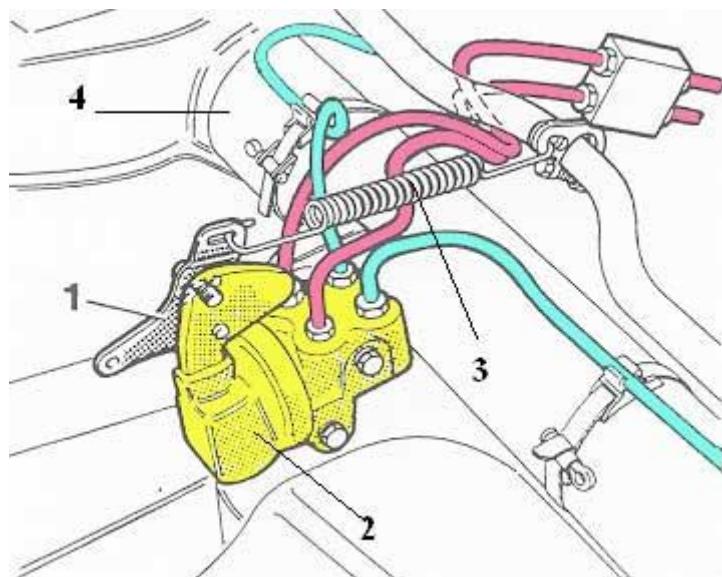
6.5 MAITRE-CYLINDE DE FREINS



1. Piston premier stade
2. tige
3. chambre premier stade
4. piston deuxième stade
5. chambre deuxième stade

FONCTIONNEMENT la commande, en provenance de la tige du servofrein, fait avancer le piston du premier stade: ce mouvement bouche le passage par l'orifice de débit après quoi débute la phase de compression proprement dite du liquide de freins. le deuxième stade, commandé par le premier, fonctionne de manière identique. en cas de perte de pression du premier stade, le piston correspondant bute sur celui secondaire assurant son fonctionnement, même avec une course de la pédale supérieure. Inversement en cas de perte du deuxième stade, le piston correspondant arrive en fin de course mais le fonctionnement du premier stade reste inchangé; dans ce cas aussi on observe un allongement de la course de la pédale.

6.6 REPARTITEUR DE FREINAGE



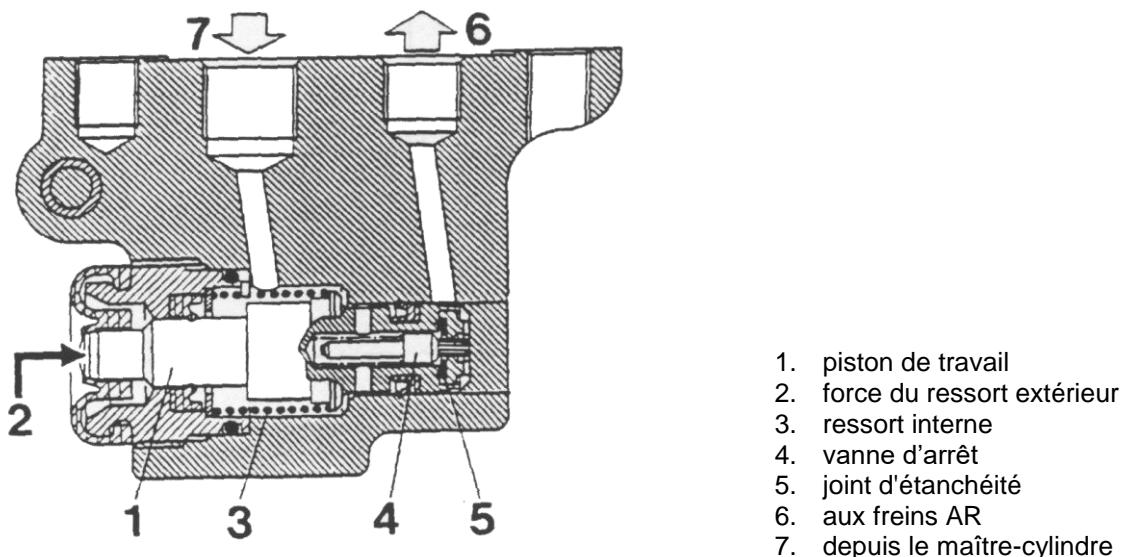
1. levier du répartiteur de freinage
2. répartiteur de freinage
3. ressort extérieur
4. bras de suspension

PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT Le répartiteur de freinage a pour fonction de contrôler et limiter la pression du liquide dans le circuit de freinage des roues AR afin de ne pas dépasser la limite d'adhérence des pneumatiques; l'adhérence des roues étant supérieure ou inférieure selon la charge, le répartiteur de

freinage diminue le freinage des freins AR, véhicule à vide et il augmente la puissance de freinage en fonction de l'augmentation de la charge sur l'essieu AR.

LOCALISATION le répartiteur de freinage est habituellement logé dans la partie AR du bas de caisse où il est fixé par des vis.

6.7 REPARTITEUR DE FREINAGE: FONCTIONNEMENT



FONCTIONNEMENT Le répartiteur de freinage est actionné généralement par une barre et une tringlerie reliée aux organes mobiles de la suspension afin de percevoir les variations de charge AR dues à la présence éventuelle de passagers ou de bagages ou encore au tangage du véhicule lors du freinage; le répartiteur de freinage réduit la pression envoyée aux freins AR selon la charge agissant sur cet essieu; la réduction de la pression en phase de freinage dépend de la position occupée par un piston soumis à l'action combinée d'un ressort intérieur et d'un ressort extérieur sensible à l'extension de la suspension AR.

CONDITIONS DE REPOS: dans ces conditions la vanne d'arrêt intégrée au répartiteur permet le passage de l'huile sous pression vers les freins AR.

CONDITIONS DE DECLENCHEMENT: en cas de freinage l'extension de la suspension AR modifie la force exercée par le ressort extérieur; la pression de l'huile qui agit sur le piston de travail, n'étant plus équilibré par le resort extérieur, pousse le piston jusqu'à atteindre une nouvelle position d'équilibre; par conséquent la vanne de coupure est poussée par son ressort jusqu'à stopper l'huile qui s'écoule du circuit vers les freins AR.

N.B. : pour le réglage du répartiteur de freinage on peut procéder de différentes façons: la première est de précharger l'outillage sur l'essieu AR avec un poids déterminé prévu par le fabricant. Mesurer la pression de l'huile de freins de l'essieu AR et contrôler puis éventuellement régler le répartiteur afin de se conformer au tableau de répartition pour le modèle spécifique du véhicule. L'autre solution consiste à poser sur la partie mobile du répartiteur de freinage un poids (celui préconisé par le fabricant) et régler la course du correcteur jusqu'à la butée obligée par le poids.

6.8 FREINS A DISQUES

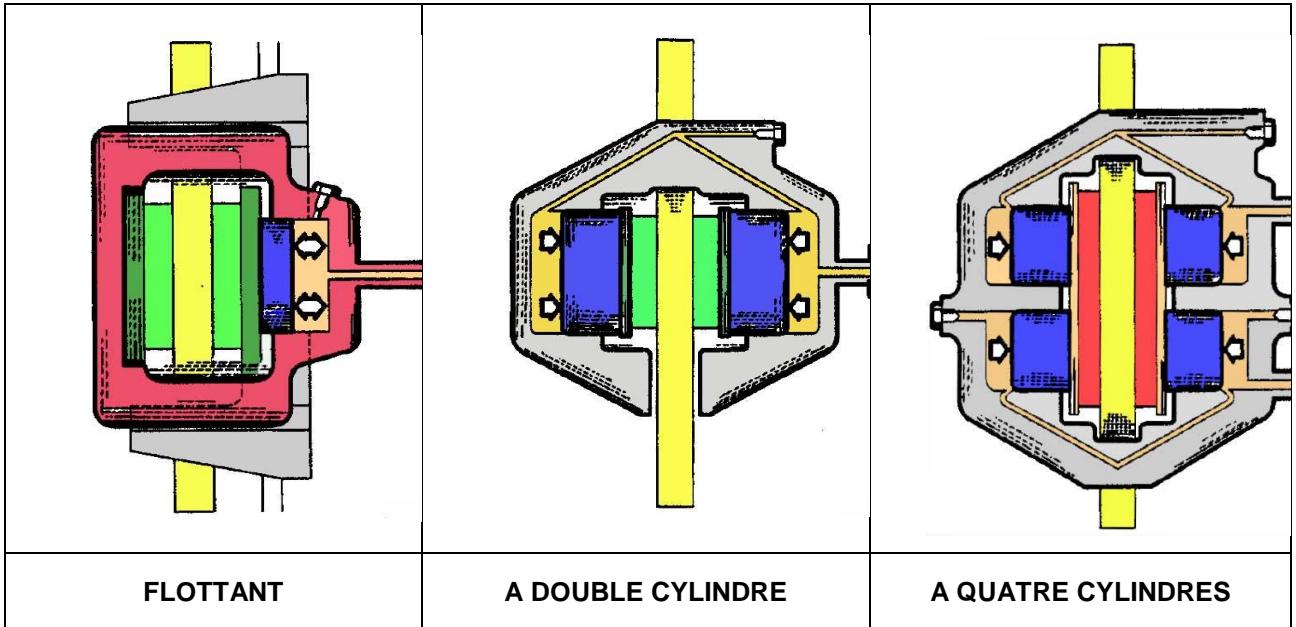
CARACTERISTIQUES: les freins à disque se composent essentiellement d'un disque de frein solidaire du moyeu de roue et des étriers de frein; les étriers sont eux-même constitués des plaquettes de freins (pastilles) et du cylindre hydraulique et ils sont fixés à la suspension; la pression de l'huile permet d'actionner le cylindre qui pousse les plaquettes de frein en contact avec le disque; le frottement qui est engendré par le contact (produisant une forte chaleur) entre les plaquettes et le disque en un mouvement relatif, permet le freinage du véhicule.

6.9 TYPES D'ETRIERS DE FREIN

Les étriers de frein utilisés sur les véhicules aux performances moyennes sont de type flottant (A); dans ce cas un seul cylindre pousse une seule pastille; la réaction étrier / disque permet l'assemblage de l'autre pastille.

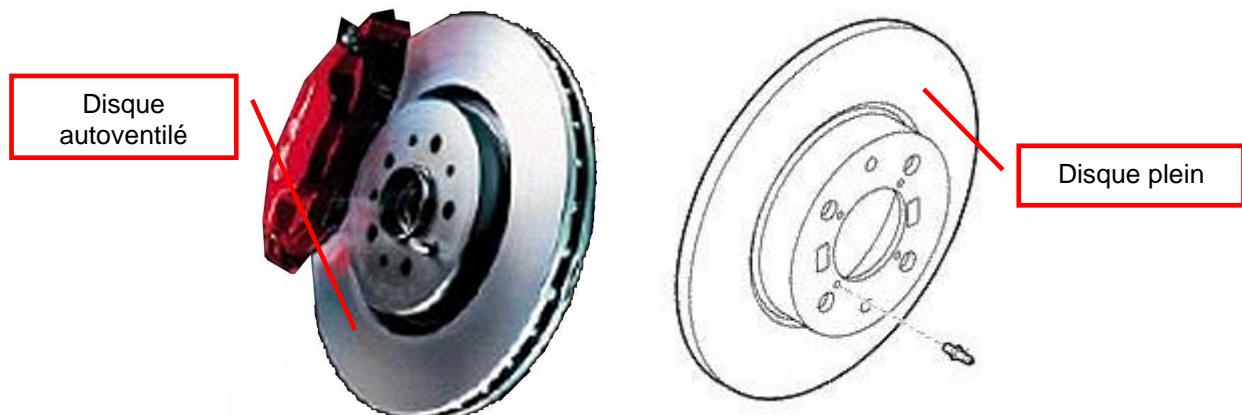
Sur les véhicules plus performants, on utilise des étriers de frein à double cylindre (B) dans lesquelles les deux cylindres agissent directement sur les plaquettes de freins.

Pour des applications sur des véhicules de compétition on peut utiliser des étriers de freins de quatre cylindres ou plus (C) car l'utilisation de plaquettes aux dimensions majorées permettra une force de freinage nettement supérieure.



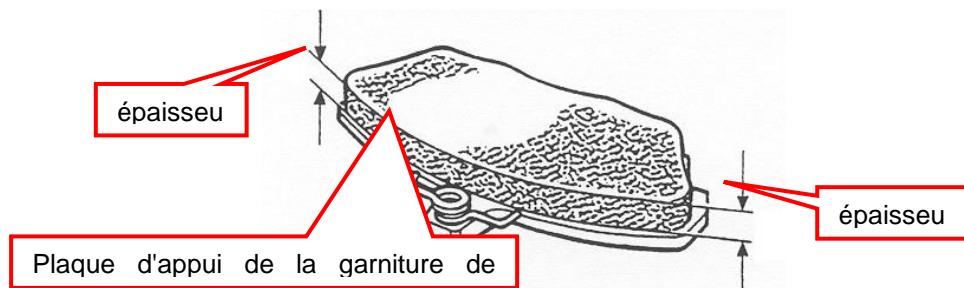
6.10 TYPES DE DISQUES

Les disques utilisés sur les véhicules appartiennent à deux catégories: normaux (pleins) ou ventilés. Sur les véhicules très performants ou avec une masse considérable on utilise des disques ventilés. Ce sont des disques percés radialement de sorte qu'en tournant ils se refroidissent et se comportent comme des pompes centrifuges: ils aspirent de l'air frais du centre et la dispersent par les orifices placés sur la circonférence en enlevant de la chaleur.



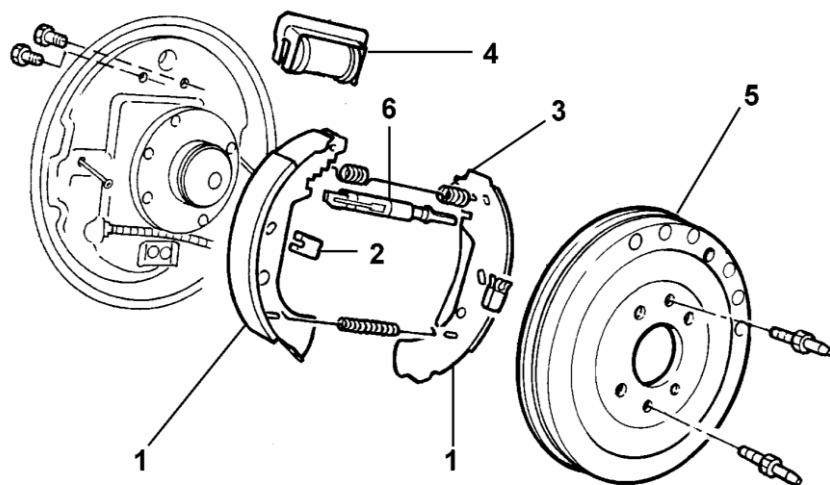
6. 11 PLAQUETTES

CARACTERISTIQUES: les plaquettes de freins ont pour tâche de freiner la rotation du disque grâce à la surface de la garniture de freinage qui entre en contact avec le disque; les garnitures se composent normalement de fibres imprégnées de résines synthétiques pour empêcher que les agglomérats absorbent l'humidité; elles sont mélées à des fils ou à de la limaille de laiton ou de bronze pour augmenter la résistance et faciliter la dispersion de la chaleur.



CONTROLES Il est indispensable de contrôler périodiquement l'état d'usure des garnitures de frein; cette épaisseur ne doit pas être inférieure à 1,5 mm car en dessous de cette valeur on ne risque pas seulement un freinage insuffisant mais on risque de rayer le disque.

6. 12 FREINS A TAMBOUR



1. mâchoires des freins à tambour
2. éléments de maintien des mâchoires de freins
3. ressorts de rappel des mâchoires de freins
4. cylindres des freins à tambour
5. tambour de freins
6. dispositif de réglage des mâchoires de freins

Les freins à tambour sont constitués d'un cylindre creux rotatif sur la surface desquels agissent deux mâchoires, souvent symétriques, sur laquelle est collée ou rivetée la garniture de freinage. Les mâchoires sont poussées par un ou deux cylindres de commande des mâchoires.

Sur une extrémité de la mâchoire agit le cylindre tandis que l'autre est articulée ou simplement posée sur une surface plane, verticale ou inclinée. dans ce cas les mâchoires sont en équilibre pendant le freinage sous l'action de la force du cylindre et des réactions de l'appui et du tambour (force de freinage) tandis qu'au repos la position est assurée par les ressorts de rappel.

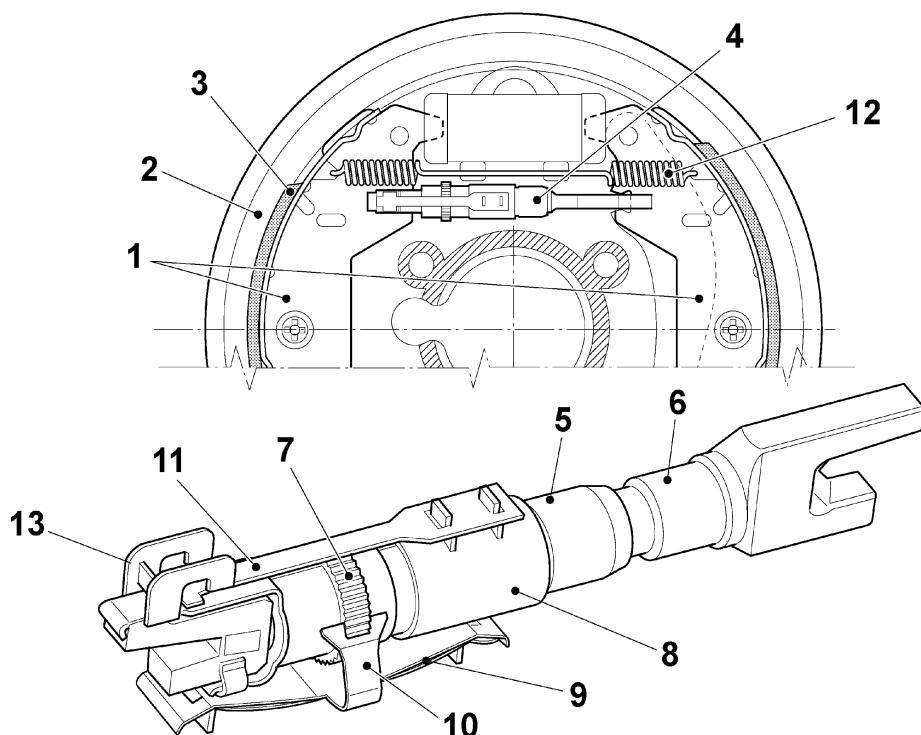
Dans le cas du frein à tambour, en raison de la course supérieure du cylindre et des plus grandes tolérances de forme de la surface du disque et du tambour, tenant compte également des déformations thermiques, on

a besoin de ressorts de rappel qui permettent aux mâchoires de revenir en position de repos lorsque la commande hydraulique a cessé d'agir.

MATERIAUX: les mâchoires sont normalement fabriquées en acier ou dans un alliage léger puis revêtues de garnitures de frottement, clouées ou collées aux mâchoires elles-mêmes.

le tambour est en fonte (rarement en acier léger avec un insert en fonte) et peut présenter des ailettes extérieures pour faciliter la dispersion de la chaleur en phase de freinage; parfois, dans le cas de freins montés à l'arrière, moins sollicités que ceux à l'avant, les ailettes ne sont pas indispensables.

6. 13 DISPOSITIF D'AUTO-REGLAGE DU JEU MACHOIRES-TAMBOURS ARRIERE



Le jeu entre les mâchoires (1) et le tambour AR (2) dû à l'usure du matériau freinant (3) se fait de manière automatique et continue à chaque freinage pourvu qu'à cet instant il soit nécessaire, au moyen d'un dispositif mécanique (4).

Le dispositif se compose d'un tirant (5) comprenant deux parties dont les extrémités en fourchette sont maintenues au contact des mâchoires de frein grâce à l'action d'un ressort à lames (9).

Le réglage automatique est actif aussi bien en phase de freinage du frein de service qu'en phase d'intervention du frein de stationnement, grâce à l'action de renvoi de ce dernier, lui-aussi au contact de la fourchette AR du dispositif de réglage.

Les deux parties du tirant (5) sont fixées entre elles par un système vis - vis-mère (6) intégré et muni à l'extérieur d'une bague dentée (7).

Au repos le ressort (12) de rappel des mâchoires maintient le dispositif en compression.

Pendant l'action de freinage les deux mâchoires s'éloignent et entrent en contact avec le tambour.

Les deux extrémités du dispositif sont maintenues en contact avec les mâchoires via la poussée de l'encliquetage (10) du ressort à lames (9) avec la bague dentée (7).

Cette poussée et la rotation qui en découle permettent au système de se déployer.

En phase de décélération, le dispositif d'auto-réglage est à nouveau comprimé grâce à l'action du ressort (12) de rappel des mâchoires; la bague dentée (7) s'arrête dans la position angulaire atteinte pendant la phase de freinage.

Cet arrêt en phase de rotation est dû au frottement entre le boudin (8) et le tirant (5).

Si bague bloquée l'usure des garnitures de freins est suffisante, le cliquet (10) passe au cran suivant.

L'usure qui est nécessaire pour qu'il y ait passage à un cran supérieur est compris entre 0,020 et 0,025 mm.

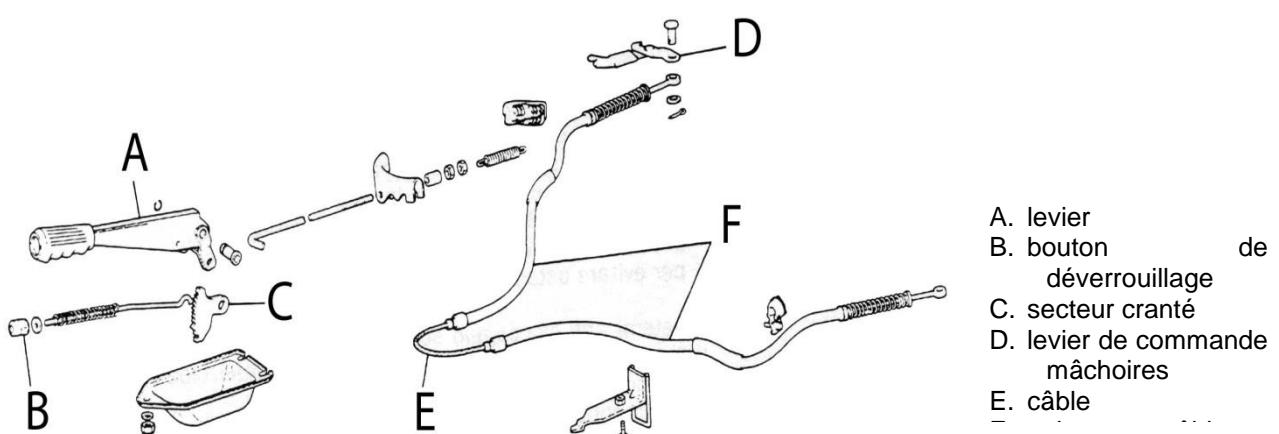
Si, suite à des freinages excessifs on observe une surchauffe des freins avec une température du dispositif de réglage comprise entre 70° et 80°, la lame élastique (11) se plie pour bloquer la fourchette (13).

Par conséquent la bague crantée (7) n'est pas pendant la phase de freinage soumise à l'action de la poussée du ressort (9) et de son cliquet (10); par conséquent il n'y aura aucun rattrapage du jeu dû en réalité à la dilatation du tambour.

En cas d'opération de révision et/ou de remplacement des garnitures de frein, avant de remonter ces dernières amener les extrémités du dispositif au contact des mâchoires en dévissant la bague dentée d'un demi tour.

N.B. : Sur les véhicules du groupe Fiat les systèmes de freinage peuvent être à "disque", à "tambour" ou "mixtes" (disques sur le train AV et tambours sur le train AR).

6. 14 FREIN DE STATIONNEMENT



Le système de stationnement, communément appelé frein à main, il est demandé de maintenir le véhicule à l'arrêt même en cas de forte déclivité et en l'absence du conducteur. Les consignes de sécurité prévoient que le frein de stationnement ait comme particularité une connexion mécanique entre le mécanisme de contrôle et les freins aux roues, par exemple en utilisant des tiges de liaison ou des câbles flexibles.

L'intervention du frein de stationnement est commandé depuis le poste de conduite en utilisant un levier commandé manuellement, comme dans la majorité des cas ou bien une pédale. Le système est conçu de façon à fournir un effort gradué et maintenu dans le temps, même sans agir sur la commande; il intervient seulement sur les roues d'un seul essieu avec généralement les mêmes composants du système de service.

Le schéma ci-après représente un système de stationnement avec commande manuel. le levier de commande agit sur le tirant et restera en position grâce au secteur denté, introduit dans le cliquet ou pousoir, actionné par le bouton de déverrouillage. Par l'intermédiaire de l'armature, le tirant met en tension

le câble: ce câble unique est relié aux freins AR du véhicule et, au moyen de l'axe commande les leviers de commande des mâchoires.

6. 15 LIQUIDES POUR SYSTEME DE FREINAGE

CONDITIONS REQUISES: les liquides pour freins doivent posséder les principales caractéristiques suivantes:

une viscosité suffisante pour éviter les fuites par écoulement entre les joints; en même temps la viscosité ne doit pas être excessive pour ne pas augmenter les pertes de chaleur dues à la résistance continue de frottement pendant le mouvement du liquide dans les conduits

ils ne doivent pas altérer les joints d'étanchéité des pistons, les matériaux métalliques constituant les différents organes du système, le caoutchouc des flexibles

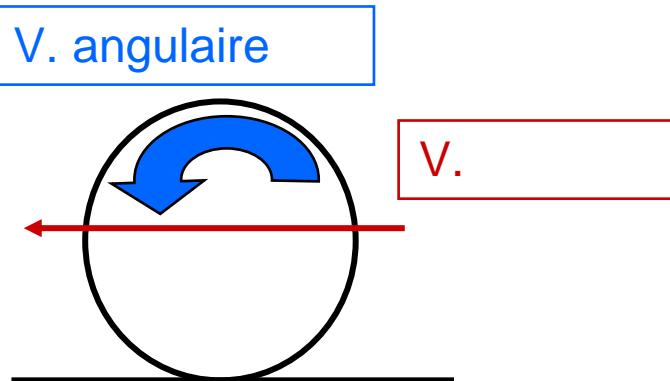
leur point d'ébullition doit être suffisamment élevé; sinon il se peut que le réchauffement des cylindres, consécutif à l'usage prolongé des freins, occasionne la formation de bulles de vapeur (vapour-lock) dans la masse liquide; ces bulles interrompent la continuité du circuit et vu qu'elles sont compressibles elles ne transmettent pas directement l'effort du maître-cylindre de freins aux éléments du freinage

elles ne doivent pas geler aux températures d'utilisation du véhicule

elles doivent posséder une grande stabilité chimique pour assurer l'inaltérabilité dans les conditions les plus sévères de sollicitation thermique.

7 SYSTEMES DE FREINAGE SERVO-ASSISTE

7. 1 COULISSEMENT DU PNEU

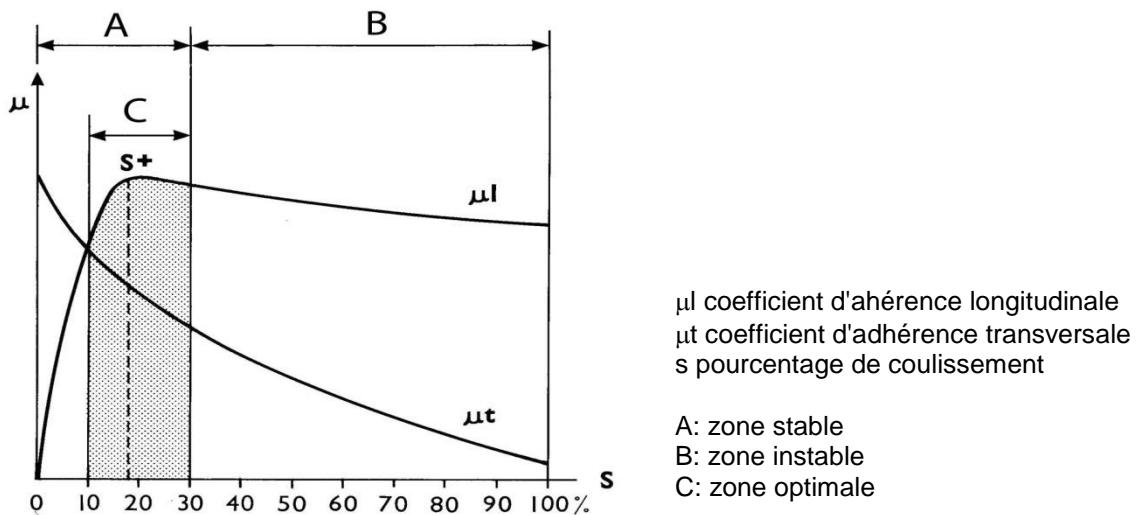


DEFINITION: le coulissemement exprime l'écart en pourcentage entre la vitesse du véhicule et la vitesse périphérique de la roue en rapport avec la vitesse du véhicule.

$$\text{Coulissement \%} = \frac{V_{\text{veicolo}} - V_{\text{periferica ruota}}}{V_{\text{veicolo}}} \times (100)$$

INCIDENCE SUR L'ADHERENCE le coulissemement est dû à la présence d'une force tangentielle qui se développe par adhérence sur la périphérie du pneu au contact avec le sol qui équilibre, en phase de freinage, le couple de freinage qui s'exerce sur la roue; dans ces conditions on a un écart relatif entre vitesse de rotation de la roue et vitesse d'avancement du véhicule; pendant la marche normale on a un certain pourcentage de coulissemement de l'ordre de 5%, dû au caractère déformable du pneu; l'application d'un couple de freinage provoque une augmentation du coulissemement jusqu'à la limite imposée par l'adhérence maxi roue - pneumatique qui entraîne le blocage de la roue.

7. 2 VARIATION DE L'ADHERENCE AVEC LE COULISSEMENT



μ_l coefficient d'adhérence longitudinale
 μ_t coefficient d'adhérence transversale
 s pourcentage de coulissement

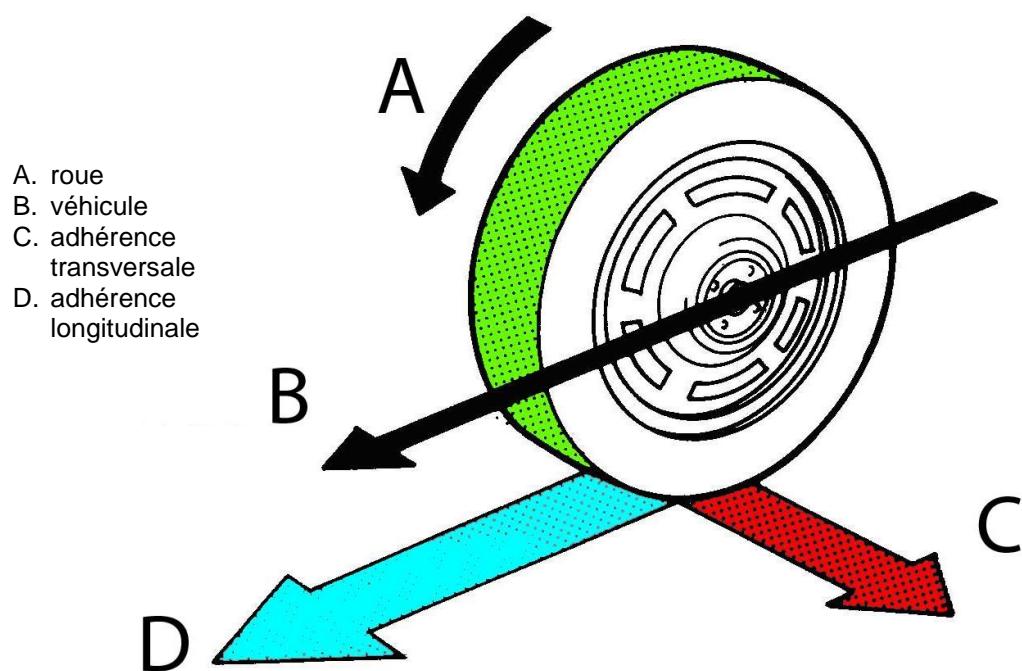
A: zone stable
B: zone instable
C: zone optimale

COULISSEMENT NUL: en l'absence de coulissement le coefficient d'adhérence longitudinale (μ_l sur diagramma) est nul; dans ce cas le pneu n'est en mesure de transmettre aucun couple moteur ou freinant; la présence d'un certain pourcentage de coulissement permet aux roues de maintenir une certaine adhérence avec le sol et donc de transmettre le mouvement (si la roue est motrice) ou de freiner.

COULISSEMENT OPTIMAL dans une plage restreinte de coulissement (comprise entre 10 et 30%) le pneu présente une adhérence maxi avec la chaussée; les roues peuvent alors transmettre le couple moteur maxi ou le couple freinant maxi.

COULISSEMENT MAXIMUM: en cas de blocage des roues (coulissement à 100%) le coefficient d'adhérence se réduit, réduisant par la même occasion le couple de freinage applicable; dans ce cas, c'est le frottement entre roue et pneu qui freine le véhicule, augmentant la distance de freinage du véhicule.

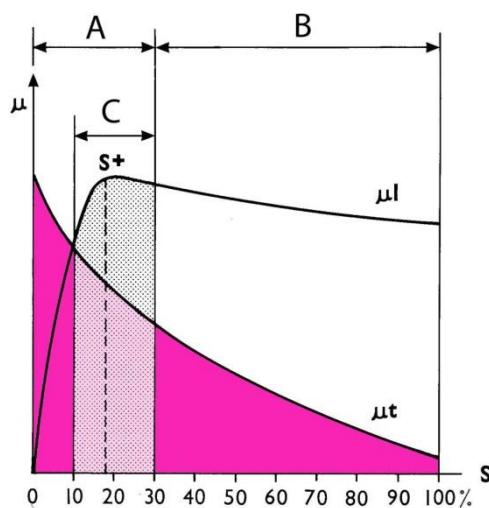
7.3 ADHERENCE TRANSVERSALE



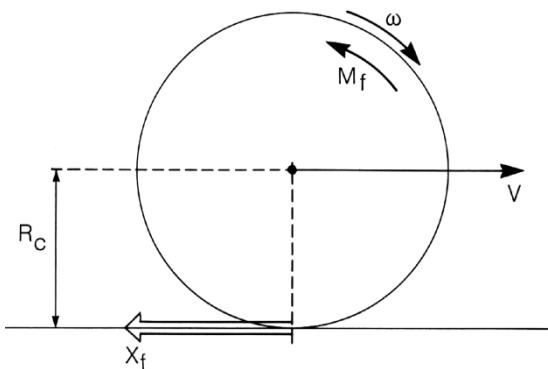
DEFINITION: en présence d'une force latérale appliquée à la roue (comme c'est le cas dans un virage) le pneu se place avec un certain angle de dérive, engendrant dans la zone de contact avec le sol une réaction latérale proportionnelle au coefficient d'adhérence latérale.

IMPORTANT: la présence d'adhérence latérale permet au véhicule de pouvoir changer de direction, c'est-à-dire qu'elle garantit la "dirigeabilité" du véhicule.

DEPENDANCE DU COULISSEMENT l'adhérence transversale en fonction du coulissement suit une courbe toujours décroissante; en cas de roues bloquées l'adhérence devient nulle entraînant une perte de dirigeabilité du véhicule.



7.4 COMPORTEMENT DU VEHICULE EN PHASE DE FREINAGE

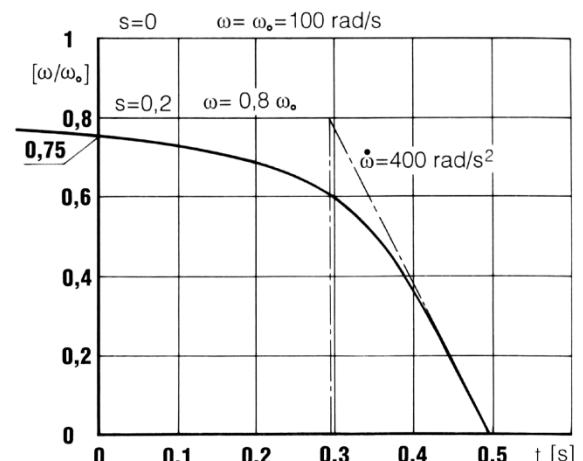
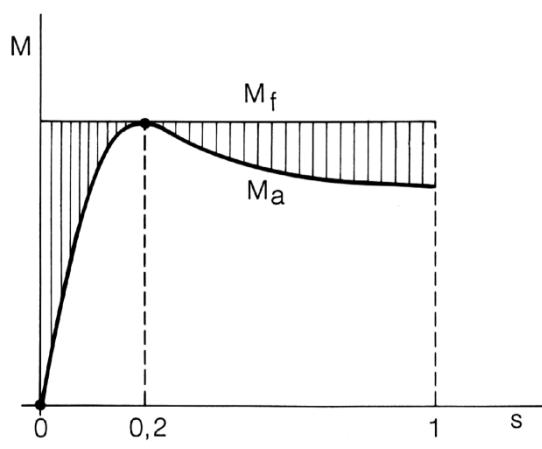


Les dimensions du système de freinage doivent prendre en compte le poids du véhicule à pleine charge et le coefficient maximum d'adhérence sol / pneu que l'on peut vérifier, afin d'assurer le ralentissement utile ou l'arrêt dans l'espace le plus court dans toutes les conditions de marche.

Cependant il s'avère surdimensionné dans les cas les plus fréquents de charge partielle et d'adhérence réduite; l'application de la force maximale dans ces circonstances aboutit au blocage immédiat des roues ce qui entraîne la réduction du coefficient d'adhérence et une baisse de l'efficacité du freinage.

En effet, si le moment freinant M_f dépasse la valeur du couple d'adhérence M_a (égal au produit de la force d'adhérence X_f par le rayon de roulement R_c) le coulissolement augmente entraînant le blocage des roues (voir graphique ci-dessous à gauche).

Les temps de blocage des roues sont brefs, de l'ordre de dizièmes de seconde (voir graphique ci-dessous à droite) si l'on considère que l'excès de couple freinant par rapport au couple adhérent peut facilement atteindre des valeurs importantes, surtout en cas d'urgence lorsque le conducteur est amené à augmenter son effort sur la commande; d'autre part l'état de la route et les conditions environnementales peuvent réduire de beaucoup l'adhérence roue-sol; les deux effets aboutissent à un blocage rapide de la roue.



8. SYSTEME ANTI-BLOCAGE

8.1 PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT

CONDITIONS REQUISES: La condition essentielle d'un système de freinage est celle qui consiste à stopper le véhicule de manière rapide et efficace, quelle que soit la condition qui se présente; cette condition oblige à conserver l'état de roulement des pneus bien que, pour des besoins de conception la force de freinage appliquée sur les plaquettes de freins soit fréquemment excessive par rapport au poids de roulement et aux coefficients normaux d'adhérence; avec un système de freinage en parfait état de fonctionnement, on ne peut améliorer le freinage qu'en agissant sur les caractéristiques de frottement du pneu ou sur la qualité de la chaussée; même en présence de ces conditions optimales, la sécurité absolue de freinage n'est pas garantie lorsque l'on doit faire face à des situations critiques comme celles exposées à la suite.

FAIBLE CONDITION D'ADHERENCE: cette situation due à l'état de la chaussée (mouillée, verglacée ou avec un gravier fin) oblige le conducteur à modérer l'action de freinage afin d'éviter le blocage partielle d'une ou plusieurs roues, avec risques dangereux de patinages ou d'embardées.

PRESSION EXCESSIVE SUR LA PEDALE DE FREIN/ évidemment dans ces conditions les roues se bloquent; si les roues AV se bloquent on a une perte de la dirigeabilité (forte diminution de l'adhérence transversale) tandis que si ce sont les roues AR il s'ensuit une embardée dangereuse avec tête-à-queue.

FREINAGE D'URGENCE EN COURBE, FREINAGE DE SECOURS/ dans ces deux conditions la perte d'adhérence des roues aboutit à la perte de dirigeabilité du véhicule qui ne peut plus négocier correctement la courbe ni éviter l'obstacle.

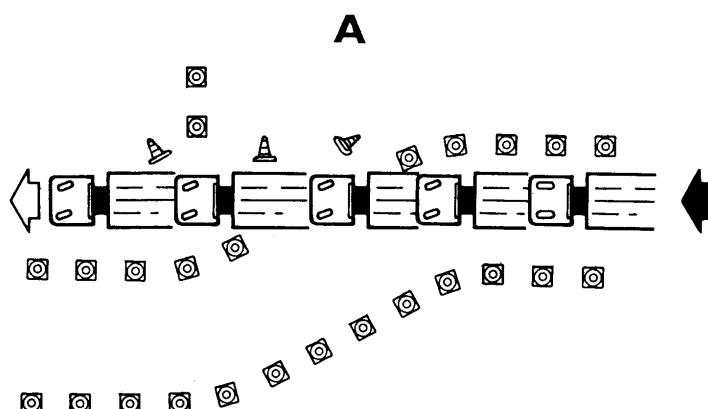
INTERVENTION DE L'ABS pour surmonter toutes ces difficultés, on peut se faire aider du système d'antiblocage des roues, à savoir un dispositif qui, intégré au système de freinage empêche le blocage des roues lorsque la pression de commande des freins est excessive par rapport à l'adhérence pneu-sol; le dispositif permet d'exploiter au mieux l'adhérence du pneu mais ne l'augmente pas; le système ABS assure ainsi la dirigeabilité du véhicule pendant tout le freinage, la stabilité du véhicule et l'optimisation des distances de freinage; le système ABS ne réduit pas ces dernières mais optimise le freinage grâce à toute l'adhérence possible, évitant ainsi le blocage des roues qui aboutirait inévitablement à l'allongement du freinage.

8.2 FREINAGE EN COURBE

FREINAGE DU VEHICULE EN COURBE SANS ABS (A): un freinage de secours amène le conducteur à appuyer de toutes ses forces sur la pédale de frein.

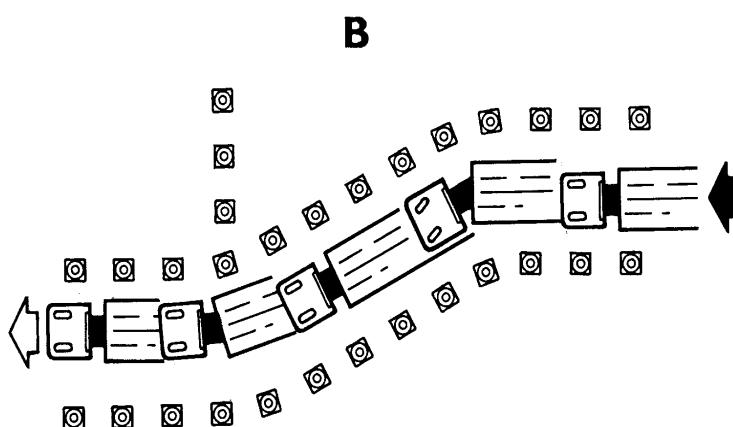
Dans ces conditions le système de freinage applique aux roues la force maximale pour laquelle il est prévu.

RESULTAT SUR LE VEHICULE: si l'on dépasse la limite d'adhérence du véhicule sur un chaussée dans cet état, une ou plusieurs roues se bloqueront et le véhicule perdra de sa dirigeabilité (adhérence transversale nulle) par conséquent on ne pourra plus négocier correctement le virage. La réduction de l'adhérence longitudinale entraîne également un allongement de la distance de freinage.



FONCTIONNEMENT DE L'ABS (B): le système ABS contrôle la valeur de coulissemement sur les roues du véhicule en relevant le moment où les roues tendent à se bloquer; dans cette situation, le système réduit la pression sur les freins même si le conducteur continue à appuyer sur la pédale; on empêche ainsi le blocage des roues et l'adhérence longitudinale des roues est maintenue dans des valeurs optimales qui assurent encore une bonne adhérence latérale.

RESULTAT SUR LE VEHICULE: le véhicule conserve toutefois sa dirigeabilité permettant au conducteur de changer de direction et d'arrêter le véhicule sur des distances plus courtes.

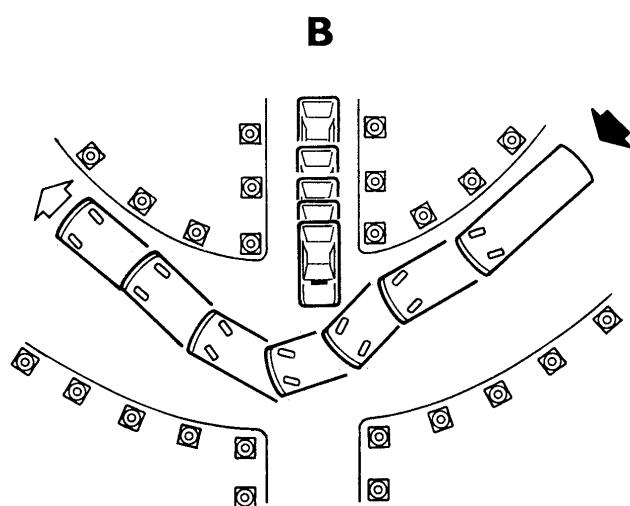
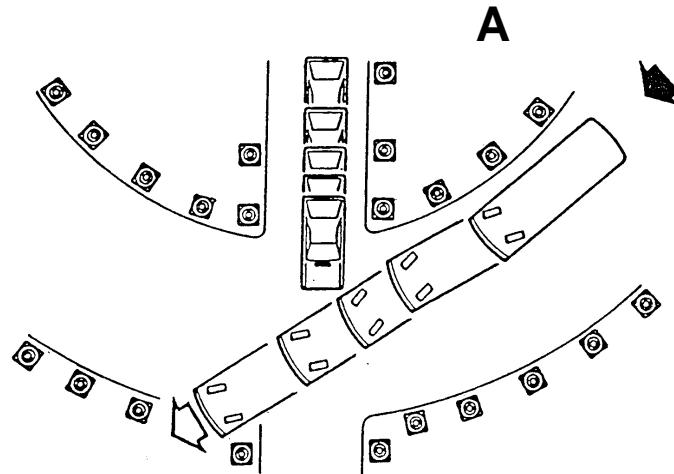


8.3 FRANCHISSEMENT D'UN OBSTACLE

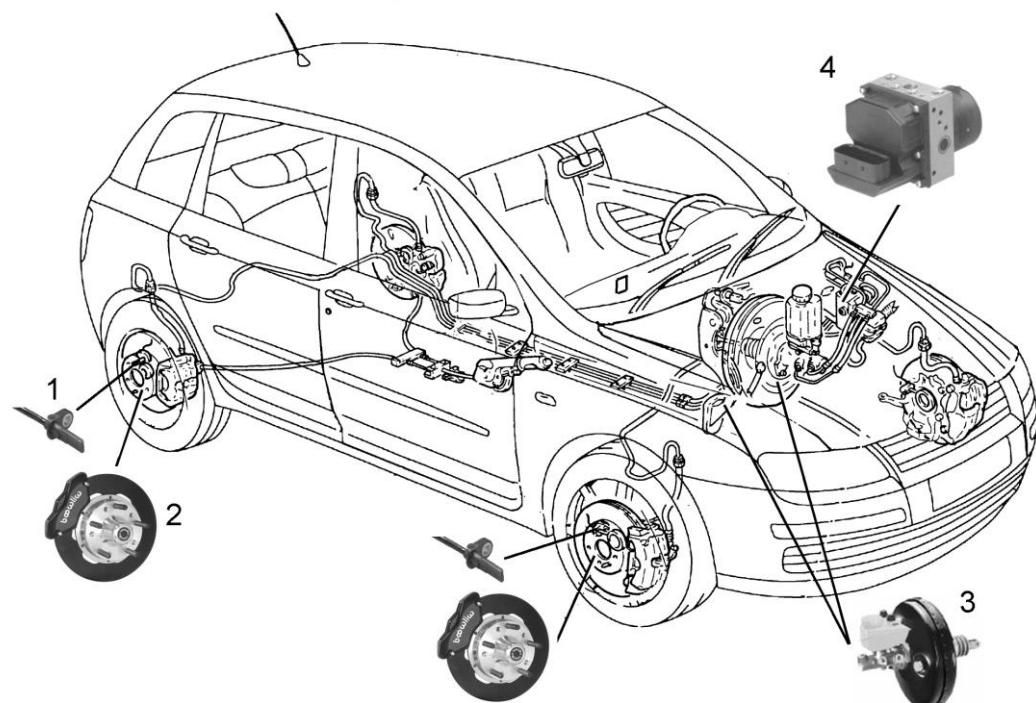
ACTION DU CONDUCTEUR en cas de "freinage de secours" (causé par un obstacle soudain) le conducteur est contraint à appuyer sur la pédale de frein de toutes ses forces pour tenter de s'arrêter à temps.

SYSTEME SANS ABS (A): dans ce cas les roues sont bloquées ce qui fait que d'une part le véhicule perd de sa dirigeabilité et de l'autre il allonge les distances de freinage; par conséquent le conducteur ne parvient pas à s'arrêter à temps et il n'est pas possible de contourner l'obstacle.

SYSTEME AVEC ABS (B): à la différence d'avant, le véhicule maintient sa dirigeabilité par conséquent le conducteur parvient à éviter l'obstacle en manoeuvrant la direction.



8.3 SYSTEME ABS



1. capteur de vitesse de roue
2. actionneur de frein
3. maître-cylindre de freins
4. centrale électro-hydraulique

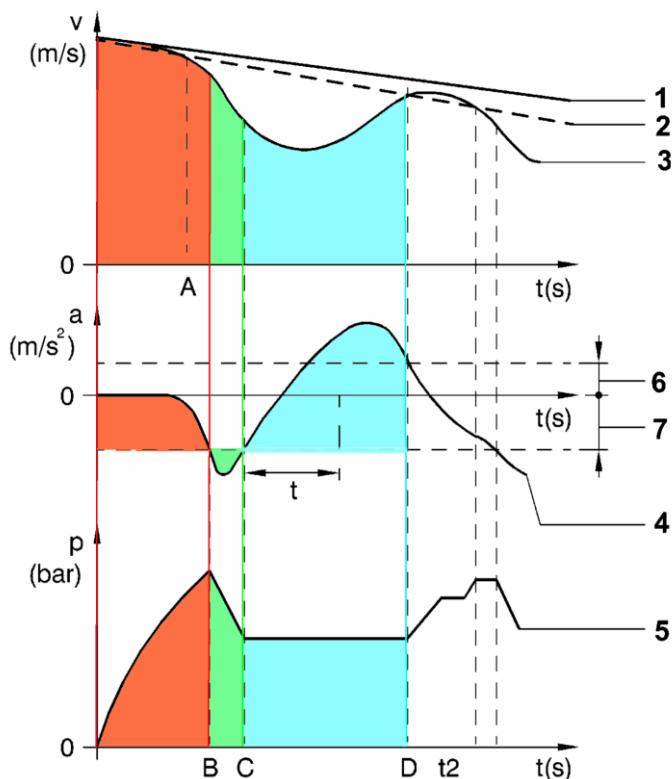
COMPOSITION le système ABS est intégré au système de freinage habituel: principaux composants: une centrale qui intègre un calculateur électronique, le groupe de commande électro-hydraulique qui module la pression de freinage aux freins au moyen de huit électrovannes (deux par roue) et la pompe de rattrapage un témoin de signalement d'anomalie au combiné de bord qui signale le bon fonctionnement ou la panne du système

quatre capteurs, un pour chaque roue, de type actif ou passif qui ont pour fonction de mesurer la vitesse angulaire des roues; en effet, sans la possibilité d'évaluer préalablement les conditions d'adhérence, on est obligé à contrôler l'efficacité du freinage uniquement après avoir relevé les effets éventuels de début de frottement du pneu engendrés par une force de freinage excessive par rapport au coefficient d'adhérence présent; ce relevé est effectué en mesurant justement la vitesse de rotation des roues.

un interrupteur sur la pédale de frein pour détecter le freinage

L'adjonction du système ABS au système de freinage classique permet au conducteur, en cas d'anomalie de l'ABS, de pouvoir encore effectuer le freinage de façon traditionnelle; d'autre part la présence d'une anomalie au sein du système ABS, détectée par la centrale, provoque la désactivation immédiate et complète du système.

8.4 FONCTIONNEMENT DU SYSTEME



1. vitesse effective du véhicule
2. vitesse de référence du véhicule
3. vitesse périphérique de la roue
4. accélération / décélération de la roue
5. pression du circuit de freinage
6. bande d'accélération autorisée
7. bande de décélération autorisée

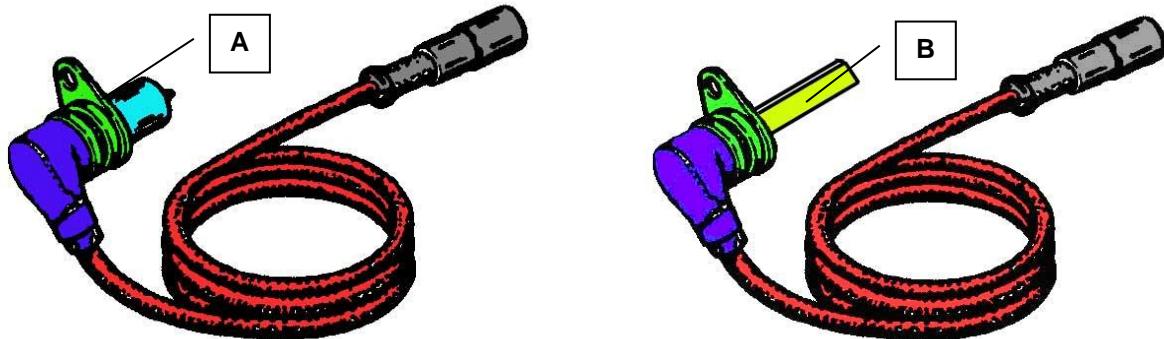
SIGNALS DE VITESSE les signaux envoyés par les capteurs de tours à la centrale électronique sont transformés par l'amplificateur d'entrée en signaux de type digital; la fréquence de ces signaux fournit à la centrale des valeurs correspondantes de vitesse (3) et d'accélération / décélération (4) de chacune des roues;

VITESSE DU VEHICULE En comparant chaque vitesse périphérique des roues, une vitesse de référence (2) est élaborée et mise à jour en permanence, qui fournit l'indication de la vitesse effective (1) du véhicule.

SEUILS D'ACCELERATION / DECELERATION la centrale électronique garde en mémoire également les seuils (6) et (7) de décélération / accélération que chaque roue ne doit jamais dépasser; ensuite par une comparaison systématique, continue et très rapide des valeurs de décélération / accélération de la roue avec celles de la bande mémorisée, le roulement du pneu en freinage est maintenu sous contrôle.

8.5 CAPTEURS DE VITESSE DE ROUE

Le capteur de vitesse de roue peut être de deux types: inductif passif (A) ou magnéto-résistif actif (B).



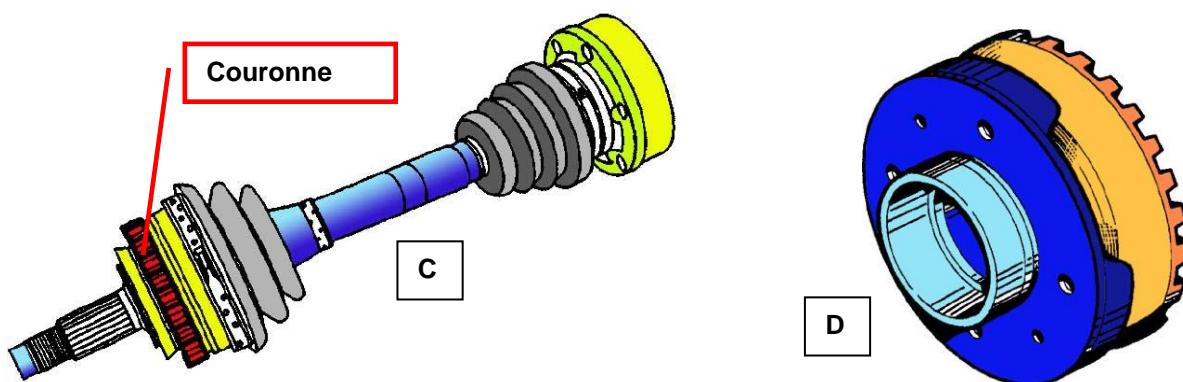
Les capteurs sont au nombre de 4 et ils sont montés dans des logements spéciaux sur les moyeux de roue:

CAPTEUR INDUCTIF (A): Chacun des capteurs de type inductif passif (A) s'interface sur une roue crantée appelée couronne d'impulsions car elle fournit un signal qui a la fréquence d'une onde sonore montée sur le joint homocinétique côté roue (C) si elle est motrice, sinon sur le moyeu.

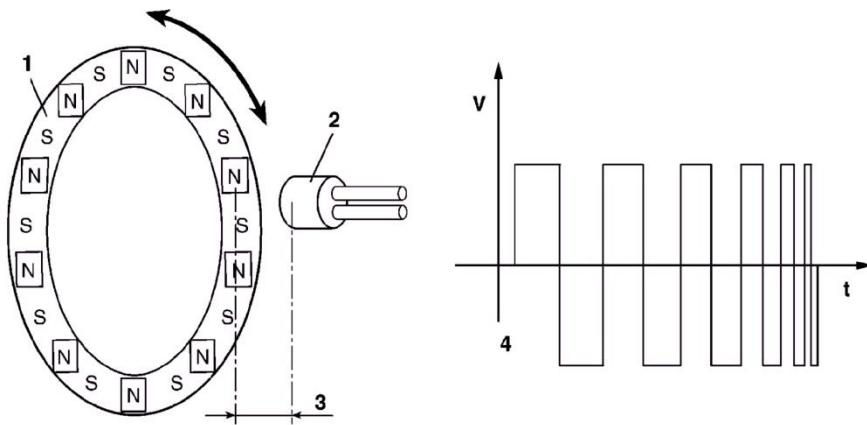
Les variations de flux électromagnétique dues au passage des dents devant le capteur engendrent une forme d'onde sinusoïdale d'amplitude constante et de fréquence directement proportionnelle à la vitesse de rotation de la roue elle-même (vitesse angulaire). L'unité de contrôle qui traite ces signaux connaît par conséquent le comportement en temps réel de chaque roue (accélération, décélération, patinage, etc)

INCONVENIENTS:

Le principal inconvénient de ce capteur est dû à ses caractéristiques de fonctionnement. Pour que le capteur produise un signal il faut que le passage des dents de la couronne d'impulsions se fasse à une certaine vitesse, il est donc inenvisageable de pouvoir mesurer des vitesses trop faibles. De plus le signal produit a une intensité très réduite (plusieurs millièmes de volts) et il est donc très sujet aux interférences magnétiques et à la distance entre le capteur et la couronne crantée.



CAPTEUR MAGNETO-RESISTIF (B): Chacun des quatre capteurs a une interface avec son roulement. Ce dernier n'est pas un roulement simple mais un codificateur magnétoco-multipolaire: il est divisé en secteurs magnétiques positifs et négatifs placés alternativement. Le passage des secteurs face au capteur actif engendre la variation du flux magnétique. La tension d'alimentation du capteur est influencée par les champs magnétiques du roulement et il se crée une forme d'onde carrée à amplitude constante et fréquence proportionnelle à la vitesse angulaire de la roue.



ALIMENTATION DU CAPTEUR: le capteur est alimenté dans la mesure où le calculateur électronique fait coulisser à l'intérieur de celui-ci un courant constant (I) et en mesure la chute de tension (V) qui varie au fur et à mesure de la résistance (R).

Il est donc impossible de mesurer la résistance du capteur en dehors du système comme pour les capteurs inductifs.

CARACTRISTIQUES ELECTRIQUES DU RECHAUFFEUR le signal à onde carrée fourni par le capteur présente les caractéristiques suivantes selon l'extension polaire qui lui fait face:

Pôle nord: 10.2V

Pôle sud: 9.4V

Il est évident qu'avec un signal qui varie d'environ 0,8V on n'a plus les problèmes d'interférence électromagnétique dont souffraient les capteurs inductifs.

De plus avec ce type de capteur on peut faire des mesures même roue arrêtée ou avançant imperceptiblement.

AVANTAGES: ce type de capteur appelé "capteur actif" présente les avantages techniques suivants:

sensibilité réduite par rapport aux parasites électromagnétiques

capacité de mesurer les vitesses angulaires jusqu'à 0 tr/sec.

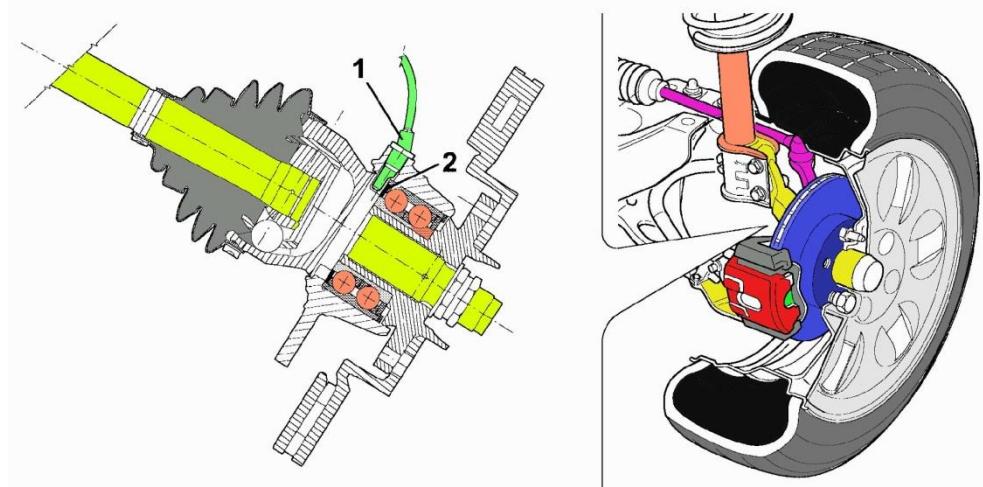
sensibilité moindre à la distance entre capteur et roue magnétique.

gain de poids et d'encombrement.

simplification des cardans pour l'élimination de la couronne d'impulsions.

INCONVENIENTS: Le capteur a besoin d'être alimenté aussi pour effectuer des mesures de contrôle il faudra se munir d'un connecteur en T qui permette de prélever le signal sans le débrancher du reste du système.

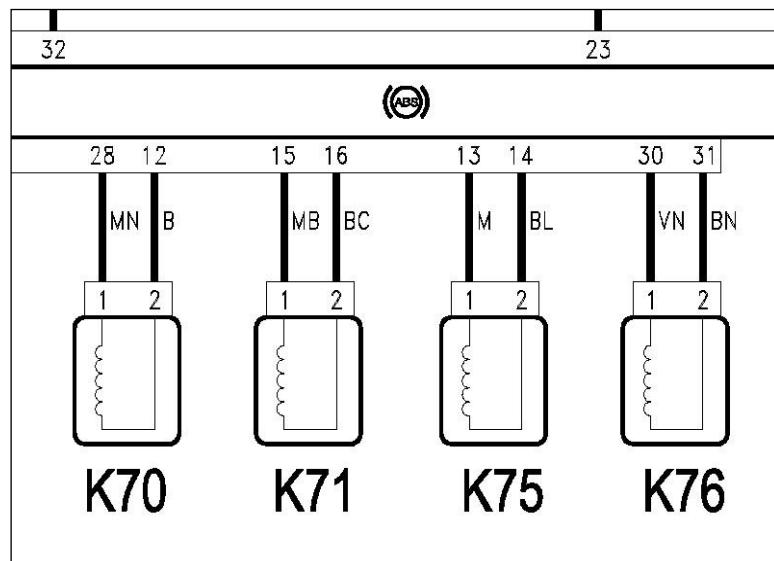
Emplacement du capteur



1. capteur
2. roulement (codificateur magnétique polaire)

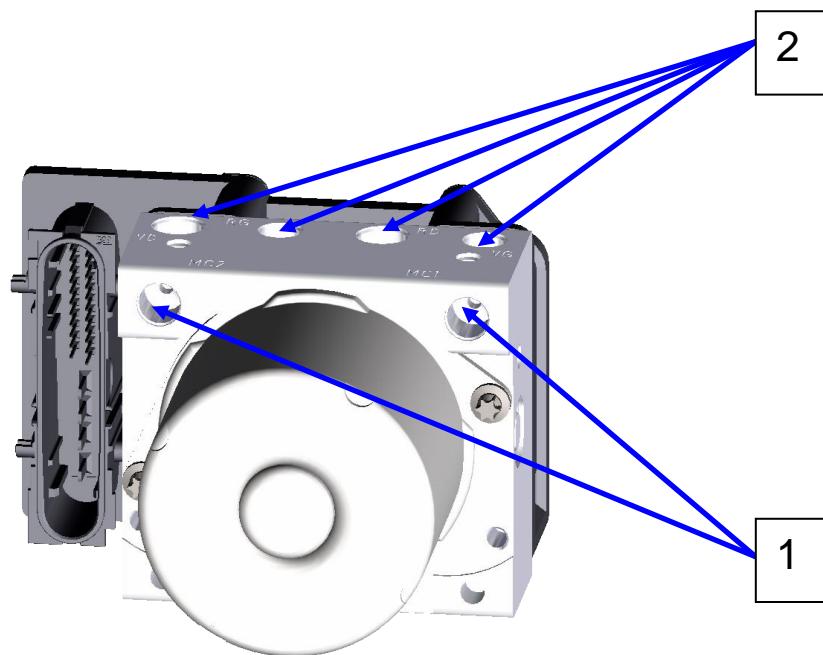
CABLAGE

A titre d'exemple, on trouvera le câblage des quatre capteurs ABS qui équipent l'Alfa 147. Pour d'autres dispositifs se reporter aux manuels de réparation.



Câblage des quatre capteurs actifs de vitesse sur l'Alfa 147.

8.5 SYSTEME ELECTRO-HYDRAULIQUE



1. entrée d'huile par le maître-cylindre

2. sortie de l'huile vers les quatre actionneurs de frein

Le seul élément qui caractérise un système de gestion électronique du système de freinage est le groupe électro-hydraulique.

Ce dispositif regroupe:

la centrale électronique de commande

les électrovannes chargées de gérer les pressions des circuits de freinage

tous les actionneurs indispensables au fonctionnement du système

CARACTERISTIQUES: Outre les différences de conception que l'on peut constater entre le modèle d'un fabricant et celui d'un autre la seule caractéristique vraiment importante de ces groupes électro-hydrauliques et qui les subdivise en deux catégories est la suivante:

groupe avec 8 électrovannes

groupe avec 12 électrovannes

Les différences et le fonctionnement de ces dispositifs seront définis en fonction des caractéristiques du système.

CONNEXIONS La centrale électro-hydraulique, reliée au maître-cylindre des freins et aux cylindres des étriers des freins au moyen des canalisations du circuit de freinage est également intégrée à la centrale électronique.

FONCTION Le calculateur électronique de commande a pour fonction de:

collecter les données en provenance des capteurs de vitesse de roue

mémoriser les paramètres de contrôle définis pendant l'expérimentation du véhicule

traiter les données collectées pour contrôler le processus de freinage

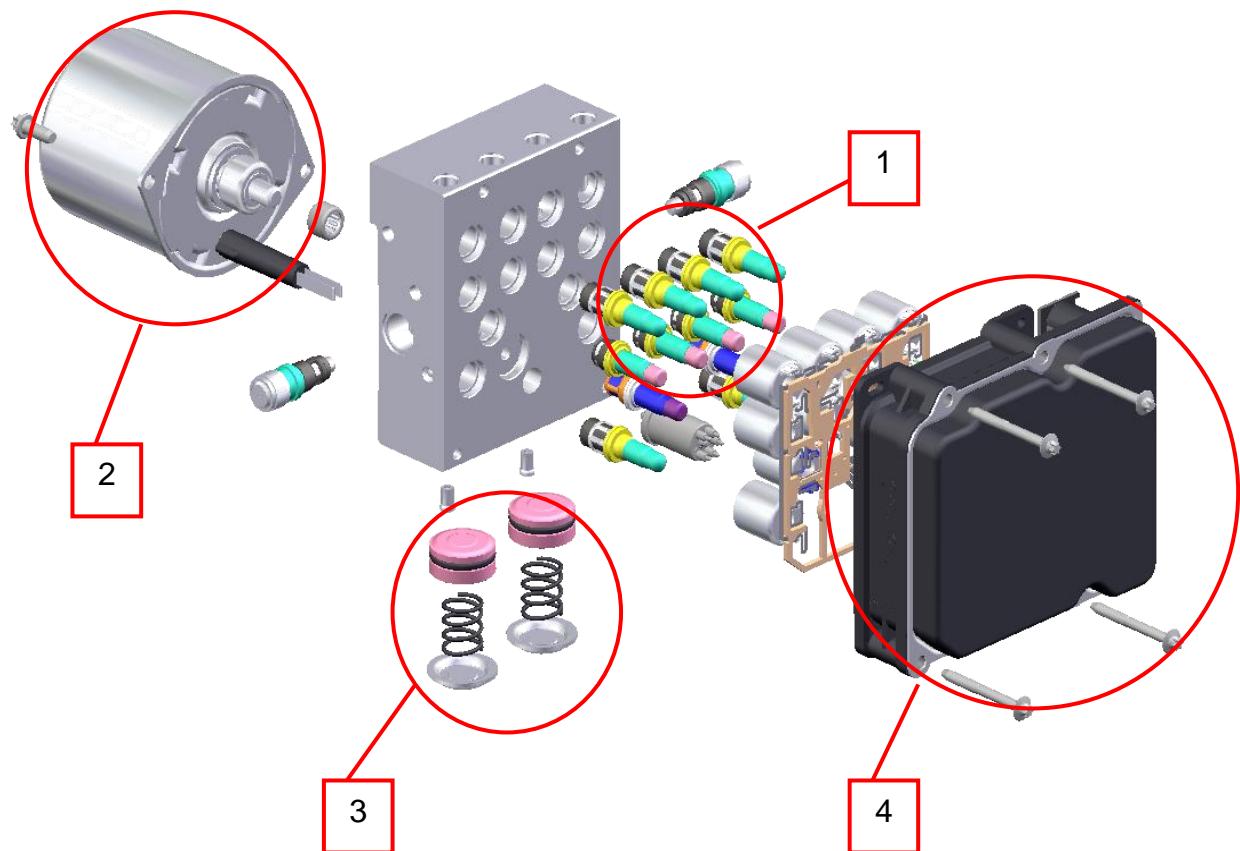
déetecter les anomalies des composants par un auto-diagnostic

mémoriser les anomalies rencontrées

lancer au besoin les stratégies de diagnostic
dialoguer avec la centrale de contrôle moteur
il a également pour but de moduler la pression du liquide de freins dans les cylindres des étriers de freins en fonction des signaux fournis par les différents capteurs

COMPOSITION la centrale électro-hydraulique comprend des électrovannes à deux voies (deux pour chaque circuit hydraulique) une pompe électrique à double circuit pilotée par le calculateur électronique et quatre accumulateurs (deux pour chaque brin du circuit); notamment la pompe de rattrapage permet de récupérer le liquide de freins dans les phases de réduction de la pression en renvoyant le débit d'huile fourni en amont des électrovannes pour les phases suivantes d'augmentation de la pression.

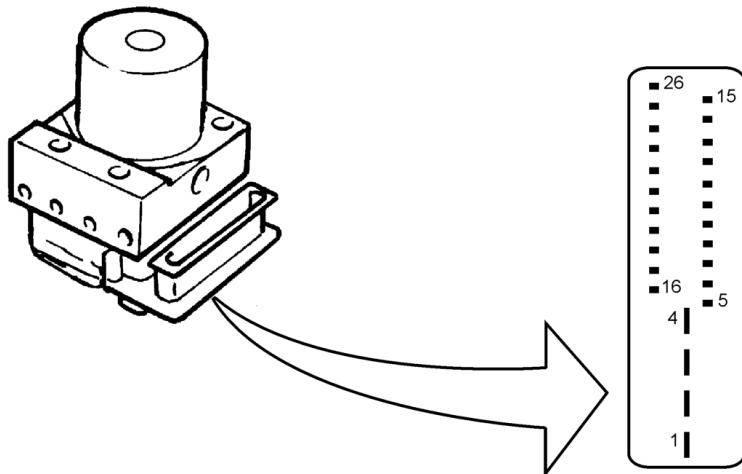
VUE ECLATÉE DU GROUPE ELECTRO-HYDRAULIQUE DU SYSTEME ESP BOSCH 8.0



2LECTROVANNES
moteur – pompe
accumulateurs
centrale électronique

CABLAGE

A titre d'exemple on trouvera ci-joint le brochage du calculateur ABS Bosch 8.0:



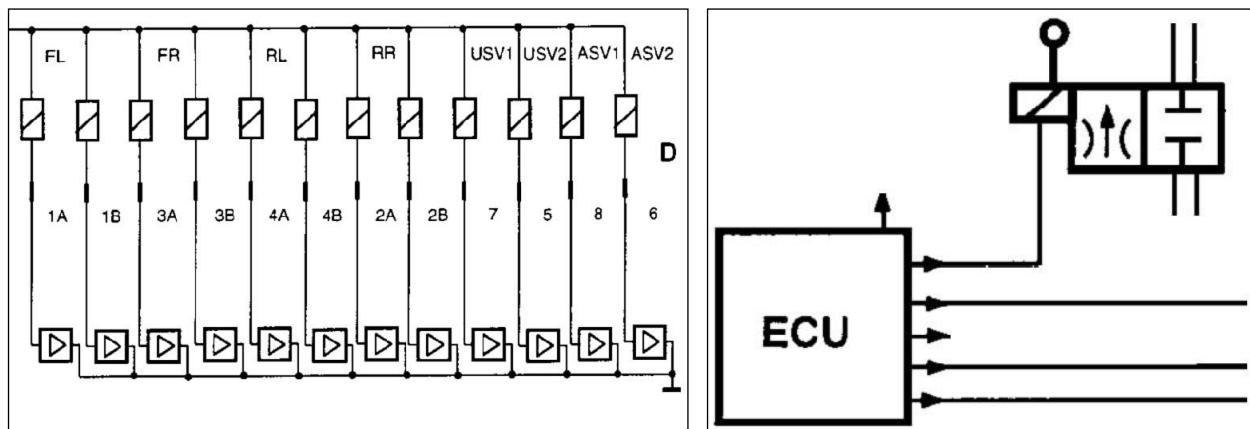
- | | |
|---|---|
| 1. masse | 14. non connectée |
| 2. alimentation (+30) | 15. branchement avec le réseau C-CAN L |
| 3. alimentation (+30) | 16. branchement avec le capteur de roue AVG |
| 4. masse | 17. branchement avec le capteur de roue ARG |
| 5. branchement avec le capteur de roue AVG | 18. alimentation sous clé (+15) |
| 6. branchement avec le capteur de roue ARG | 19. branchement avec le capteur de roue ARD |
| 7. non connectée | 20. signal de l'interrupteur de pédale de frein |
| 8. branchement avec le capteur de roue ARD | 21. non connectée |
| 9. branchement avec le capteur de roue AVD | 22. non connectée |
| 10. branchement avec le capteur de roue AVD | 23. branchement avec le noeud de l'ordinateur de bord |
| 11. Ligne diagnostic K | 24. non connectée |
| 12. non connectée | 25. non connectée |
| 13. non connectée | 26. branchement avec le réseau C-CAN H |

COMMANDÉ DES ELECTROVANNES: Les électrovannes du groupe électro-hydraulique sont activées par l'unité électronique avec une commande à la masse.

Ceci signifie que l'une des extrémités de l'enroulement de l'électrovanne est constamment connecté à la tension de batterie (12V) tandis que l'autre attend le contact à la masse.

Ce contact à la masse ne se fait pas naturellement avec des organes mécaniques ou électro-mécaniques (relais) mais via des transistors de puissance.

AVANTAGES: Le système de commande à la masse évite, lorsqu'il n'est pas nécessaire de garder excitées les électrovannes, de maintenir sous tension directe des parties internes de l'unité électronique.



Commande à la masse des électrovanne

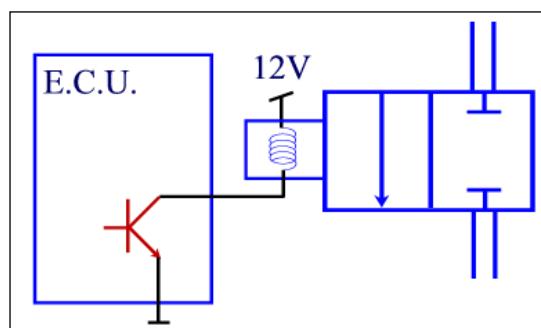


Schéma électrique de la commande via transistor

8.6 CONFIGURATIONS POSSIBLES DU SYSTEME

NIVEAUX DE FINITION POSSIBLES Le système électronique de gestion du système de freinage peut remplir une vaste gamme de fonctions selon aussi bien la composition physique du groupe électro-hydraulique que des fonctions logicielles qu'il garde en mémoire.

Le système possède habituellement les groupes de fonctions suivants:

ABS + EBD

(gestion du freinage)

ABS + EBD + ASR

(gestion du freinage et de la motricité)

ABS + EBD + ASR + TCS

(gestion du freinage et de la traction)

ABS + EBD + VDC (ESP)

(gestion du freinage, de la traction et de la stabilité du véhicule)

Nous analyserons maintenant les différents niveaux de finition tant du point de vue de leur composition physique que de celui des logiques d'intervention programmées.

8.7 SIGNIFICATION DES SIGLES

A.B.S. : Système d'antiblocage

E.B.D. : Répartition électronique du freinage

A.S.R. : Régulation de l'anti-patinage

T.C.S. : Système de contrôle de la traction

V.D.C. : Contrôle dynamique du véhicule

H.H.: Assistance en côte

H.B.A.: Assistance hydraulique au freinage

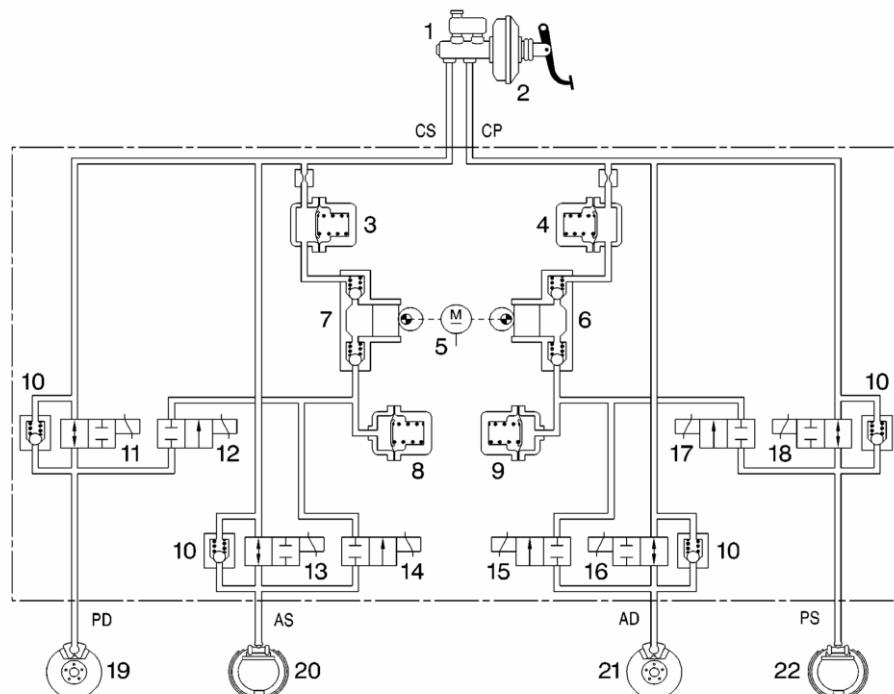
M.S.R.: Motor Schleppmoment Regelung

N.B. :

Habituellement la fonction TCS inclut également la fonction ASR tandis que la fonction ESP inclut TCS, MSR, HBA, HH et ASR.

Entre le niveau de finition ABS+EBD et tous les autres il y a une différence importante du groupe électro-hydraulique dans la mesure où l'on passe du type à 8 électrovannes à celui qui en comporte 12.

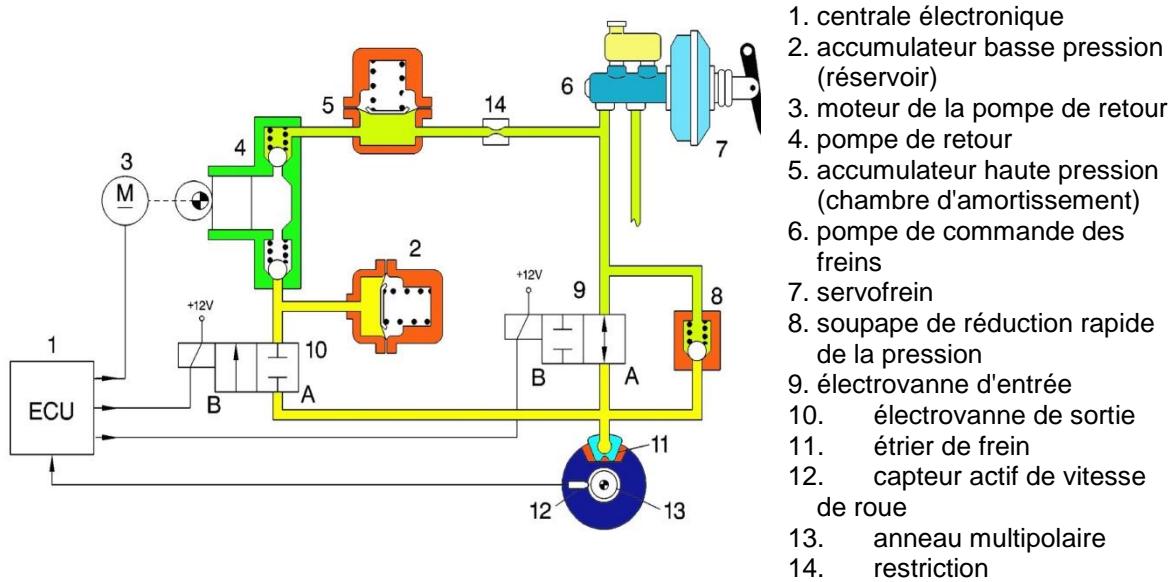
8.8 SCHEME HYDRAULIQUE DE LA CENTRALE ELECTRO-HYDRAULIQUE



1. maître-cylindre de freins	12. électrovanne de sortie ARD
2. servofrein	13. électrovanne d'entrée AVG
3. accumulateur de haute pression	14. électrovanne de sortie AVG
4. accumulateur de haute pression	15. électrovanne de sortie AVD
5. moteur de la pompe de retour	16. électrovanne d'entrée AVD
6. pompe de retour	17. électrovanne d'entrée ARG
7. pompe de retour	18. électrovanne de sortie ARG
8. accumulateur de basse pression	19. tambour de frein ARD
9. accumulateur de basse pression	20. étrier de frein AVG
10. soupape de réduction rapide de la pression	21. étrier de frein AVD
11. électrovanne d'entrée ARD	22. tambour de frein ARG

8.9 FONCTIONNEMENT DE LA CENTRALE ELECTRO-HYDRAULIQUE

8.9. 1 PHASE DE REPOS



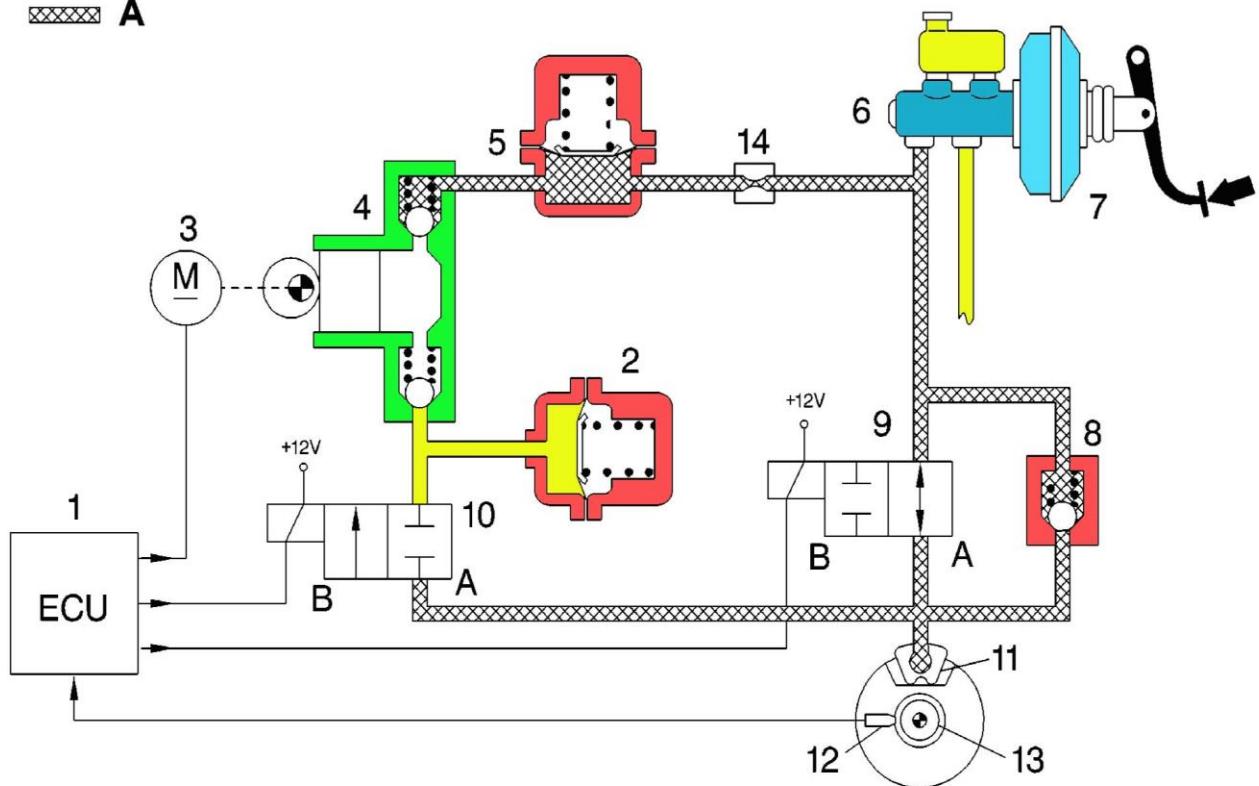
ELECTROVANNES: au repos l'électrovanne d'entrée pour chaque canal est en position ouverte c'est-à-dire qu'elle permet le passage du liquide à l'étrier de freins; par contre l'électrovanne de sortie est fermée, interdisant au liquide de s'écouler vers l'accumulateur de basse pression, dans ces conditions, la centrale électro-hydraulique est complètement transparente au passage de l'huile du maître-cylindre de freins; en cas d'anomalie du système ABS la centrale électro-hydraulique reste au repos permettant au conducteur d'effectuer encore le freinage de façon traditionnelle.

ACCUMULATEURS: Les accumulateurs permettent de stocker provisoirement le liquide de freins durant la phase de baisse de pression.

POMPE DE RETOUR: la pompe de retour, pendant la phase de réduction de la pression, a pour fonction de récupérer le liquide de freins à la sortie de l'étrier et de l'envoyer par l'accumulateur de haute pression au maître-cylindre de freins; la pompe de retour est à pistons libres à double circuit et elle est commandée par un moteur électrique; les pistons sont reliés directement au vilebrequin par le biais d'une came qui s'appuie sur les pistons et qui permet d'effectuer uniquement la course de pression du piston mais pas la course d'aspiration.

8.9. 2 PHASE D'AUGMENTATION DE LA PRESSION

..... A



A. brin du système avec hausse de la pression

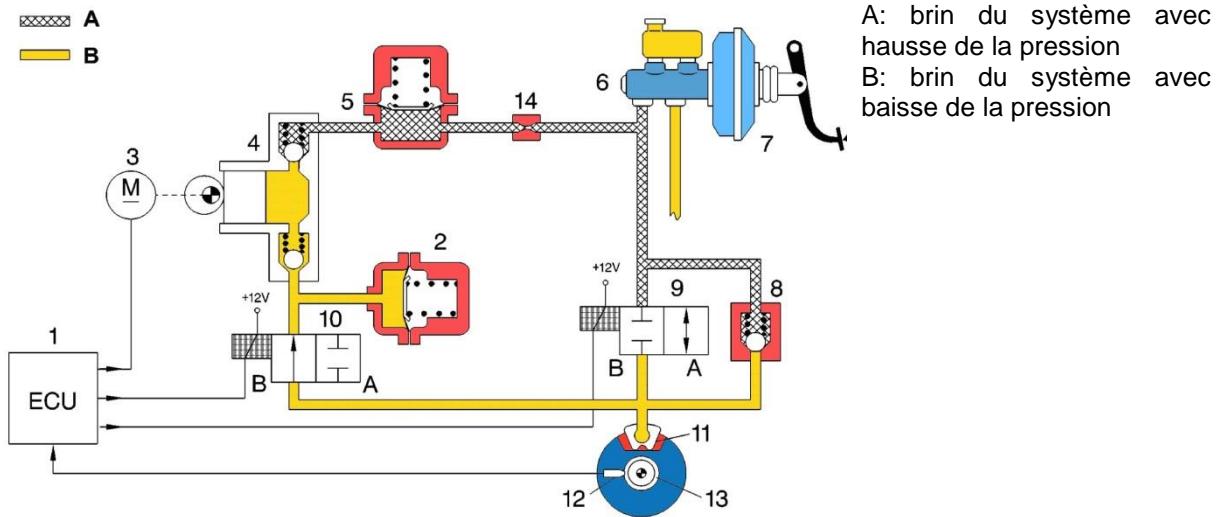
ELECTROVANNES: lorsque le conducteur appuie sur la pédale de frein, la pression engendrée par le maître-cylindre de freins arrive à ceux-ci sans subir de variations du fait que n'étant pas alimentées électriquement par la centrale les électrovannes restent en condition de repos.

ACCUMULATEURS: l'accumulateur de haute pression se trouve à la pression de commande des étriers tandis que l'accumulateur de basse pression n'est pas alimentée.

POMPE DE RETOUR: la pompe de retour n'est pas concernée par la pression de commande des freins, restant inactive.

ROUES: pendant la phase d'augmentation de la pression gérée par le conducteur qui agit sur la pédale de frein elles ralentissent jusqu'à ce que l'on relève une valeur de décélération inférieure au seuil mémorisé dans la centrale.

8.9.3 PHASE DE MAINTIEN DE LA PRESSION

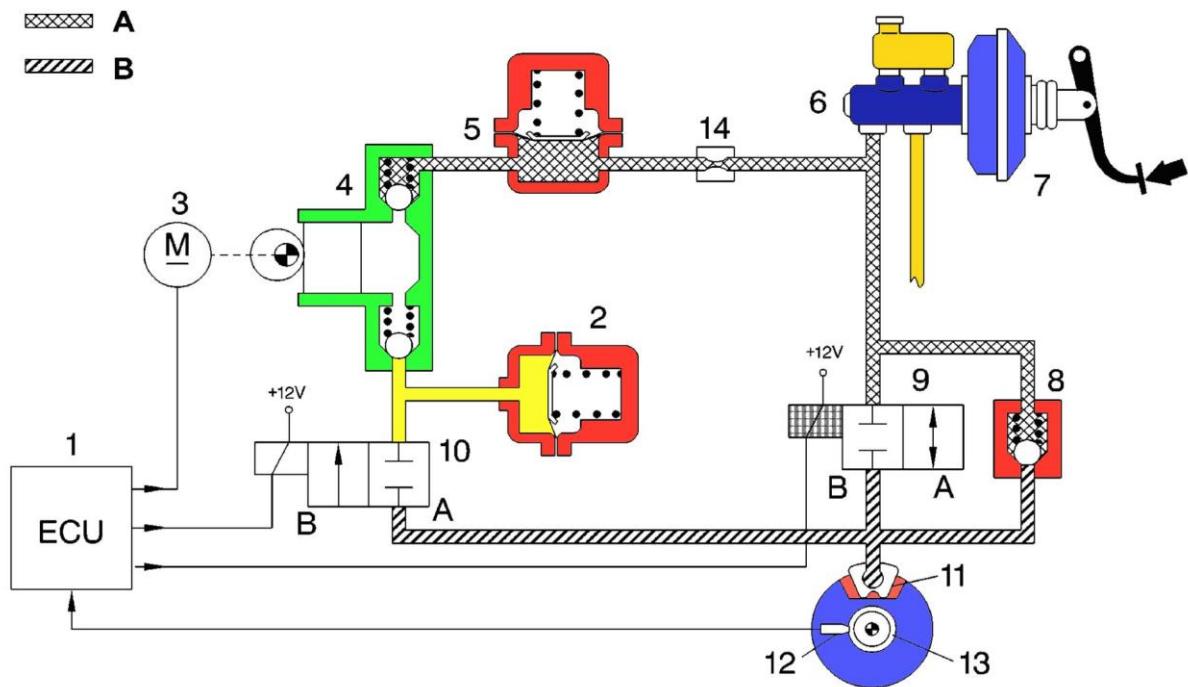


ELECTROVANNES: le calculateur électronique mesure la tendance des roues à se bloquer et active le groupe électro-hydraulique pour maintenir la décélération de la roue dans les valeurs autorisées; l'électrovanne d'entrée est alimentée pour interrompre la connexion entre le maître-cylindre et l'étrier de freins de même que l'électrovanne de sortie dans le but cependant de permettre le passage d'une certaine quantité d'huile vers l'accumulateur de basse pression et la pompe de retour de façon à réduire la pression à l'étrier de freins.

ACCUMULATEURS: l'accumulateur de basse pression dans le circuit a pour objectif de stocker une partie du liquide de freins retranchée aux étriers en stabilisant également la pression aux étriers; l'accumulateur de haute pression accueille le débit d'huile à la sortie de la pompe de retour et a pour fonction d'amortir (en plus de la restriction) les ondes de pression engendrées par la pompe de retour.

POMPE DE RETOUR: la centrale alimente le moteur de la pompe de retour afin de soutirer une certaine quantité de liquide de freins qui est réinjectée dans le circuit principal du maître-cylindre de freins; c'est lors de cette phase que sont engendrées les ondes de pression amorties par l'accumulateur de haute pression et par l'étranglement mais qui sont toutefois perçues par le conducteur sous forme de légères vibrations sur la pédale de frein.

8.9.4 PHASE D'ABAISSEMENT DE LA PRESSION



A. brin du système avec hausse de la pression

B: brin du système avec baisse de la pression

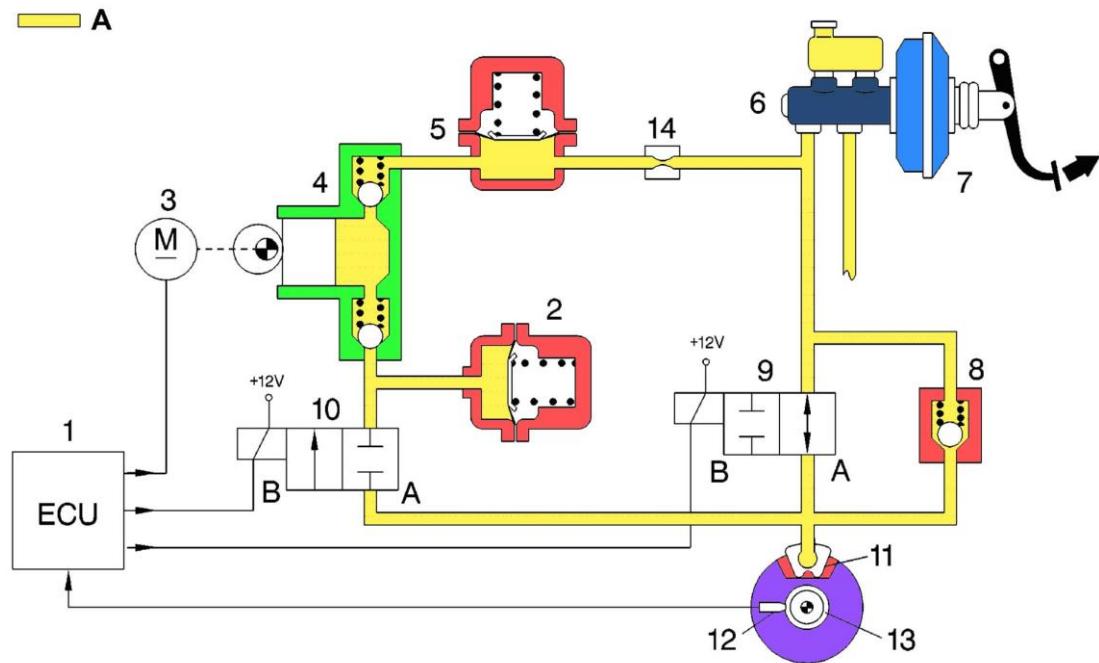
ELECTROVANNES: pendant cette phase la centrale alimente uniquement l'électrovanne d'entrée, laquelle interrompt le branchement entre le maître-cylindre de freins et l'étrier correspondant; l'électrovanne de sortie n'est pas alimentée, fermant ainsi la ligne vers la pompe de retour; ainsi toute liaison entre le maître-cylindre et l'étrier est interrompue de sorte que la valeur de pression précédemment atteinte (soit en phase d'augmentation soit en phase de réduction) est maintenue constamment.

ACCUMULATEURS: l'accumulateur de haute pression se trouve à la pression du maître-cylindre gérée par le conducteur via la pédale tandis que l'accumulateur de basse pression n'est pas impliqué dans cette phase.

POMPE DE RETOUR: la pompe de retour n'est pas concernée par la pression de commande des freins, restant inactive.

ROUES: lors de cette phase, bien que la force de freinage maintienne une action continue de ralentissement, la roue peut changer de vitesse en fonction de l'adhérence à la chaussée jusqu'à ce que le signal du capteur actif de vitesse de roue ne détecte une variation de vitesse hors tolérance par rapport à la vitesse de référence.

8.9.5 RELACHEMENT DE LA PEDAULE DE FREIN



A: brin du système avec baisse de la pression

ELECTROVANNES: une fois détecté le relâchement de la pédale de frein, la centrale met au repos les deux électrovannes.

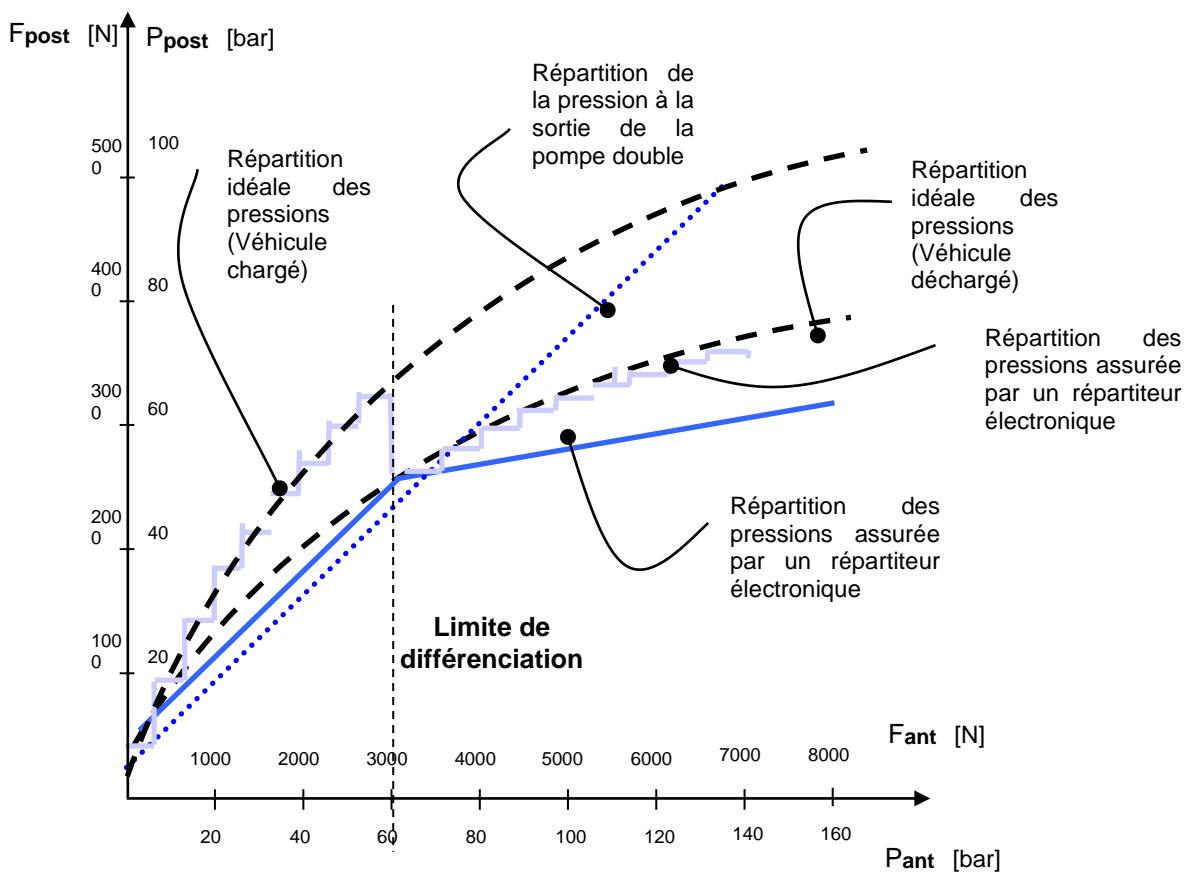
ACCUMULATEURS: la pression baisse dans tout le circuit de sorte que les deux accumulateurs peuvent se décharger.

POMPE DE RETOUR: la pompe de retour reste inactive.

ROUES: les roues ne sont plus soumises à la force de freinage exercée par les étriers de frein.

SOUAPE DE REDUCTION RAPIDE DE LA PRESSION: pour réduire rapidement la pression sur l'étrier de freins lorsque l'on relâche la pédale, le système est doté d'un clapet anti-retour situé parallèlement à l'électrovanne d'entrée; pédale relâchée, la pression en amont de l'électrovanne diminue, le brin en aval se trouvant à une pression supérieure; étant donné la petite lumière de passage à travers l'électrovanne d'entrée qui entraînerait une réduction plus lente de la pression, le clapet d'anti-retour intervient pour élargir le passage et assurer des délais de vidange considérablement inférieurs.

9 FONCTION EBD

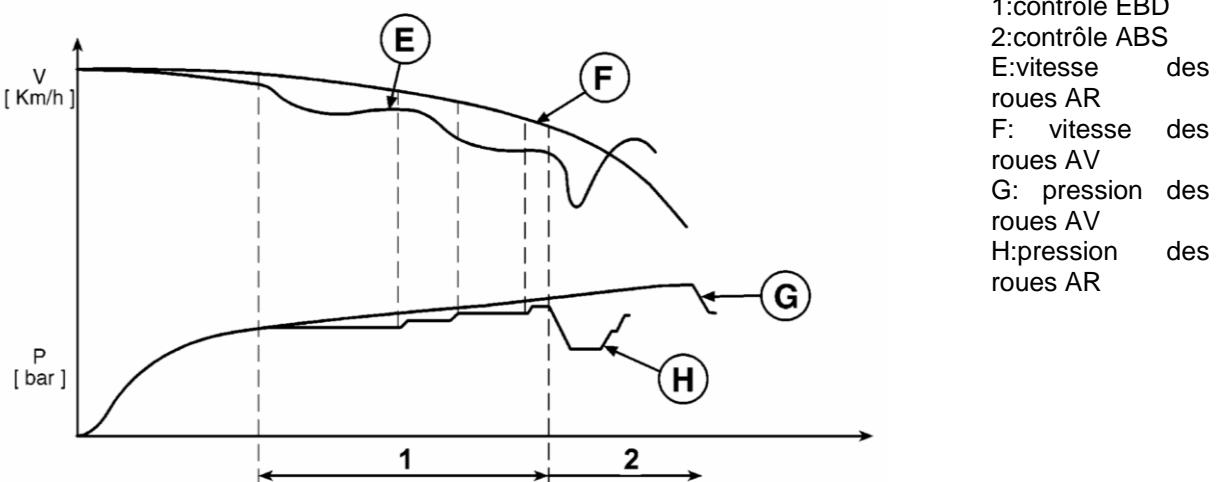


Pendant un freinage, la force d'inertie exercée sur le barycentre produit un transfert de charge qui tend à augmenter la charge reposant sur les roues AV, au détriment des roues AR. Si l'on appliquait un moment de freinage simplement proportionnel à la charge statique aux quatre roues, les pneus AR seraient les premiers à atteindre la limite d'adhérence, compromettant la stabilité directionnelle du véhicule (tendance au survirage). Pour éviter ce phénomène on a monté dans les systèmes sans ABS un clapet, le répartiteur de freinage, en mesure de limiter la pression de freinage aux roues AR.

Aujourd'hui le réglage peut se faire directement par le modulateur hydraulique du système ABS appelé EBD.

Le contrôle EBD essaie de reproduire la courbe idéale de répartition du freinage, plus fidèlement que ce qui est possible avec un répartiteur de freinage mécanique: à partir des signaux de vitesse des quatre roues, il calcule la vitesse moyenne des roues de l'essieu AV et AR et en comparant les décélérations sur les deux essieux il se charge de moduler la pression sur l'essieu AR.

FONCTIONNEMENT DE L'EBD



- 1:contrôle EBD
- 2:contrôle ABS
- E:vitesse des roues AR
- F: vitesse des roues AV
- G: pression des roues AV
- H:pression des roues AR

INTEGRATION AU SYSTEME ABS: comme cela a déjà été dit, la fonction EBD du système ABS est en mesure de s'adapter à la courbe de pression idéale, exploitant en permanence l'adhérence disponible dans toutes les conditions de freinage; l'intégration de la fonction EBD dans la logique normale de fonctionnement du système ABS permet d'appliquer simultanément deux stratégies; ainsi le système intervient normalement afin de maintenir le "glissement" des pneumatiques dans des valeurs très proches des valeurs idéales, avec la possibilité quoi qu'il en soit d'intervenir avec la stratégie ABS lorsqu'une roue tend à se bloquer.

CONTROLE EBD: Le graphique ci-dessus illustre justement ce type de stratégie: tandis que les roues AR sont en phase de ralentissement et que leur variation de vitesse reste dans les limites imposées (le système ABS étant en phase d'augmentation de la pression pour les roues AV et donc inactif) la pression de freinage pour les étriers AR est modulée à la hausse par le brin AR qui a pour but de réaliser la fonction EBD; à noter également, comme dans la phase 1, que la pression pour les étriers AR se maintient toujours en dessous des étriers AV (voir courbe de répartition idéale).

CONTROLE ABS: dès que les roues de l'essieu AR ont tendance à trop décélérer par rapport aux conditions de référence, le système intervient en tant qu'ABS également pour les roues AR en appliquant les trois phases: augmentation / réduction / maintien de la pression (phase 2 graphique).

TRAVAUX PRATIQUES

CONTRÔLER LE SYSTÈME DE FREINAGE

Objectif:

- Faire un diagnostic précis du système de freinage avant le passage au banc (contrôle technique)

MATÉRIELS, CONSOMMABLES ET DOCUMENTS NÉCESSAIRES

- La revue technique du véhicule
- Une fiche de relevé des contrôles
- L'outillage courant
- L'outillage de métrologie
- Un repousse-piston d'étrier
- Appareil de contrôle pour le liquide de frein

ORGANISER SON POSTE DE TRAVAIL

Relever dans la revue technique du véhicule

- > Le type de montage : 4 freins à disques ou disques à l'avant et tambours à l'arrière.
- > Le type de branchement du double circuit.
- > Le type de correcteur de freinage.
- > Le type d'ABS.
- > Les caractéristiques des freins à disques :
 - Type d'étrier.
 - Diamètre nominal du disque.
 - Épaisseurs nominale du disque et minimale après usure.
 - Voile maximal du disque.
 - Écart maximal d'épaisseur du disque.
 - Épaisseur minimale des plaquettes.
- > Les caractéristiques des freins à tambours :
 - Diamètres nominal du tambour et maximal après usure.
 - Ovalisation maximale du tambour.
 - Épaisseur minimale des garnitures.
- > Les caractéristiques du circuit hydraulique :
 - Type de liquide de freins.
 - Périodicité de remplacement.
- > Les couples de serrage.
- > La méthode de réglage du frein à main.
- > La méthode de démontage des plaquettes de freins et des mâchoires de freins à tambours.

Les freins à disques

1. Déposer les plaquettes (voir fiche suivante)
2. Contrôler l'épaisseur des plaquettes
3. Contrôler la conformité des disques (diamètre, épaisseur du chanfrein (collerette) du rebord du disque)
4. Contrôler l'épaisseur des disques à plusieurs diamètres et en 4 points à l'aide du micromètre.
5. Contrôler le voile du disque (comparateur + support aimanté) et son état de surface.
Comparer avec les valeurs constructeurs. Une rectification est possible à condition de ne pas dépasser l'épaisseur minimale.
6. Déetecter les traces de gras autour du cache poussière et éventuellement sur le disque et les plaquettes. Repousser les pistons à l'aide d'une cale en bois ou les visser dans le cylindre selon le cas pour vérifier leur bon fonctionnement (il est préférable d'utiliser un repousse piston qui est l'outil approprié s'il est en votre possession).
7. Noter tous les contrôles, remplacer ou réparer si nécessaire et remonter.

Les freins à tambours

1. Déposer le tambour.
2. Mesurer le diamètre nominal au chanfrein sur le rebord du tambour.

3. Mesurer le diamètre du tambour en 2 points.

4. Mesurer l'ovalisation du tambour.

5. Vérifier l'état de surface. Une rectification est possible à condition de ne pas dépasser le diamètre maximal autorisé. Mesurer l'épaisseur des garnitures ainsi que l'état de surface : traces de gras, rayures, etc.

6. Manoeuvrer les pistons des cylindres de roue à la main pour vérifier s'ils ne sont pas grippés.

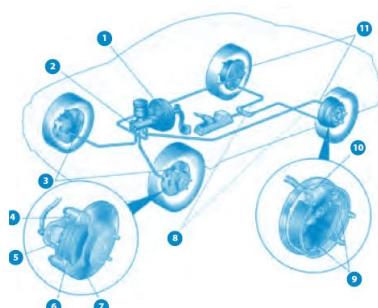
7. Écarter les caches-poussières pour détecter les fuites. Actionner le frein à main et vérifier le bon coulissemement des câbles et l'écartement des mâchoires.

Le circuit hydraulique

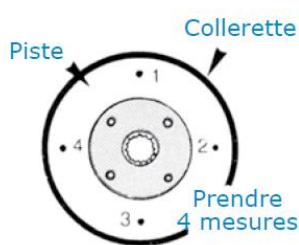
1. Contrôler le maître-cylindre : moteur tournant, freins en état → la course à la pédale doit être courte. Rester appuyé 1 min environ, la pédale ne doit pas aller au plancher. Contrôler le niveau dans le réservoir et l'état du liquide.

2. Contrôler les canalisations rigides ou flexibles. **Le système de freinage est très important pour la sécurité du conducteur**

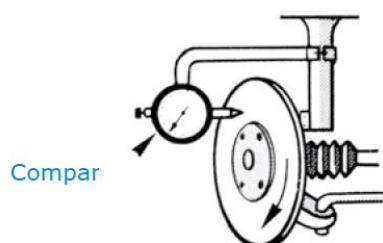
et des passagers. Un véhicule ne peut pas sortir d'un atelier avec des freins en mauvais état, la responsabilité du garagiste est engagée.



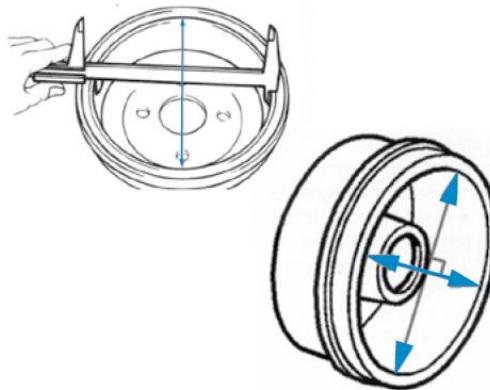
- 1. Servofrein
- 2. Maître cylindre
- 3. Freins avant
- 4. Indicateur d'usure
- 5. Plaquette intérieure
- 6. Plaquette extérieure
- 7. Disque
- 8. Câble de frein de stationnement
- 9. Segments
- 10. Cylindre récepteur
- 11. Freins arrière



Contrôler l'usure du disque



Contrôler le voile du disque



Contrôler le diamètre nominal et l'ovalisation du tambour

REEMPLACER DES PLAQUETTES DE FREINS

Objectif:

- Déposer, contrôler et reposer les plaquettes de freins en respectant les préconisations du constructeur.
- Contrôler et remplacer éventuellement les disques de freins.

MATÉRIELS, CONSOMMABLES ET DOCUMENTS NÉCESSAIRES

- La revue technique du véhicule
- Un jeu de plaquettes neuves + les disques (éventuellement)
- L'outillage courant
- Un micromètre
- Un comparateur avec son support
- Un repousse-pistons

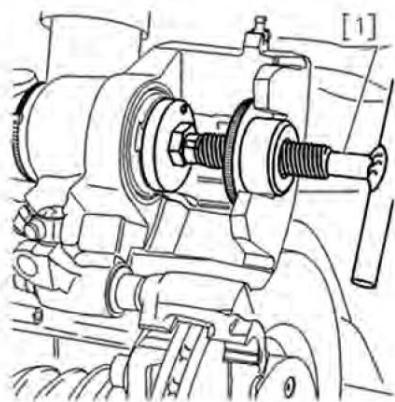
ORGANISER SON POSTE DE TRAVAIL

Relever dans la revue technique du véhicule

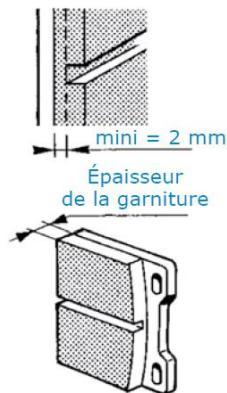
- > Les recommandations particulières au modèle de freins du véhicule pour dépose – repose des plaquettes + des disques.
- > Le type exact de plaquettes.
- > L'épaisseur minimale des disques.
- > Le type de liquide frein préconisé.

Préparer

1. **Caler et lever** le véhicule. Placer des chandelles aux points prévus.
2. **Déposer** les roues.
3. **Identifier** le modèle de freins (étriers fixes ou flottants), la marque et le type.
4. **Ouvrir** le bouchon du réservoir de liquide de freins pour voir si il est au niveau mini (sinon le vider jusqu'au mini) pour prévenir tout débordement lorsqu'on repousse les pistons.



Repousser le piston



Contrôle de l'épaisseur d'une plaquette de frein

Usure des plaquettes

Déposer

1. **Ne déposer** qu'un côté à la fois afin de conserver le montage de référence. Débrancher le fil témoin d'usure sur la plaquette intérieure (si le véhicule en est équipé).
2. **Dégager** le système de verrouillage des plaquettes selon le modèle (clavettes, axe ou colonnettes).
 - Pour les étriers fixes et certains modèles d'étriers flottants : repousser les plaquettes avec une pièce de bois si on ne dispose pas du repousse-pistons adéquat et extraire les plaquettes.
 - Pour les étriers flottants, il faut démonter tout ou partie de l'étrier selon le modèle; les plaquettes se dégagent latéralement.

Contrôler

1. **Épaisseur de la garniture** : 2 mm minimum.

2. **État du disque** (voir fiche précédente) :

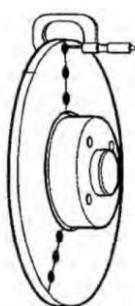
- surface lisse (pas de rayure profonde),
- épaisseur de piste en plusieurs points,
- voile maximal du disque.

3. **État de l'étrier** :

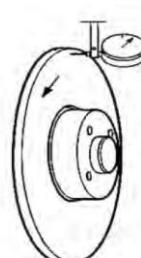
- traces de gras,
- grippage du piston,
- état et montage du cache-poussière,
- coulissolement correct des glissières en cas d'étrier flottant.

4. **État du flexible** :

- fuites,
- craquelures,
- traces de frottement.



Épaisseur du disque



Voile du disque

Reposer et tester

1. **Nettoyer** l'étrier, les pièces d'appui et de coulissolement.

2. Repousser le ou les pistons à l'aide du repousse-pistons ou d'une pièce en bois le cas échéant. Si l'étrier comprend un piston qui se visse, tourner le piston en le repoussant (voir revue technique).

3. Placer les éléments antibruit (s'ils existent) dans la position trouvée au démontage.

Remonter les pièces dans l'ordre inverse au démontage (comparer avec le côté non démonté pour le modèle).

4. Actionner plusieurs fois la pédale de freins pour rapprocher les plaquettes du disque.

Vérifier la mise en place de tous les verrouillages.

Faire le niveau dans le réservoir avec le liquide préconisé.

5. Reposer et serrer les roues au couple.

6. Faire un essai du véhicule.

À NOTER

En cas de fuite ou de grippage d'un piston, il est indispensable de remplacer l'étrier complet. Il peut être nécessaire de remplacer les deux étriers en cas de déséquilibre de la force de freinage. De même lorsqu'un disque présente un défaut grave (rayures profondes, différence d'usure d'un côté par rapport à l'autre), il faut remplacer les deux disques et mettre un jeu de plaquettes neuves. Les constructeurs préconisent de remplacer un jeu de disques au bout de deux remplacements d'un jeu de plaquettes.

REEMPLACER DES FREINS À TAMBOURS

Objectif:

- Contrôler et remplacer les freins à tambours en respectant les préconisations du constructeur.

MATÉRIELS, CONSOMMABLES ET DOCUMENTS NÉCESSAIRES

- La revue technique du véhicule
- Un kit de frein complet
- Une pince à ressorts de freins
- Une pince à cylindres de roue
- Une clé à tuyauter
- Une bombe de nettoyant frein

ORGANISER SON POSTE DE TRAVAIL

Relever dans la revue technique du véhicule

- > Les renseignements techniques particuliers au modèle.
- > La méthode de démontage et le réglage du frein à main.
- > Le type de liquide frein préconisé.

Préparer

1. **Caler et lever** le véhicule. Placer des chandelles aux points prévus. Relâcher le frein à main et déposer les roues.
2. **Identifier** le modèle de freins et son rattrapage automatique.
3. **Décrocher ou détendre** au maximum le câble de frein à main par la vis de réglage sous le véhicule.

RÉALISER L'INTERVENTION

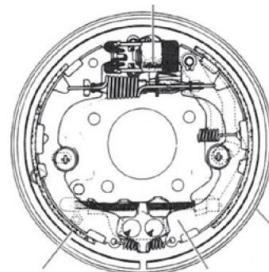
Déposer

Déposer le tambour :

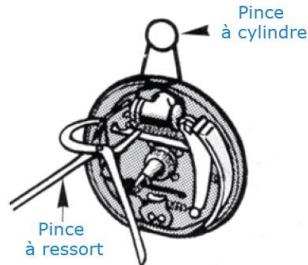
- > **Ôter** les vis de fixation ou retirer le bouchon d'étanchéité du moyeu ainsi que l'écrou et la rondelle de fusée.
- > **Frapper** doucement autour du tambour pour le décoller.
- > **Dépoussiérer** le tambour et les garnitures à l'aide d'un pinceau et de nettoyant frein (ne pas utiliser la soufflette).

Démonter

1. **Ne démonter** qu'un côté à la fois afin de conserver un montage de référence.
2. **Ôter** le ressort inférieur puis le ressort supérieur (pince à freins).
3. **Mettre** en place la pince à cylindres de roues pour maintenir les pistons.



Déposer le tambour



Ne démonter qu'un seul côté à la fois
pour garder l'autre côté en modèle

4. Dégrafer les ressorts de maintien latéraux des mâchoires sur le flasque. Enlever les mâchoires en repérant bien la position des ressorts et des différentes pièces de rattrapage automatique.
5. Déposer le segment primaire, la biellette et le segment secondaire.
6. Désaccoupler le câble de frein à main du segment secondaire. S'assurer du bon coulissemement du levier de frein à main.
7. Déposer le cylindre de roue et boucher l'arrivée de liquide de frein venant du tuyau.

Contrôler

1. Le coulissemement des câbles de frein à main dans leurs gaines.
2. L'usure des garnitures.
3. Les fuites du cylindre de roue (en écartant les cache-poussières) et vérifier qu'il ne soit pas grippé en contrôlant que les pistons intérieurs se déplacent librement.
4. Les ressorts, leviers et agrafes.
5. L'ovalisation du tambour en prenant deux mesures diamétralement opposées et son diamètre.
6. L'état des roulements.

Remonter

1. Nettoyer avec la bombe de nettoyant frein le flasque en évitant d'en mettre sur les roulements.
2. Graisser légèrement le flasque à l'endroit ou porte les segments pour éviter les grincements
3. Monter le cylindre de roue neuf.
4. Remonter les leviers de frein à main et de rattrapage sur les nouvelles mâchoires.
5. Remonter tous les éléments neuf dans l'ordre inverse du démontage.

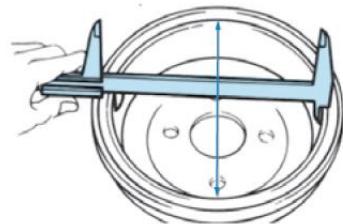
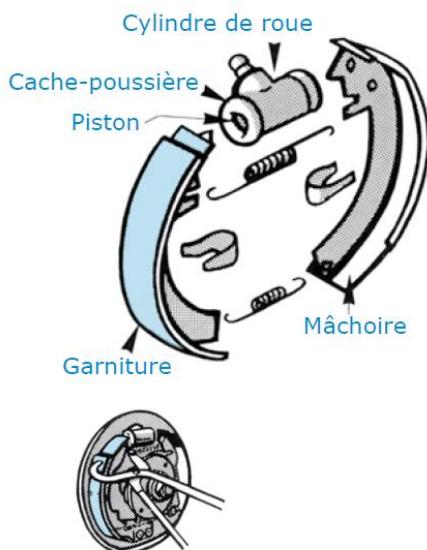
Remarque : les constituants du mécanisme de frein sont particuliers au côté droit et gauche, il est impératif de ne pas les panacher.

6. Replacer les ressorts (pince ressorts de freins). Placer le système de rattrapage en position de départ.
7. Contrôler la bonne position de toutes les pièces et leur fixation (comparer éventuellement avec l'autre côté).

Reposer

1. Nettoyer la piste du tambour de toute trace de gras.
2. Bien centrer les mâchoires.
3. Reposer le tambour et régler le câble de frein à main.

4. Purger le système de freinage (voir fiche concernée), appuyer sur la pédale pour faire agir les systèmes de rattrapage.



Contrôle de l'ovalisation

À NOTER

Lors du remplacement des freins à tambour, il est préférable de changer les cylindres de roue mêmes s'ils ne fuient pas car souvent les fuites se produisent peu de temps après et il faut donc refaire l'opération en remplaçant le kit complet puisque les garnitures sont imbibées de liquide frein dans ce cas là. Il est préférable de choisir des kits de freins pré-montés.

PURGER LE CIRCUIT DE FREINAGE

Objectif:

- Éliminer les bulles d'air qui, par leur compressibilité, empêchent la transmission normale de l'effort de freinage.

MATÉRIELS, CONSOMMABLES ET DOCUMENTS NÉCESSAIRES

- La revue technique du véhicule
- Les housses d'aile
- L'outillage courant
- Un bidon de liquide de freins correspondant aux données constructeurs
- Une bouteille et un tuyau flexible transparent.

ORGANISER SON POSTE DE TRAVAIL

Relever dans la revue technique du véhicule

- > Les caractéristiques du circuit de freinage.
- > Le type de double circuit.
- > Le type de liquide frein préconisé (DOT 4...).

Préparer

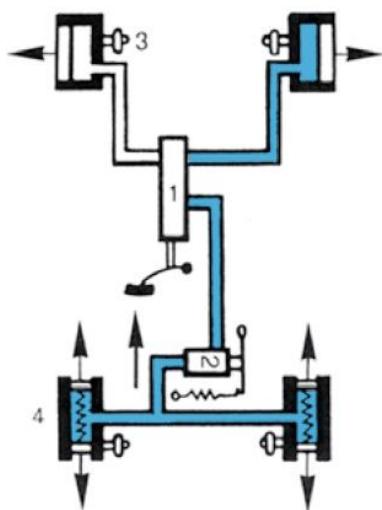
- > Le bidon de liquide de freins correspondant aux données constructeurs.
- > Un tuyau en plastique souple dont le diamètre s'adapte sur les purgeurs.
- > Une petite bouteille transparente.
- > Une housse d'aile à placer impérativement sur l'aile avant gauche.

1. Placer l'avant du véhicule sur chadelles et déposer les roues (si cela est nécessaire pour accéder aux purgeurs).

2. Soulever l'arrière du véhicule et placer le sur chadelles uniquement s'il ne comporte pas de correcteur de freinage asservi à la suspension car celui-ci devrait alors détecter une charge.

3. S'assurer que le niveau de liquide de frein est au maxi, en rajouter si nécessaire. Laisser le bocal ouvert.

4. Attention : il y a un ordre à respecter pour effectuer la purge suivant le montage en H ou en X. Il est préférable de consulter la revue technique du véhicule pour voir l'ordre d'ouverture des vis de purge. Selon le type de circuit il est possible de faire une purge de la roue la plus éloignée à la plus proche du maître cylindre (1.AR.D, 2. AR.G, 3 AV.D, 4. AV.G).



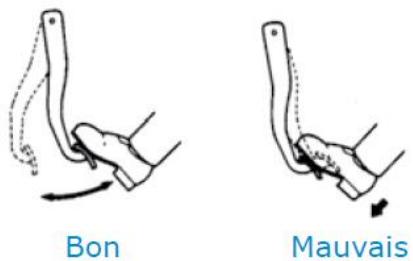
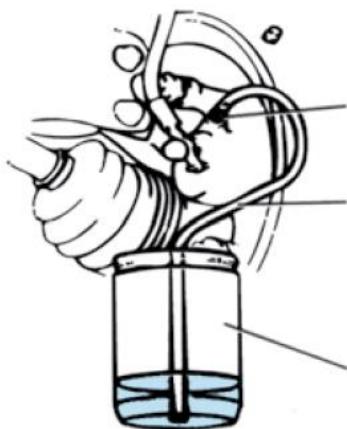
Appuyer lentement sur la pédale

1. Maître-cylindre tandem
2. Correcteur de freinage
3. Récepteur de frein à disque
4. Cylindre de roue (frein à tambour, montage en H)

RÉALISER L'INTERVENTION

Purger

1. **Faire monter** quelqu'un dans la voiture pour appuyer sur la pédale de frein.
2. **Retirer** les bouchons des purgeurs et ouvrir le purgeur arrière droit (exemple) en le tournant d'environ $\frac{1}{4}$ de tour.
3. **Placer** le tuyau sur le purgeur et le faire tremper dans la bouteille.
4. **Effectuer** la purge :
 - Faire appuyer sur la pédale.
 - Ouvrir le purgeur et le refermer dès que la pédale est au plancher.
 - Faire pomper lentement est bien à fond sur la pédale, dès qu'elle est au maxi, rester en appui sur la pédale.
 - Ouvrir le purgeur et le refermer dès que la pédale est au plancher. Répéter l'opération plusieurs fois jusqu'à qu'il n'y est plus de bulle d'air à chaque roue et dans l'ordre indiqué en fonction du type de circuit.
5. **Faire le niveau** du bocal avec du liquide neuf après la purge de chaque roue. La pédale doit rester ferme et non élastique sinon, recommencer la purge. Remettre les bouchons des purgeurs.
6. **Essayer** le véhicule : si le freinage est correct mais avec encore une course de la pédale trop longue, il faut vérifier le fonctionnement des rattrapages automatiques.



Ouvrir le purgeur



Appareils de purge de freins

À NOTER

Il est possible de purger sans appuyer sur la pédale de freins en utilisant un appareil de purge à pression ou à aspiration. Dans ce cas là plus besoin d'être deux (voir la notice de l'appareil).

Si le véhicule est muni d'un système ABS, il faut voir la méthode constructeur si on veut également purger le bloc ABS (utilisation de l'outil de diagnostic). Dans le cas d'une purge classique voir la procédure ci-dessus.

Dans tous les cas, la purge étant très importante pour l'efficacité de freinage, il faut suivre la méthode constructeur.

Attention à ne pas tomber du liquide de frein sur la peinture du véhicule celui-ci est très corrosif.

RÉGLER UN CORRECTEUR DE FREINAGE

Objectif:

- Vérifier que la pression de freinage arrière est bien limitée à des valeurs précises en fonction du freinage avant et de la charge du véhicule.
- Contrôler et régler le compensateur de freinage.

MATÉRIELS, CONSOMMABLES ET DOCUMENTS NÉCESSAIRES

- La revue technique du véhicule
- Une fiche de relevé des contrôles
- Une mallette de contrôle des pressions hydrauliques ou 2 manomètres et raccords
- Un bidon de liquide de freins correspondant aux données constructeurs

ORGANISER SON POSTE DE TRAVAIL

Relever dans la revue technique du véhicule

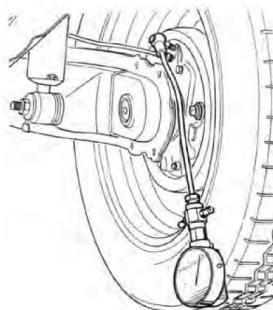
- > Le type de double circuit.
- > Le type de correcteur (compensateur).
- > La position du correcteur.
- > Les valeurs des pressions hydrauliques et les conditions de contrôle.
- > Le type de liquide frein préconisé.

Préparer

1. Placer le véhicule sur un pont élévateur pour roues posées.
 2. Préparer la mallette de contrôle et sa notice ou 2 manomètres de pression hydraulique (de 0 à 100 bars) avec les raccords correspondant aux purgeurs de freins.
 3. Remplacer les purgeurs par les raccords de prise de pression correspondants.
 4. Brancher les flexibles raccords aux manomètres.
- Respecter le branchement du type de double circuit en H ou en X.
5. Placer un aide à la pédale de frein.
 6. Purger les tuyaux et l'appareil de contrôle au pied ou avec l'appareil de purge (voir la fiche concernée). Faire chuter la pression dans le bocal, après la purge de l'appareil.
 7. S'assurer que le maître-cylindre fonctionne correctement. Tout d'abord il faut contrôler qu'il n'y a pas de fuites externes sur le maître cylindre.

Procédure de contrôle : exercer un effort sur la pédale de frein :

- > Si la pédale s'enfonce un peu puis devient dure, le maître cylindre est en bon état
- > Si la pédale s'enfonce progressivement, il y a une fuite interne, cela entraîne le remplacement du maître cylindre.



Raccorder le manomètre



RÉALISER L'INTERVENTION

Contrôler – régler

1. Contrôles préliminaires :

- Contrôler visuellement l'absence de fuite.
- Vérifier pour un véhicule équipé d'un correcteur asservi à la charge :
 - l'état mécanique de la liaison suspension-correcteur ;
 - que le véhicule soit placé sur un sol plan et horizontal, train roulant en position de roulage ;
 - que les conditions de charge préconisées par le constructeur soient respectées.
- 2. Faire appuyer** progressivement sur la pédale de freins jusqu'à obtenir la 1ère pression demandée en lisant sa valeur sur le manomètre avant.
- 3. Faire maintenir** cette pression constante à l'avant et lire la valeur indiquée par la manomètre arrière. Noter la valeur.
 - 1re mesure : valeurs identiques (pression non limitée à l'arrière)
 - 2e mesure : répéter l'opération en produisant une pression plus élevée dans le circuit avant et lire la valeur sur le manomètre AR. Noter la valeur.
 - Répéter l'opération pour la 3e mesure, éventuellement une 4e selon les valeurs constructeur.

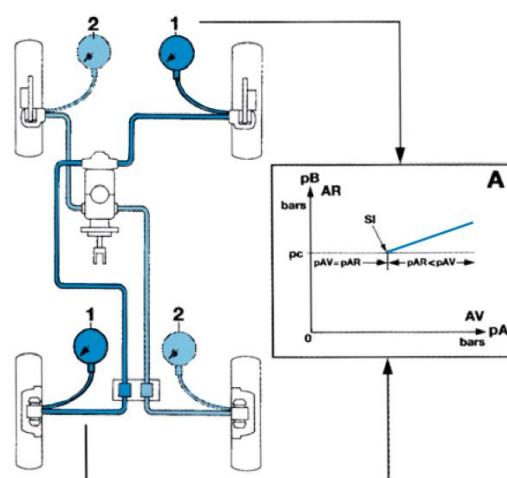
4. Comparer les valeurs trouvées avec les valeurs constructeur. En cas de défaut, il faut remplacer le correcteur ou bien régler selon les préconisations du constructeur.

5. Si le correcteur est asservi à la suspension, reprendre les valeurs 2 fois :

- 1re prise : véhicule à vide
- 2e prise : Véhicule en charge dans les conditions définies par le constructeur.

Débrancher l'appareil

1. Faire chuter la pression résiduelle sur l'appareil. Débrancher les flexibles.
2. Dévisser les raccords et revisser immédiatement les purgeurs.
3. Purger le circuit (voir fiche concernée) et remettre à niveau le réservoir de liquide de frein.
4. Abaisser le véhicule.
5. Faire un essai.



À NOTER

En cas de compensateur intégré dans les cylindres de roues, s'il y a un défaut sur un circuit, il faut remplacer les deux cylindres de roue.

REEMPLACER ET CONTRÔLER UN SERVO-FREIN

Objectif:

- Déposer et reposer un servo-frein.
- Diagnostiquer un dysfonctionnement sur le servo-frein.
- Effectuer les différents contrôles et réglage nécessaires au bon fonctionnement de celui-ci.

MATÉRIELS, CONSOMMABLES ET DOCUMENTS NÉCESSAIRES

- La revue technique du véhicule
- Une fiche de relevé des contrôles
- L'outillage courant
- Un manomètre de pression un dépressionmètre avec un raccord en « T ».

ORGANISER SON POSTE DE TRAVAIL

Relever dans la revue technique du véhicule

- > La méthode particulière de dépose/repose de l'amplificateur de freinage (servo-frein) pour le véhicule concerné.
- > Le diamètre de l'amplificateur de freinage.

RÉALISER L'INTERVENTION

Déposer

1. **Débrancher** la batterie et déposer le maître-cylindre.
2. **Débrancher** le raccord de dépression sur le corps du servo-frein.
3. **Déposer** l'axe de chape de commande sur la pédale de frein et les quatre écrous de fixation du servo sur le tablier.
4. **Déposer** le servo-frein.

Contrôler

1. Contrôles préliminaires :

- vérifier l'état des canalisations et des raccords,
- vérifier le serrage des colliers.

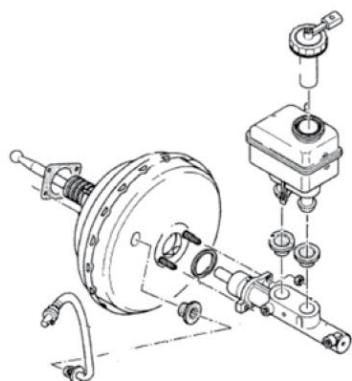
2. Contrôles :

Contrôle n° 1 :

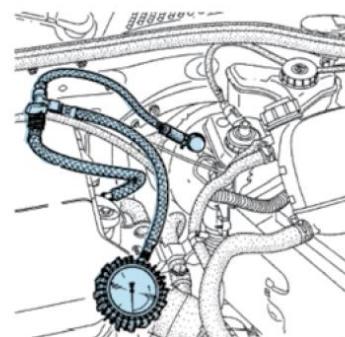
- moteur à l'arrêt, enfoncer la pédale de frein, • mettre le moteur en marche. Si le servofrein fonctionne la pédale doit s'enfoncer légèrement.

Contrôle n° 2 :

- mettre le moteur en marche,
- arrêter le moteur après 1 à 2 minutes de fonctionnement,
- enfoncer la pédale avec la force habituelle plusieurs fois afin de placer les deux chambres A et B à la pression atmosphérique,
- si la première course de la pédale est longue et que les suivantes sont de plus en plus courtes le système fonctionne normalement. La pédale doit devenir dure et de course réduite.



**Amplificateur de freinage
(servo-frein) + maître cylindre**



Branchements du manomètre

□ **Contrôle n° 3 :**

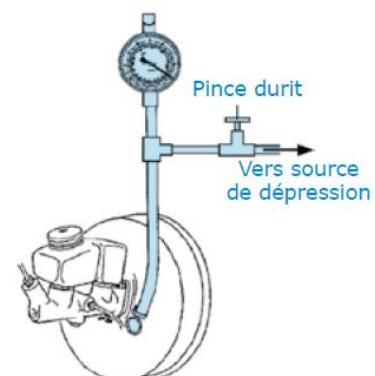
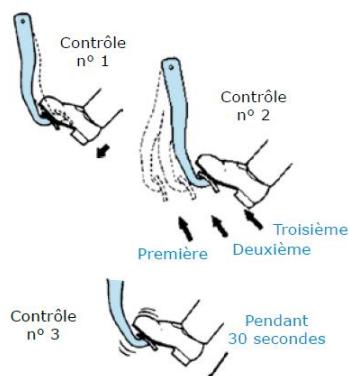
- mettre en marche le moteur et enfoncez la pédale,
- arrêter le moteur et garder la pédale enfoncée pendant 30 secondes environ,
- si la hauteur ne varie pas le servo-frein fonctionne.

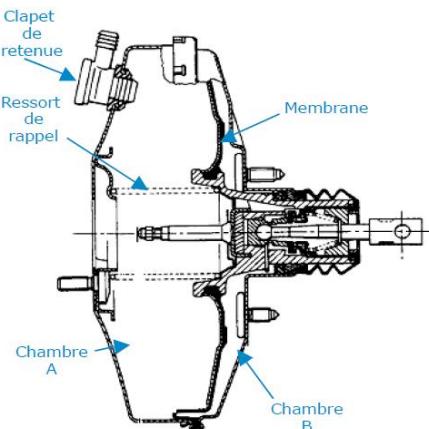
3. Si lors d'un des trois contrôles, un dysfonctionnement est constaté, **effectuer le contrôle** à l'aide d'un manomètre :

- Brancher un manomètre de pression d'air entre le servo-frein et la source de pression.
- Mettre le moteur en marche et contrôler la valeur de dépression : $0,7 \text{ b} < P > 0,8 \text{ b}$ (égal à la dépression de la source venant du collecteur d'admission ou de la pompe à vide). Sinon vérifier l'état des durits, du clapet de retenue, le montage et la source de dépression.
- Pour le contrôle de l'étanchéité du servofrein, mettre le moteur au ralenti, pincer la durite provenant de la source de dépression.

Arrêter le moteur. En 15 secondes la dépression ne doit pas chuter de plus de 30 mbar sinon changer le servo-frein.

- Le fonctionnement du servo-frein ne doit occasionner aucune variation du régime moteur.





Etanchéité du servo-frein

Reposer

1. **Monter** un joint neuf sur le maître-cylindre et l'amplificateur.
2. **Vérifier** avant la repose le réglage de garde du maître-cylindre. Celle-ci s'obtient en agissant sur l'écrou de la tige de poussée pour obtenir la cote constructeur entre l'extrémité de la tige de poussée et la face d'appui du maître-cylindre (si elle est réglable).
3. **Contrôler** également le réglage de la chape côté pédale de frein.
4. **Dévisser** le contre-écrou pour régler.
5. **Purger** le circuit après repose.

Remplacement du clapet de retenue

1. **Débrancher** le tube d'arrivée de dépression au servo-frein.
2. **Tirer** en tournant le clapet de retenue pour le dégager de la rondelle d'étanchéité caoutchouc.
3. **Contrôler** l'état de cette rondelle d'étanchéité et le clapet de retenue.
4. **Remplacer** les pièces défectueuses et remettre l'ensemble en place.

À NOTER

En cas de dysfonctionnement de l'amplificateur de freinage, il faut remplacer l'ensemble car il n'est pas réparable. Seuls sont possibles les remplacements du filtre à air et du clapet de retenue.

CONTRÔLER LES CAPTEURS D'UN SYSTÈME ABS

Objectif:

- Identifier tous les éléments d'un système ABS.
- Effectuer le diagnostic suite à une panne d'origine électrique (le voyant s'éclaire).
- Réaliser la purge du circuit hydraulique à l'aide de l'outil de diagnostic.

MATÉRIELS, CONSOMMABLES ET DOCUMENTS NÉCESSAIRES

- La revue technique du véhicule
- Une fiche de relevé des contrôles
- Un jeu de cales
- Un multimètre
- Un oscilloscope
- Les fiches sur l'utilisation du multimètre et le contrôle d'un relais.

ORGANISER SON POSTE DE TRAVAIL

Relever dans la revue technique du véhicule

- > L'emplacement des composants du système ABS et le schéma électrique.
- > Les valeurs constructeur et les bornes de mesure des éléments du système.
- > La méthode de purge.

CONTRÔLER – MESURER

Cette gamme de contrôle est une méthode générale. En fonction du type d'ABS équipant le véhicule, il est conseillé de voir la méthode préconisée par le constructeur.

Contrôler

1. Contrôle du ou des fusibles protégeant le système ABS.

2. Contrôle des capteurs de vitesse :

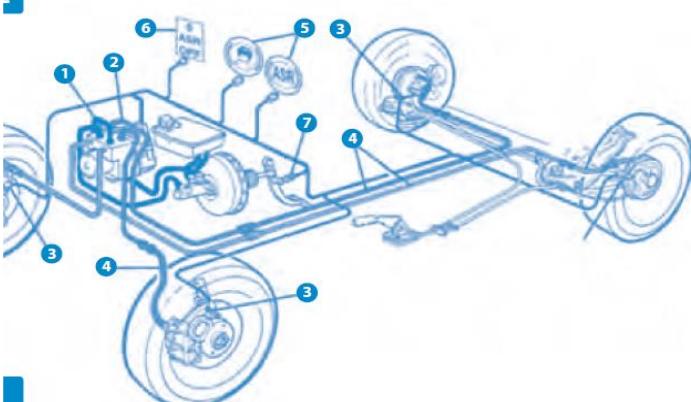
- vérifier le jeu au roulement,
 - vérifier la fixation des capteurs de roue,
 - contrôler visuellement la propreté et l'état de la couronne et des capteurs,
 - contrôler l'entrefer (voir la valeur constructeur avant et arrière) : Positionner une dent de la couronne en face le capteur de roue et contrôler l'écartement à l'aide d'un jeu de cales (écartement non réglable).

3. Contrôle du témoin ABS :

- mettre le contact,
- vérifier l'allumage du témoin puis son extinction au bout de 3 secondes environ.

4. Contrôle de l'alimentation et la mise à la masse du calculateur :

- couper le contact,
- débrancher le connecteur du calculateur ABS,
- mettre le contact,
- contrôler l'alimentation du calculateur entre la borne du connecteur et la masse, multimètre en position voltmètre (= Ubat),
- couper le contact,
- contrôler la mise à la masse du calculateur entre la borne du connecteur et la masse, multimètre en position ohmmètre (= 0□).



- 1 Bloc hydraulique ABS
- 2 Calculateur ABS
- 3 Capteurs des quatre roues
- 4 Tuyauterie hydraulique
- 5 Témoin hydraulique
- 6 Faisceau électrique
- 7 Capteur pédale de freins

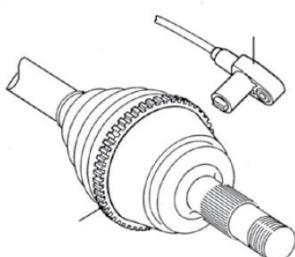
Éléments de l'ABS

5. Contrôle des capteurs de vitesse (si capteurs inductifs) au multimètre :

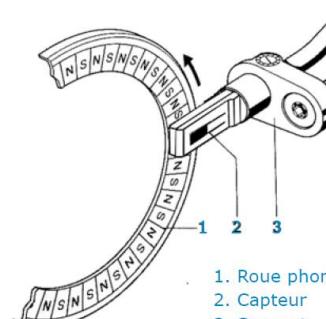
- couper le contact et débrancher le connecteur du calculateur,
- contrôler la résistance entre les bornes du connecteur ABS sans débrancher le capteur, multimètre en position ohmmètre (voir valeur constructeur),
- contrôler la résistance entre les bornes du capteur de roue, multimètre en position ohmmètre (voir valeur constructeur),
- contrôler l'isolement du capteur par rapport à la masse,
- renouveler l'opération pour chaque capteur.

6. Contrôle de la tension délivrée par un capteur inductif :

- couper le contact,
- débrancher le connecteur du calculateur,
- relier un voltmètre en position alternatif aux bornes du capteur ou aux bornes du connecteur ABS,
- soulever le véhicule roue par roue (en appuie sur une chandelle),
- faire tourner la roue à environ 60 tr/min,
- contrôler la tension (voir valeur constructeur).

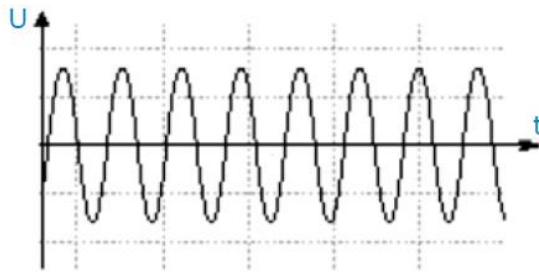


Capteur inductif

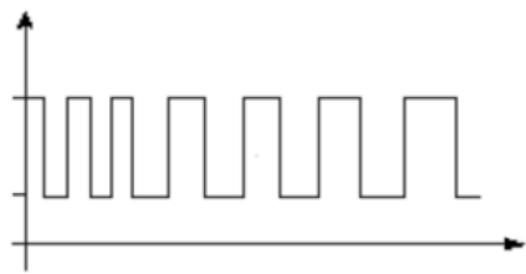


1. Roue phonique
2. Capteur
3. Support

Capteur actif



Signal de capteur inductif



Signal de capteur actif

7. Contrôle du signal capteur à l'oscilloscope :

- couper le contact,
- débrancher le connecteur du calculateur,
- relier un oscilloscope aux bornes du capteur ou aux bornes du connecteur ABS,
- soulever le véhicule roue par roue (en appui sur une chandelle),
- faire tourner les roues une à une à environ 60 tr/min,
- contrôler la forme des signaux pour chaque roue. On doit avoir un signal sinusoïdal.

8. Contrôle des capteurs de vitesse (si capteurs actifs) à l'oscilloscope :

- contact mis, calculateur branché,
- mesurer le signal aux bornes du capteur et comparer avec le signal de référence (signal carré).

À NOTER

Un capteur inductif n'a pas besoin d'être alimenté par une source de courant pour pouvoir délivrer un signal contrairement au capteur actif qui doit avoir une source de tension. On ne peut donc pas contrôler un capteur actif à l'aide d'un ohmmètre.

CONTRÔLER LES COMPOSANTS ELECTRIQUES D'UN SYSTÈME ABS

Objectif:

- Identifier tous les éléments d'un système ABS.
- Effectuer le diagnostic suite à une panne d'origine électrique (le voyant s'éclaire).
- Réaliser la purge du circuit hydraulique à l'aide de l'outil de diagnostic.

MATÉRIELS, CONSOMMABLES ET DOCUMENTS NÉCESSAIRES

- La revue technique du véhicule
- Une fiche de relevé des contrôles
- Un multimètre
- Un outil de diagnostic
- Les fiches sur l'utilisation du multimètre et le contrôle d'un relais.

ORGANISER SON POSTE DE TRAVAIL

CONTRÔLER – MESURER

Relever dans la revue technique du véhicule

- > L'emplacement des composants du système ABS et le schéma électrique.
- > Les valeurs constructeur et les bornes de mesure des éléments du système.
- > La méthode de purge.

CONTRÔLER – MESURER

Cette gamme de contrôle est une méthode générale. En fonction du type d'ABS équipant le véhicule, il est conseillé de voir la méthode préconisée par le constructeur.

Contrôler

1. Contrôle des relais (si accessible) :

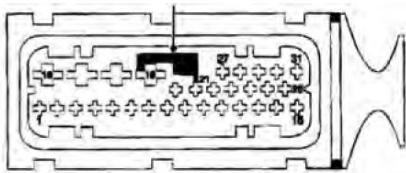
- couper le contact,
- débrancher le connecteur du calculateur,
- contrôler la tension d'alimentation aux bornes du connecteur par rapport à la masse (= Ubat),
- contrôler la résistance des bobines de commande,
- contrôler le circuit de puissance des relais (palettes).

2. Contrôle de la résistance moto-pompe :

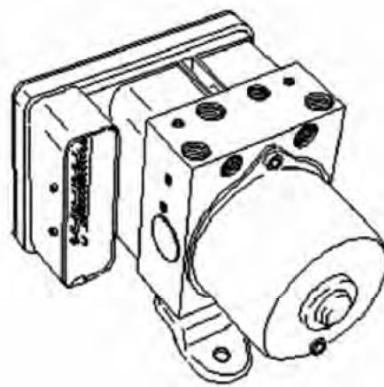
- couper le contact,
- débrancher le connecteur du calculateur,
- contrôler la résistance entre les bornes du connecteur (voir valeur constructeur).

3. Contrôle de la mise à la masse motopompe:

- couper le contact,
- débrancher le connecteur du calculateur,
- contrôler la mise à la masse moto-pompe (= 0).



Exemple de connecteur ABS



Bloc hydraulique

4. Contrôle contacteur de position de pédale de frein :

- couper le contact,
- débrancher le connecteur du calculateur,
- mettre le contact,
- contrôler la tension entre les bornes et la masse en actionnant la pédale de frein (pédale relâchée = 0 V, pédale enfoncée = tension batterie).

5. Contrôle des électrovannes du bloc à l'aide de l'outil de diagnostic :

- couper le contact,
- rebrancher le connecteur du calculateur,
- brancher la valise de diagnostic,
- mettre le contact,
- sélectionner test par calculateur,
- sélectionner le calculateur d'ABS,
- rechercher le menu actionneur,
- actionner les électrovannes ABS,
- écouter le bruit de fonctionnement.



Contacteurs de position

6. Purge du circuit hydraulique :

- couper le contact,
- rebrancher le connecteur du calculateur,
- rechercher sur la revue technique la procédure et la nécessité ou non de l'utilisation de l'outil de diagnostic pour effectuer une purge,
- utiliser un appareil de mise sous pression de circuits de freinage classique,
- connecter ou non l'outil de diagnostic.

À NOTER

Les relais (parfois), la moto-pompe et les électrovannes sont intégrés au bloc hydraulique.