



**Conseil économique  
et social**

Distr.  
GÉNÉRALE

ECE/TRANS/WP.29/2009/64  
9 avril 2009

FRANÇAIS  
Original: ANGLAIS

---

**COMMISSION ÉCONOMIQUE POUR L'EUROPE**

**COMITÉ DES TRANSPORTS INTÉRIEURS**

Forum mondial de l'harmonisation des Règlements  
concernant les véhicules

Cent quarante-huitième session  
Genève, 23-26 juin 2009  
Point 4.2.8 de l'ordre du jour provisoire

**ACCORD DE 1958**

Examen des projets d'amendements aux Règlements existants

Proposition de complément 9 au Règlement n° 13-H  
(Freins des véhicules des catégories M<sub>1</sub> et N<sub>1</sub>)

Communication du Groupe de travail en matière de roulement et de freinage\*

Le texte ci-après a été adopté par le Groupe de travail en matière de roulement et de freinage (GRRF) à sa soixante-cinquième session. Il est fondé sur le document ECE/TRANS/WP.29/GRRF/2008/15, comme reproduit dans le document GRRF-25-23-Rev.1. Il est présenté pour examen au Forum mondial de l'harmonisation des Règlements concernant les véhicules (WP.29) et au Comité d'administration (AC.1) (ECE/TRANS/WP.29/GRRF/65, par. 13).

---

\* Conformément au programme de travail du Comité des transports intérieurs pour la période 2006-2010 (ECE/TRANS/166/Add.1, programme d'activité 02.4), le Forum mondial a pour mission d'élaborer, d'harmoniser et de mettre à jour les Règlements en vue d'améliorer la performance des véhicules. Le présent document est soumis dans le cadre de ce mandat.

Insérer les nouveaux paragraphes 2.34 à 2.34.3, ainsi conçus:

- «2.34 Par “système d’aide au freinage (BAS)”, une fonction du système de freinage qui déduit d’une caractéristique de l’actionnement du système de freinage par le conducteur qu’il y a situation de freinage d’urgence et qui, dans ces conditions:
- a) aide le conducteur à obtenir le taux de freinage le plus élevé possible, ou
  - b) fait en sorte que le système de freinage antiblocage effectue des cycles complets.
- 2.34.1 Par “système d’aide au freinage de catégorie A”, un système qui détecte une situation de freinage d’urgence à partir de la force exercée par le conducteur sur la pédale de frein;
- 2.34.2 Par “système d’aide au freinage de catégorie B”, un système qui détecte une situation de freinage d’urgence à partir de la vitesse communiquée par le conducteur à la pédale de frein;
- 2.34.3 Par “système d’aide au freinage de catégorie C”, qui détecte une situation de freinage d’urgence à partir de plusieurs critères, dont l’un doit être la vitesse communiquée à la pédale de frein.».

Paragraphes 4.4.3 et 4.4.4, modifier comme suit:

- «4.4.3 Dans le cas d’un véhicule satisfaisant aux prescriptions relatives au contrôle électronique de la stabilité et au système d’aide au freinage énoncées à l’annexe 9 du présent Règlement, les lettres “ESC” doivent être ajoutées et placées immédiatement à droite de la lettre “R” visée au paragraphe 4.4.2.
- 4.4.4 Dans le cas d’un véhicule satisfaisant aux prescriptions relatives à la fonction de contrôle de stabilité énoncées à l’annexe 21 du Règlement n° 13 et aux prescriptions relatives au système d’aide au freinage énoncées à l’annexe 9 du présent Règlement, les lettres “VSF” doivent être ajoutées et placées immédiatement à droite de la lettre “R” visée au paragraphe 4.4.2.».

Paragraphe 5.2.24, modifier comme suit:

- «5.2.24 Sous réserve des prescriptions des paragraphes 12.2 et 12.3, tout véhicule équipé d’un système ESC répondant à la définition énoncée au paragraphe 2.25 doit satisfaire aux prescriptions en matière d’équipement, d’efficacité et d’essai énoncées dans la partie A de l’annexe 9 du présent Règlement.».

Paragraphes 12.2 à 12.4, modifier comme suit:

- «12.2 À compter du 1<sup>er</sup> novembre 2011, les Parties contractantes appliquant le présent Règlement peuvent refuser d’accorder des homologations de type nationales ou régionales si le véhicule ne satisfait pas aux prescriptions du présent Règlement tel que modifié par le complément 9 et n’est pas équipé d’un système de contrôle de

stabilité ni d'un système d'aide au freinage, satisfaisant aux prescriptions de l'annexe 9 du présent Règlement.

- 12.3 À compter du 1<sup>er</sup> novembre 2013, les Parties contractantes appliquant le présent Règlement peuvent refuser la première immatriculation nationale si un véhicule ne satisfait pas aux prescriptions du présent Règlement tel que modifié par le complément 9 et n'est pas équipé d'un système de contrôle de stabilité ni d'un système d'aide au freinage, satisfaisant aux prescriptions de l'annexe 9 du présent Règlement.
- 12.4 À compter de la date officielle d'entrée en vigueur du complément 9 à la version initiale du présent Règlement, les Parties contractantes appliquant le présent Règlement:
- a) ne refuseront pas d'accorder l'homologation au titre du présent Règlement à un véhicule satisfaisant aux prescriptions telles que modifiées par le complément 9 à la version initiale du présent Règlement;
  - b) refuseront d'accorder l'homologation au titre du présent Règlement tel que modifié par le complément 7 à la version initiale du présent Règlement.».

Annexe 1,

Point 21, modifier comme suit:

«21. Le véhicule est doté...

Si oui: Le système ESC a été soumis aux essais conformément aux prescriptions de l'annexe 9 et satisfait à ces prescriptions ..... Oui/Non

ou: La fonction..... Oui/Non».

Insérer les nouveaux paragraphes 22 à 22.1.3, ainsi conçus:

«22. Le véhicule est/n'est pas 2/ équipé d'un système d'aide au freinage conforme aux prescriptions de la partie B de l'annexe 9.

22.1 Catégorie de systèmes d'aide au freinage A/B/C 2/

22.1.1 Pour les systèmes de catégorie "A", définir le seuil de force à partir duquel le rapport entre la force exercée sur la pédale et la pression des freins augmente 2/;

22.1.2 Pour les systèmes de catégorie "B", définir la vitesse qui doit être communiquée à la pédale de frein pour que soit activé le système d'aide au freinage (par exemple la vitesse d'enfoncement de la pédale (mm/s) pendant un intervalle de temps donné) 2/;

22.1.3 Pour les systèmes de catégorie "C", définir les variables d'entrée ayant une incidence sur la décision d'activer le système d'aide au freinage, la relation qui les lie et

l'application de freinage nécessaire pour activer le système d'aide au freinage dans le cadre des essais décrits dans la partie B de l'annexe 9 2/».

Les points 22 à 31 (anciens) deviennent les points 23 à 32.

Annexe 2,

Modèle A, dernière phrase du texte sous l'exemple de marque d'homologation, modifier comme suit:

«La marque supplémentaire "ESC" indique que le véhicule satisfait aux prescriptions en matière de contrôle électronique de stabilité et de système d'aide au freinage énoncées à l'annexe 9 du présent Règlement.».

Annexe 9,

Titre, modifier comme suit:

«Annexe 9

SYSTÈMES DE CONTRÔLE DE STABILITÉ ET D'AIDE AU FREINAGE».

Après le titre, insérer un nouvel intitulé de section, libellé comme suit:

«A. PRESCRIPTIONS APPLICABLES AUX SYSTÈMES DE CONTRÔLE DE STABILITÉ, LORSQU'ILS SONT MONTÉS».

Paragraphe 1, modifier comme suit:

«1. PRESCRIPTIONS GÉNÉRALES

Les véhicules équipés ... spécifiées au paragraphe 5 de la présente section.».

Fin de la note de bas de page 2/, modifier comme suit:

«... prescrits au paragraphe 5 de la présente section.».

Paragraphe 3.6.4, modifier comme suit:

«3.6.4 La prescription du paragraphe 3.6.2.7 de la présente section ne s'applique pas au témoin figurant dans un espace commun d'affichage.».

Paragraphe 3.6.5, modifier comme suit:

«3.6.5 Le constructeur ... capable de satisfaire aux prescriptions des paragraphes 3, 3.1, 3.2 et 3.3 de la présente section sur le premier mode.».

Après le paragraphe 5.11.9, insérer une nouvelle section B, ainsi conçue:

«B.        **PRESCRIPTIONS SPÉCIALES À APPLIQUER AUX SYSTÈMES D'AIDE  
AU FREINAGE, LORSQU'ILS SONT MONTÉS**

1.        **GÉNÉRALITÉS**

Les prescriptions suivantes s'appliquent aux véhicules équipés de systèmes d'aide au freinage (BAS) définis au paragraphe 2.34 du présent Règlement et déclarés au paragraphe 22 de la communication de l'annexe 1 du présent Règlement.

Les systèmes d'aide au freinage doivent satisfaire non seulement aux prescriptions de la présente annexe mais aussi à toutes les dispositions pertinentes énoncées par ailleurs dans le présent Règlement.

Les véhicules équipés d'un système d'aide au freinage doivent non seulement satisfaire aux prescriptions de la présente annexe mais aussi être équipés d'un système antiblocage ABS conforme à l'annexe 6.

1.1       **Caractéristiques générales de performance pour les systèmes BAS de catégorie "A"**

Lorsqu'il a été déduit de l'application d'une force relativement élevée sur la pédale qu'il y a situation d'urgence, la force supplémentaire qu'il faut exercer sur la pédale pour que le système ABS effectue des cycles complets doit être moindre que celle qu'il faudrait appliquer si le système BAS n'était pas activé.

La conformité avec cette prescription est démontrée si les dispositions des paragraphes 3.1 à 3.3 de la présente section sont respectées.

1.2       **Caractéristiques générales de performance pour les systèmes BAS de catégorie "B" et "C"**

Lorsqu'il a été déduit au moins de l'enfoncement très rapide de la pédale qu'il y a situation d'urgence, le système BAS doit élever la pression de telle sorte que le taux de freinage soit le plus élevé possible et que le système ABS effectue des cycles complets.

La conformité avec cette prescription est démontrée si les dispositions des paragraphes 4.1 à 4.3 de la présente section sont respectées.

2.        **PRESCRIPTIONS GÉNÉRALES RELATIVES AUX ESSAIS**

2.1       **Variables**

Lors des essais décrits dans la partie B de la présente annexe, les variables suivantes doivent être mesurées:

2.1.1     **Force exercée sur la pédale,  $F_p$ ;**

- 2.1.2 Vitesse du véhicule,  $v_x$ ;
- 2.1.3 Décélération du véhicule,  $a_x$ ;
- 2.1.4 Température des freins,  $T_d$ ;
- 2.1.5 Pression des freins,  $P$ , s'il y a lieu;
- 2.1.6 Course de la pédale de frein,  $S_p$ , mesurée au centre du patin de la pédale ou à un endroit du mécanisme de la pédale où le déplacement, proportionnel à celui au centre du patin de la pédale, permet un étalonnage simple de la mesure.

## 2.2 Équipement de mesure

- 2.2.1 Les variables énumérées au paragraphe 2.1 de la présente section doivent être mesurées à l'aide de capteurs appropriés. La précision des mesures, les plages de fonctionnement, les techniques de filtrage, le traitement des données et d'autres prescriptions sont décrits dans la norme ISO 15037-1: 2006.
- 2.2.2 La force exercée sur la pédale et la température du disque doivent être mesurées avec la précision suivante:

Système à plage variable	Plage de fonctionnement type des capteurs	Erreurs d'enregistrement maximales préconisées
Force exercée sur la pédale	0 à 2 000 N	$\pm 10$ N
Température des freins	0-1 000 °C	$\pm 5$ °C
Pression des freins*/	0-20 MPa */	$\pm 100$ kPa */

\*/ Applicable comme indiqué au paragraphe 3.2.5.

- 2.2.3 Les traitements analogique et numérique des données intervenant dans les procédures d'essai applicables aux systèmes BAS sont détaillés dans l'appendice 5 de la présente annexe. La fréquence d'échantillonnage pour l'acquisition des données doit être supérieure ou égale à 500 Hz.
  - 2.2.4 Des méthodes de mesure autres que celles mentionnées au paragraphe 2.2.3 peuvent être admises, à condition qu'elles permettent un degré de précision au moins équivalent.
- ## 2.3 Conditions d'essai

- 2.3.1 Conditions d'essai relatives au chargement du véhicule: le véhicule doit être à vide. Outre le conducteur, il peut y avoir, sur le siège avant, une deuxième personne chargée de noter les résultats des essais.
- 2.3.2 Les essais de freinage seront exécutés sur une surface sèche permettant une bonne adhérence.
- 2.4 Méthode d'essai
  - 2.4.1 Les essais décrits aux paragraphes 3 et 4 de la présente section doivent être réalisés à partir d'une vitesse d'essai de  $100 \pm 2$  km/h. Le véhicule doit être conduit à la vitesse d'essai en ligne droite.
  - 2.4.2 La température moyenne des freins doit être conforme aux prescriptions du paragraphe 1.4.1.1 de l'annexe 3.
  - 2.4.3 Pour les essais, l'instant de référence  $t_0$  est défini comme l'instant où la force exercée sur la pédale de frein atteint 20 N.

Note: Pour les véhicules équipés d'un système de freinage assisté par une source d'énergie, la force qu'il faut exercer sur la pédale dépend du niveau d'énergie qui existe dans le dispositif de stockage de l'énergie. C'est pourquoi on doit vérifier que ce niveau est suffisamment élevé au début de l'essai.

### 3. ÉVALUATION DE LA PRÉSENCE D'UN SYSTÈME BAS DE CATÉGORIE "A"

Un système BAS de catégorie "A" doit satisfaire aux prescriptions d'essai énoncées dans les paragraphes 3.1 et 3.2.

- 3.1 Essai 1: Essai de référence visant à déterminer  $F_{ABS}$  et  $a_{ABS}$ .
  - 3.1.1 Les valeurs de référence  $F_{ABS}$  et  $a_{ABS}$  doivent être déterminées conformément à la procédure décrite dans l'appendice 1 de la présente annexe.
- 3.2 Essai 2: Activation du système BAS
  - 3.2.1 Lorsqu'une situation de freinage d'urgence a été détectée, les systèmes sensibles à la force exercée sur la pédale doivent accroître fortement le rapport entre:
    - a) la pression dans le circuit de freinage et la force exercée sur la pédale de frein, lorsque cela est autorisé par le paragraphe 3.2.5, ou
    - b) la décélération du véhicule et la force exercée sur la pédale de frein.
  - 3.2.2 Les prescriptions de performance applicables à un système BAS de catégorie "A" sont respectées si l'on peut définir une caractéristique de freinage spécifique permettant de diminuer de 40 % à 80 % la force à exercer sur la pédale de frein pour  $(F_{ABS} - F_T)$  par rapport à  $(F_{ABS \text{ extrapolated}} - F_T)$ .

3.2.3  $F_T$  et  $a_T$  désignent la force de seuil et la décélération de seuil indiquées sur la figure 1. Leurs valeurs sont fournies au service technique au moment de la présentation de la demande d'homologation de type. La valeur de  $a_T$  doit être comprise entre  $3,5 \text{ m/s}^2$  et  $5,0 \text{ m/s}^2$ .

3.2.4 On trace une droite reliant l'origine au point de coordonnées  $F_T$ ,  $a_T$  (voir la figure 1). On définit  $F_{ABS, extrapolated}$  comme la valeur "F" (force exercée sur la pédale) au point d'intersection entre cette droite et la droite horizontale définie par  $a = a_{ABS}$ :

$$F_{ABS, extrapolated} = \frac{F_T \cdot a_{ABS}}{a_T}$$

3.2.5 À titre de variante, le fabricant peut également opter, dans le cas de véhicules de la catégorie  $N_1$  ou de véhicules de la catégorie  $M_1$  dérivés de ces véhicules de la catégorie  $N_1$ , qui ont une masse maximale  $> 2\,500 \text{ kg}$ , pour la solution suivante: les valeurs  $F_T$ ,  $F_{ABS, min}$ ,  $F_{ABS, max}$  et  $F_{AB, extrapolated}$  de la force exercée sur la pédale peuvent être calculées à partir de la caractéristique de la réponse de la pression dans le circuit de freinage et non pas à partir de la caractéristique de la décélération du véhicule. Les mesures doivent être effectuées lorsque la pression exercée sur la pédale de frein est en augmentation.

3.2.5.1 La pression à laquelle le cycle de l'ABS commence doit être déterminée en effectuant cinq essais à partir de  $100 \pm 2 \text{ km/h}$ , au cours desquels la pression exercée sur la pédale est augmentée jusqu'à ce que l'ABS soit activé. Les cinq valeurs ainsi obtenues, mesurées au niveau des roues avant, doivent être enregistrées; la moyenne de ces cinq valeurs est  $P_{ABS}$ .

3.2.5.2 La pression de seuil  $P_T$  doit être spécifiée par le constructeur et correspondre à une décélération comprise entre  $2,5$  et  $4,5 \text{ m/s}^2$ .

3.2.5.3 La figure 1b doit être établie conformément au paragraphe 3.2.4 mais en utilisant les mesures de la pression dans le circuit de freinage pour définir les paramètres énoncés au paragraphe 3.2.5 de la présente section où:

$$F_{ABS, extrapolated} = \frac{F_T \cdot P_{ABS}}{P_T}$$



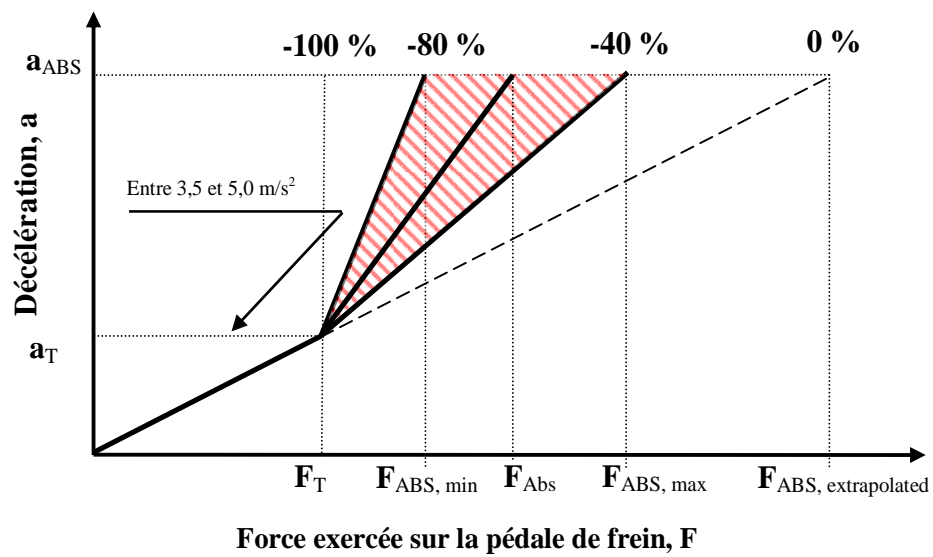


Figure 1a. Caractéristique de la force à exercer sur la pédale pour obtenir la décélération maximale avec un système BAS de catégorie "A"

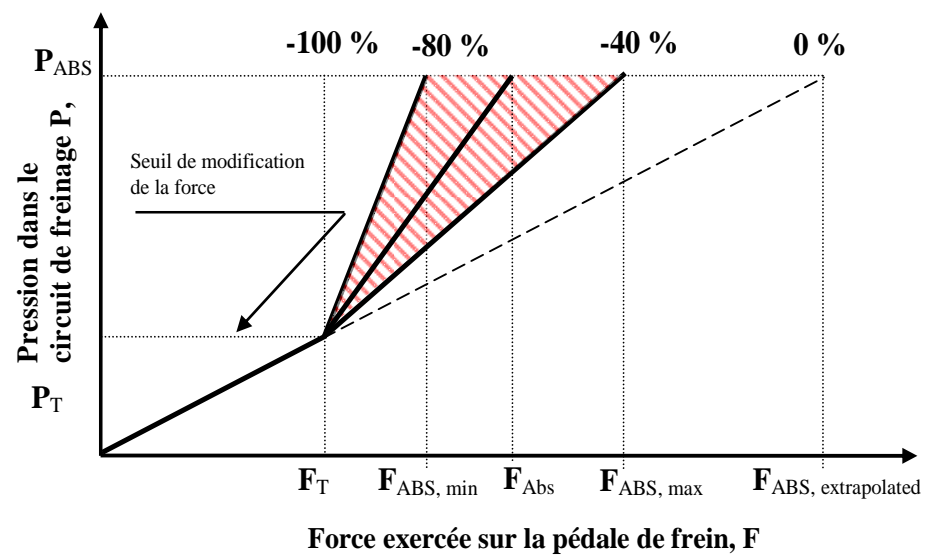


Figure 1b. Caractéristique de la force à exercer sur la pédale pour obtenir la décélération maximale avec un système BAS de catégorie "A"

### 3.3 Évaluation des données

La présence d'un système BAS de catégorie "A" est démontrée si

$$F_{ABS, min} \leq F_{ABS} \leq F_{ABS, max}$$

où:

$$F_{ABS,max} - F_T \leq (F_{ABS,extrapolated} - F_T) \times 0,6$$

et

$$F_{ABS,min} - F_T \geq (F_{ABS,extrapolated} - F_T) \times 0,2$$

#### 4. ÉVALUATION DE LA PRÉSENCE D'UN SYSTÈME BAS DE CATÉGORIE "B"

Un système BAS de catégorie "B" doit satisfaire aux prescriptions d'essai énoncées dans les paragraphes 4.1 et 4.2 de la présente section.

##### 4.1 Essai 1: Essai de référence visant à déterminer $F_{ABS}$ et $a_{ABS}$

##### 4.1.1 Les valeurs de référence $F_{ABS}$ et $a_{ABS}$ doivent être déterminées conformément à la procédure décrite dans l'appendice 1 de la présente section.

##### 4.2 Essai 2: Activation du système BAS

Le véhicule doit être conduit en ligne droite à la vitesse d'essai spécifiée au paragraphe 2.4 de la présente section. Le conducteur doit actionner la pédale de frein rapidement conformément à la figure 2, en simulant le freinage d'urgence de telle sorte que le système BAS soit activé et que le système antiblocage ABS exécute des cycles complets.

Pour activer le système BAS, la pédale de frein doit être actionnée conformément aux spécifications du constructeur automobile. Celui-ci doit notifier au service technique, au moment de la présentation de la demande d'homologation de type, la valeur d'entrée requise pour la pédale de frein. Il doit être démontré à la satisfaction du service technique que le système BAS est activé dans les conditions spécifiées par le fabricant conformément au paragraphe 22.1.2 ou 22.1.3 de l'annexe 1.

Après  $t = t_0 + 0,8$  s et jusqu'à ce que le véhicule ait ralenti pour atteindre la vitesse de 15 km/h, la force exercée sur la pédale de frein doit être maintenue dans une plage comprise entre  $F_{ABS, upper} (= 0,7 F_{ABS})$  et  $F_{ABS, lower} (= 0,5 F_{ABS})$ .

On considère également que les prescriptions sont respectées si, après  $t = t_0 + 0,8$  s, la force exercée sur la pédale devient inférieure à  $F_{ABS, lower}$ , pourvu que les prescriptions du paragraphe 4.3 soient respectées.

##### 4.3 Évaluation des données

La présence d'un système BAS de catégorie "B" est démontrée si une décélération moyenne d'au moins  $0,85 \cdot a_{ABS}$  est maintenue pendant la période s'écoulant entre  $t = t_0 + 0,8$  s et l'instant où la vitesse du véhicule est réduite à 15 km/h.

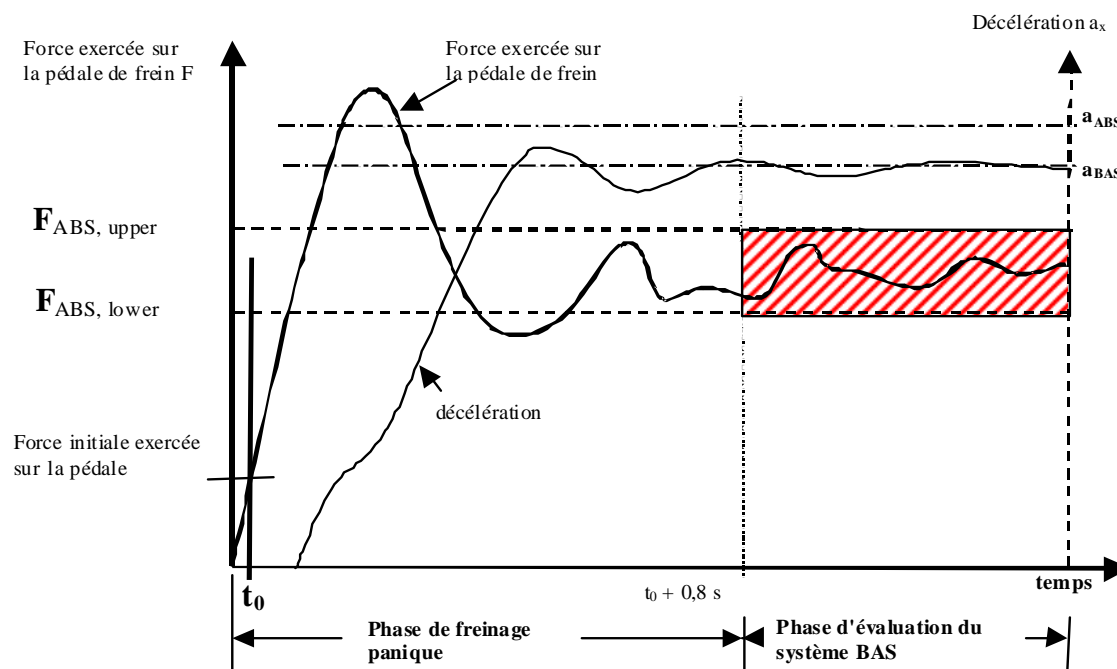


Figure 2. Essai 2 d'un système BAS de catégorie "B"

5. ÉVALUATION DE LA PRÉSENCE D'UN SYSTÈME BAS DE CATÉGORIE "C"
  - 5.1 Un système BAS de catégorie "C" doit satisfaire aux prescriptions d'essai énoncées dans les paragraphes 4.1 et 4.2 de la présente section.
  - 5.2 Évaluation des données
- Un système BAS de catégorie "C" doit satisfaire aux prescriptions énoncées dans le paragraphe 4.3 de la présente section.

Insérer les nouveaux appendices 4 et 5, ainsi conçus:

«Annexe 9 – appendice 4

MÉTHODE DE DÉTERMINATION DE  $F_{ABS}$  ET  $a_{ABS}$

- 1.1 La force exercée sur la pédale de frein  $F_{ABS}$  est, pour un véhicule donné, la force minimale à exercer sur la pédale de frein pour obtenir la décélération maximale indiquant que le système ABS exécute des cycles complets.  $a_{ABS}$  est, pour un véhicule donné, la valeur de décélération pendant la décélération ABS, telle que définie au paragraphe 1.7.
- 1.2 La pédale de frein doit être actionnée lentement (sans activation du système d'aide au freinage s'il s'agit d'un système de la catégorie "B" ou "C") pour obtenir une augmentation constante de la décélération jusqu'à ce que le système ABS exécute des cycles complets (fig. 3).
- 1.3 La décélération totale doit être obtenue dans un délai de  $2,0 \pm 0,5$  s. La courbe de décélération, enregistrée par rapport au temps, doit s'inscrire dans une plage de  $\pm 0,5$  s autour de la droite centrale qui, dans l'exemple de la figure 3, a pour origine l'instant  $t_0$  et croise la droite d'ordonnée  $a_{ABS}$  à l'instant 2 s. Une fois atteinte la décélération totale, la course de la pédale [ $S_p$ ] ne doit pas être diminuée pendant au moins 1 s. L'instant d'activation totale du système ABS est défini comme l'instant où la force exercée sur la pédale atteint la valeur  $F_{ABS}$ . La mesure doit se faire dans la plage prévue pour la variation de l'augmentation de décélération (voir la figure 3).

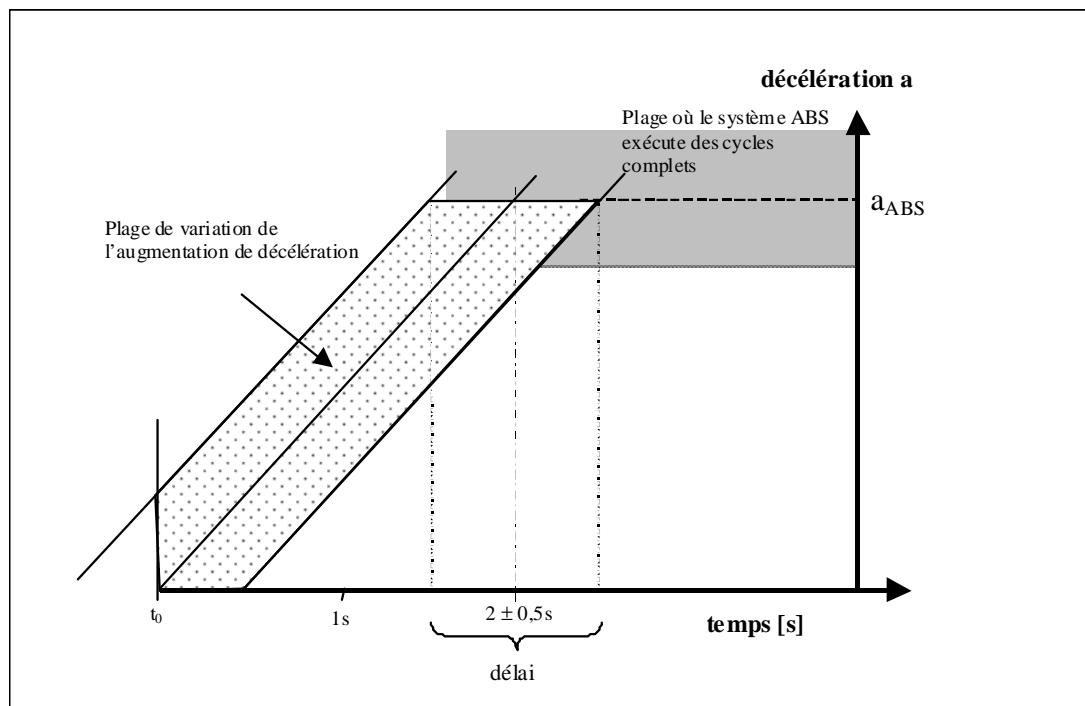


Figure 3. Plage de décélération pour la détermination de  $F_{ABS}$  et  $a_{ABS}$

- 1.4 Cinq essais satisfaisant aux prescriptions du paragraphe 1.3 doivent être réalisés. Pour chacun de ces essais valables, la décélération du véhicule doit être représentée en fonction de la valeur enregistrée pour la force exercée sur la pédale de frein. Seules les données enregistrées pour des vitesses supérieures à 15 km/h doivent être prises en compte pour les calculs décrits dans les paragraphes suivants.
- 1.5 Au cours de la détermination de  $F_{ABS}$  et  $a_{ABS}$ , un filtre passe-bas de 2 Hz pour la décélération du véhicule est employé tandis qu'une force sur la pédale est exercée.
- 1.6 Les cinq courbes de "décélération en fonction de la force exercée sur la pédale de frein" sont utilisées pour calculer la valeur moyenne de décélération suivant un pas de 1 N. La courbe obtenue est celle de la décélération moyenne en fonction de la force exercée sur la pédale de frein, appelée "courbe maF" dans le présent appendice.
- 1.7 La valeur maximale de la décélération du véhicule est déterminée à partir de la "courbe maF" et est appelée " $a_{max}$ ".
- 1.8 On effectue la moyenne de toutes les valeurs de la "courbe maF" qui sont supérieures à 90 % de cette valeur de décélération de " $a_{max}$ ". La valeur "a" obtenue est la décélération " $a_{ABS}$ " visée dans la présente annexe.
- 1.9 La force minimale qu'il suffit d'exercer sur la pédale ( $F_{ABS}$ ) pour obtenir la décélération  $a_{ABS}$  est définie comme la valeur de F correspondant à  $a = a_{ABS}$  sur la courbe maF.

Annexe 9, appendice 5

(voir le paragraphe 2.2.3 de la section B de la présente annexe)

## TRAITEMENT DES DONNÉES POUR LE SYSTÈME BAS

## 1. TRAITEMENT ANALOGIQUE DES DONNÉES

La largeur de bande de la totalité du système capteurs/enregistrement ne doit pas être inférieure à 30 Hz.

On utilisera, pour le filtrage à appliquer aux signaux, des filtres passe-bas d'ordre égal ou supérieur à 4. La largeur de la bande passante (fréquences comprises entre 0 Hz et la fréquence  $f_0$  à -3 dB) ne doit pas être inférieure à 30 Hz. Les erreurs d'amplitude doivent être inférieures à  $\pm 0,5$  % dans l'intervalle de fréquences entre 0 Hz et 30 Hz. Le traitement de tous les signaux analogiques doit faire intervenir des filtres présentant des caractéristiques de phase suffisamment similaires pour que les différences de retard dues au filtrage restent dans les limites de précision requises pour les mesures temporelles.

NOTE: Le filtrage analogique d'un signal contenant différentes fréquences peut générer des décalages de phase. Il est donc préférable d'utiliser la méthode de traitement des données décrite ci-après au paragraphe 2.

## 2. TRAITEMENT NUMÉRIQUE DES DONNÉES

## 2.1 Considérations générales

Lorsque l'on traite des signaux analogiques, il faut veiller à l'atténuation d'amplitude introduite par le filtre et à la fréquence d'échantillonnage pour éviter les erreurs de repliement, les déphasages et les retards dus au filtrage. L'échantillonnage et la numérisation des signaux supposent la définition des paramètres suivants: amplification de prééchantillonnage des signaux pour minimiser les erreurs de numérisation; nombre de bits par échantillon; nombre d'échantillons par cycle; amplificateurs d'échantillonnage-blocage; et espacement temporel approprié des échantillons. Pour avoir en outre un filtrage numérique sans déphasage, il faut choisir des bandes passantes et des bandes de rejet avec l'atténuation et les ondulations autorisées dans chacune d'elles et corriger les déphasages dus au filtrage. Tous ces facteurs doivent être pris en compte pour obtenir une précision relative d'ensemble de  $\pm 0,5$  % pour l'acquisition des données.

## 2.2 Erreurs de repliement

Pour éviter les erreurs de repliement, qui sont impossibles à corriger, il faut faire subir aux signaux analogiques un filtrage approprié avant l'échantillonnage et la numérisation. L'ordre des filtres utilisés et leur bande passante doivent être choisis en fonction de la planéité requise dans l'intervalle de fréquences considéré et de la fréquence d'échantillonnage utilisée.

Les caractéristiques minimales de filtrage et la fréquence d'échantillonnage doivent respecter les prescriptions suivantes:

- a) Dans l'intervalle de fréquences considéré (c'est-à-dire entre 0 Hz et  $f_{\max} = 30$  Hz) l'atténuation est inférieure à la résolution du système d'acquisition des données;
- b) À la fréquence égale à la moitié de la fréquence d'échantillonnage (c'est-à-dire la fréquence de Nyquist ou "de repliement"), les amplitudes des différentes composantes fréquentielles du signal et du bruit sont réduites à une valeur inférieure à la résolution du système.

Pour une résolution de 0,05 %, l'atténuation du filtre doit être inférieure à 0,05 % dans la gamme de fréquences 0-30 Hz et doit être supérieure à 99,95 % à toutes les fréquences supérieures à la moitié de la fréquence d'échantillonnage.

NOTE: L'atténuation d'un filtre de Butterworth est donnée par:

$$A^2 = \frac{1}{1 + \left( \frac{f_{\max}}{f_0} \right)^{2n}} \quad \text{et} \quad A^2 = \frac{1}{1 + \left( \frac{f_N}{f_0} \right)^{2n}}$$

où:

n est l'ordre du filtre;

$f_{\max}$  est l'intervalle de fréquences considéré (30 Hz);

$f_0$  est la fréquence de coupure du filtre;

$f_N$  est la fréquence de Nyquist ou "de repliement";

Pour un filtre d'ordre 4

pour  $A = 0,9995$ :  $f_0 = 2,37 \cdot f_{\max}$

pour  $A = 0,0005$ :  $f_s = 2 \cdot (6,69 \cdot f_0)$ , où  $f_s$  est la fréquence d'échantillonnage ( $2 \cdot f_N$ ).

### 2.3 Décalages de phase et retards pour un filtrage sans repliement

Un filtrage excessif des signaux analogiques doit être évité et tous les filtres doivent présenter des caractéristiques de phases suffisamment similaires pour que les différences de retard restent dans les limites de précision requises pour les mesures temporelles. Les décalages de phase sont particulièrement grands lorsque l'on multiplie les variables mesurées pour obtenir de nouvelles variables car, si les amplitudes sont multipliées, les décalages de phase et les retards associés s'additionnent. On diminue les décalages de phase et les retards en augmentant  $f_0$ . Si l'on connaît des équations décrivant les filtres de prééchantillonnage, il est commode de supprimer leurs décalages de phase et leurs retards en utilisant des algorithmes simples dans le domaine fréquentiel.

NOTE: Le décalage de phase  $\Phi$  d'un filtre de Butterworth peut être donné par l'approximation suivante dans l'intervalle de fréquences où l'amplitude reste plate:

$$\Phi = 81 \cdot (f/f_0) \text{ degrés pour un filtre de second ordre}$$

$$\Phi = 150 \cdot (f/f_0) \text{ degrés pour un filtre de quatrième ordre}$$

$$\Phi = 294 \cdot (f/f_0) \text{ degrés pour un filtre de huitième ordre.}$$

Le retard pour tous les ordres de filtre est le suivant:  $t = (\Phi/360) \cdot (1/f_0)$ .

#### 2.4 Échantillonnage et numérisation des données

À 30 Hz, la variation d'amplitude du signal peut atteindre 18 % par milliseconde. Pour que les erreurs dynamiques dues à une modification de 0,1 % des signaux analogiques d'entrée soient limitées, le temps d'échantillonnage ou de numérisation doit être inférieur à 32  $\mu$ s. Toutes les paires ou tous les ensembles d'échantillons de données à comparer doivent être considérés simultanément ou sur une période de temps suffisamment courte.

#### 2.5 Prescriptions applicables au système

Le système de données doit avoir une résolution d'au moins 12 bits ( $\pm 0,05$  %) et une précision de 2 lsb ( $\pm 0,1$  %). L'ordre des filtres antirepliement doit être égal ou supérieur à 4 et l'intervalle de fréquences  $f_{\max}$  considéré doit être compris entre 0 Hz et 30 Hz.

Pour un filtre d'ordre 4, la fréquence passe-bande  $f_0$  (fréquences comprises entre 0 Hz et  $f_0$ ) doit être supérieure à  $2,37 \cdot f_{\max}$  si les erreurs de phase sont corrigées ultérieurement dans le traitement numérique des données et supérieure à  $5 \cdot f_{\max}$  dans le cas contraire. La fréquence d'échantillonnage des données  $f_s$  pour un filtre d'ordre 4 doit être supérieure à  $13,4 \cdot f_0$ .».

-----