

PNEUMATIQUES DE RÉFÉRENCE POUR LES MESURES D'ADHÉRENCE – XXIII CONGRÈS MONDIAL DE LA ROUTE

M.GOTHIÉ
CETE de LYON, Bron, Rhône, France
michel.gothie@equipement.gouv.fr

B.DE WITT
Dienst Weg-en Waterbouwkunde, Delft, The Netherlands
l.b.dwit@dww.rws.minvenW.nl

RÉSUMÉ

Au début des années 70, le comité C1 de l'AIPCR est à l'origine de la fabrication d'un pneumatique spécial destiné à être utilisé sur les matériels de mesure de coefficient de frottement. Bien que le pneumatique ne soit pas le seul facteur important pour cette mesure, l'utilisation par de nombreux pays de ce pneumatique spécial a permis et permet encore de faciliter les échanges de résultats de mesure. Le fabricant suisse MALOYA produisant le pneu AIPCR a cessé ses activités dans les années 1995, 1996. Le comité C1 a alors recherché un nouveau partenaire pour assurer cette production spécifique et le manufacturier VREDESTEIN (Hollande) a accepté de produire une nouvelle série. Cette dernière, conforme aux spécifications d'origine de ce pneu spécial, a été réalisée début 1998 et distribuée par la société KOAC/WMD (Hollande) fin 1998. Dès fin 1998, des essais comparatifs conduits en France, ont mis en évidence des différences sensibles entre les résultats obtenus sur les mêmes surfaces avec le pneu de la série 1990 et le pneu de la série 1998. Cette constatation, confirmée par d'autres essais réalisés en 1999, a conduit le comité C1 de l'AIPCR à demander des explications au fabricant et au diffuseur. Ces derniers ont fait des propositions concrètes qui ont abouti à de nouveaux essais réalisés sur des surfaces usuelles par deux pays membres du comité C1 (Hollande et France) avec leurs appareils respectifs. Ces essais ont conduit à différentes propositions : Les Hollandais proposent 4 modèles pour corriger les valeurs obtenues avec les pneumatiques 1998. Les Français ont proposé de conserver à court terme les résultats obtenus avec le pneumatique 1998 et de modifier les fuseaux de référence utilisés en France. Une information a été donnée sur ces essais aux utilisateurs des pneumatiques, et une réunion à laquelle ils avaient été invités a été organisée à Delft en septembre 2002. A cette réunion avaient également été invités un représentant des sociétés VREDESTEIN et KOAC/WMD. A l'issue de cette réunion, le groupe de travail D a fait des recommandations au Comité C1 avec un échéancier comprenant des étapes à 6 mois, 1 an et 2 ans. Tous ces éléments devraient permettre au Comité C1 d'avoir les éléments pour décider s'il est nécessaire de prévoir une évolution importante du pneu AIPCR actuel avant le lancement d'une nouvelle série.

MOTS CLÉS

CHAUSSÉE / ADHÉRENCE / PNEUMATIQUE / MACROTEXTURE / MICROTEXTURE

1. HISTORIQUE

Au début des années 70, le comité C1 de l'AIPCR est à l'origine de la fabrication d'un pneumatique spécial destiné à être utilisé sur les matériels de mesure de coefficient de frottement (pneumatique radial 165R15 lisse ou rainuré). Bien que le pneumatique ne soit

pas le seul facteur important pour cette mesure, l'utilisation par de nombreux pays de ce pneumatique spécial a permis et permet encore de faciliter les échanges de résultats de mesure. Ce pneumatique spécial était fabriqué soit avec un profil lisse permettant d'avoir une bonne appréciation de la qualité de drainabilité superficielle des revêtements de surface, soit avec un profil rainuré qui reproduisait bien les caractéristiques des pneumatiques du commerce au niveau du freinage longitudinal. Le mélange de gomme utilisé pour ce pneumatique est un mélange défini par la norme ASTM E 501 ou E 524.

Le fabricant suisse MALOYA produisant le pneu AIPCR a cessé ses activités dans les années 1995, 1996. Le comité C1 a alors recherché un nouveau partenaire pour assurer cette production spécifique et le manufacturier VREDESTEIN (Hollande) a accepté de produire une nouvelle série. Cette dernière, conforme aux spécifications d'origine de ce pneu spécial, a été réalisée début 1998 et distribuée par la société KOAC/WMD (Hollande) fin 1998 à ceux qui souhaitaient acquérir ce pneumatique.

2. NOUVELLE SÉRIE

Dès fin 1998, des essais comparatifs conduits en France, ont mis en évidence des différences sensibles entre les résultats obtenus sur les mêmes surfaces avec le pneu de la série 1990 et le pneu de la série 1998.

Cette constatation, confirmée par d'autres essais réalisés en 1999, a conduit le comité C1 de l'AIPCR à demandé des explications au fabricant et au diffuseur de ces pneumatiques spéciaux.

Une importante étude explicative a été conduite par ces deux sociétés. Elle a abouti aux principales conclusions suivantes :

- Quelques différences existent entre les formules des deux séries de pneumatiques, mais ce serait la série 1990 qui ne serait pas conforme aux spécifications. D'autres part quelques modifications avaient été apportées à la formule pour améliorer la résistance du pneu à l'échauffement. Cependant selon VREDESTEIN, ces différences mineures ne devaient pas entraîner de modifications sensibles dans les résultats des mesures.

- La différence la plus importante relevée entre les deux séries de pneumatiques semble être la dureté Shore A de la gomme. Les pneumatiques de la série 1990 ont une valeur de dureté Shore A de 66,6 contre 56,8 pour les pneumatiques de la série 1998. VREDESTEIN et KOAC/WMD nous ont alors proposés de vieillir artificiellement quelques pneumatiques de la série 1998 pour augmenter cette valeur de dureté initiale. Le tableau ci joint montre l'augmentation de cette dureté à la suite de ce vieillissement assuré en étuve contrôlée (vieillissement équivalents à 5 ans et 10 ans).

Série	Dureté moyenne	Ecart type	[(Dm-2ET)-(Dm+2ET)]
1990	66,6	2,6	[61,4 - 71,8]
1998 L	56,8	3,1	[50,6 - 63,0]
1998 M	60,9	3,2	[54,5 - 67,3]
1998 H	66,4	2,9	[60,6 - 72,2]

Figure 1 - Tableau des duretés mesurées sur les pneumatiques AIPCR

3. ESSAIS RÉALISÉS

Des essais ont alors été conduits avec ces nouveaux pneumatiques. Les résultats obtenus avec les pneumatiques ainsi vieillissés, tout en étant meilleurs que ceux obtenus avec les pneumatiques d'origine, ne suppriment pas de façon satisfaisante les écarts constatés précédemment. La solution proposée par le fabricant ne semble donc pas la meilleure possible surtout que cette procédure de vieillissement artificiel rapide ne permet pas de garantir l'homogénéité dans la masse de la gomme ainsi modifiée.

Deux pays membres du comité C1 (Hollande et France) ont conduit, dans leurs pays avec leurs appareils respectifs et sur des surfaces usuelles, des essais comparatifs en grand nombre.

Ces essais ont permis la production de deux rapports que vous pouvez vous procurer auprès de MM de WITT et GOTHIE (voir les références à la fin de cette présentation). Ces deux rapports présentent des conclusions un peu différentes :

3.1. Étude réalisée par les Hollandais

Les Hollandais (à partir des mesures réalisées par leurs remorques DWW mesurant un coefficient de frottement longitudinal avec 86 % de glissement) proposent 4 modèles (voir en annexe à cette présentation) pour corriger les valeurs obtenues avec les pneumatiques 1998. Ces 4 modèles utilisent les facteurs explicatifs suivants :

3.1.1. Facteurs explicatifs: type de pneumatique et type de surface

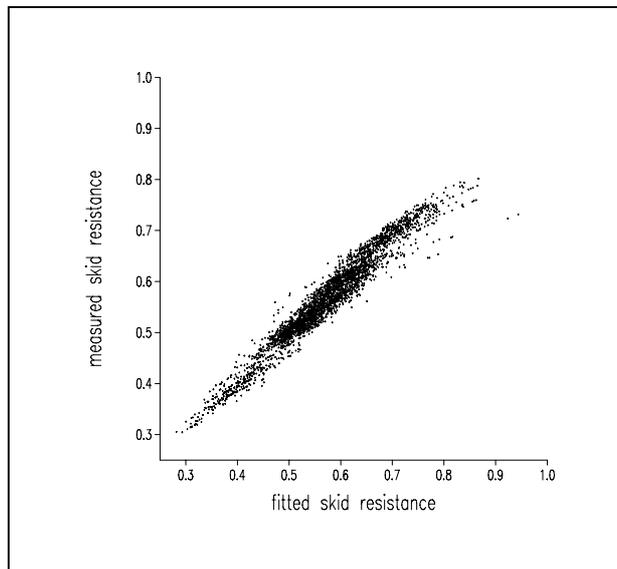


Figure 2 - Relation entre adhérence mesurée et adhérence calculée à partir d'un modèle utilisant des corrections en fonction de la surface, de la température, du pneumatique et de la vitesse; $R=1.125$.

Cinq types de pneumatiques et six types de surfaces ont été utilisés pour calculer ce modèle (voir application graphique figure 2):

$$F = A_i + B_j + C_{jk} + (\alpha_0 + \alpha_j + \alpha_k)(v - 53.43) + (\beta_0 + \beta_j + \beta_k)(T - 12.94)$$

Ici les lettres i, j, et k dépendent respectivement de l'appareil, du type de pneumatique et de la surface. Les paramètres α_0 et β_0 dépendent de la vitesse et de la température. Les

paramètres α_j , α_k , β_j , et β_k permettent d'apporter des modifications dans le cas où d'autres types de pneumatiques et d'autres types de surface sont pris en considération. Ce sont des paramètres liés à l'appareil de mesure. Tous ces paramètres sont donnés dans le rapport référencé à la fin de ce document [1].

3.1.2. Facteurs explicatifs: type de pneumatique et macrotexture de la surface

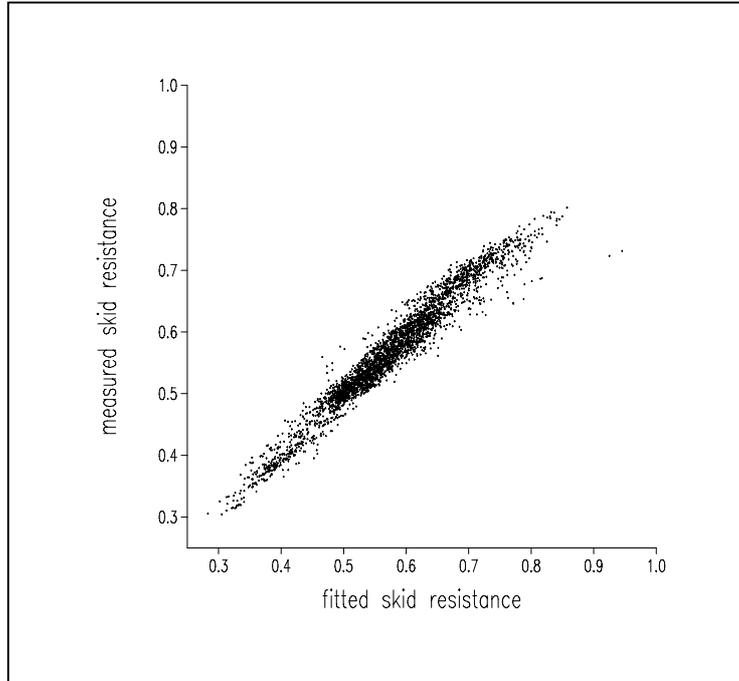


Figure 3 - Relation entre adhérence mesurée et adhérence calculée à partir d'un modèle utilisant des corrections en fonction de la texture, de la température, du pneumatique et de la vitesse; $R=1.117$.

Cinq pneumatiques et six valeurs de macrotexture ont été utilisés pour déterminer ce modèle (voir application figure 3):

$$F = A_i + B_j + \gamma_{j1} \text{mpd}^* + \gamma_{j2} \text{mpd}^{2*} + (\alpha_0 + \alpha_j + \alpha_1 \text{mpd}^* + \alpha_2 \text{mpd}^{2*}) (v - 53.43) + (\beta_0 + \beta_j + \beta_1 \text{mpd}^* + \beta_2 \text{mpd}^{2*}) (T - 12.94)$$

Avec $\text{mpd}^* = \text{mpd} - 0.8004$, et $\text{mpd}^{2*} = \text{mpd}^2 - 0.7673$

Ici les paramètres liés à la variable "type de surface", indexés par la lettre k, sont remplacés par les valeurs de mpd et mpd^2 . Tous ces paramètres sont donnés dans le rapport référencé à la fin de ce document [1].

3.1.2. Facteurs explicatifs: dureté de la gomme et type de surface

Pour déterminer ce modèle 6 types de surfaces ont été utilisés et la dureté a remplacé le type du pneumatique :

$$F = A_i + (\delta_0 + \delta_k) H^* + (\alpha_0 + \alpha_h H^* + \alpha_k)(v - 53.43) + (\beta_0 + \beta_h H^* + \beta_k)(T - 12.94),$$

$$\text{avec } H^* = H - 64.28$$

Tous ces paramètres sont donnés dans le rapport référencé à la fin de ce document [1].

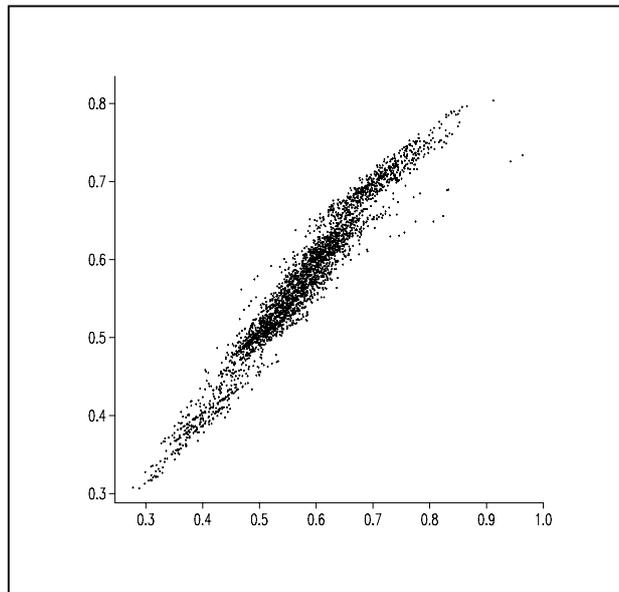


Figure 4 - Relation entre adhérence mesurée (y) et adhérence calculée (x) à partir d'un modèle utilisant des corrections en fonction de la surface, de la température, de la dureté du pneumatique et de la vitesse; R=1.127.

3.1.2. Facteurs explicatifs: dureté de la gomme et macrotexture de la surface

Pour ce modèle le type de pneumatique a été remplacé par sa dureté et le type de surface par sa macrotexture.

$$F = A_i + (\delta_0 + \delta_1 \text{mpd}^* + \delta_2 \text{mpd}^{2*}) H^* + (\alpha_0 + \alpha_h H^* + \alpha_1 \text{mpd}^* + \alpha_2 \text{mpd}^{2*})(v - 53.43) + (\beta_0 + \beta_h H^* + \beta_1 \text{mpd}^* + \beta_2 \text{mpd}^{2*})(T - 12.94)$$

avec $H^* = H - 64.28$, $\text{mpd}^* = \text{mpd} - 0.8004$, et $\text{mpd}^{2*} = \text{mpd}^2 - 0.7673$

Tous ces paramètres sont donnés dans le rapport référencé à la fin de ce document [1].

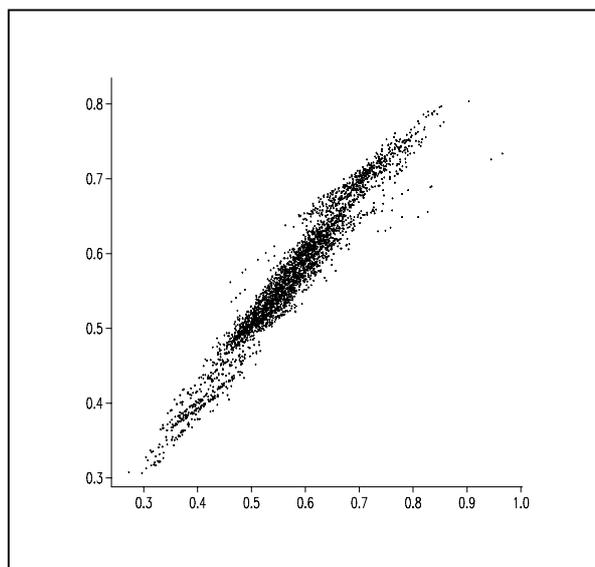


Figure 5 - Relation entre adhérence mesurée (y) et adhérence calculée (x) à partir d'un modèle utilisant des corrections en fonction de la surface, de la température, de la dureté du pneumatique et de la vitesse; R=1.126.

Globalement ces 4 modèles semblent intéressants statistiquement mais donnent une valeur de reproductibilité relativement importante surtout lorsque l'on est sur un chantier particulier.

3.1. Etude réalisée par les Français

Les Français, à partir des mesures hollandaises et celles réalisées par leur propre appareil (ADHERA mesurant un coefficient de frottement longitudinal roue bloquée), ont établi les éléments suivants :

- Les corrélations linéaires établies entre les différents pneumatiques, confirment les différences constatées précédemment entre la série 1990 et la série 1998, et s'améliorent, lorsque l'on passe d'un pneu de la série 1998 à un pneu de la série 1998 vieillit artificiellement à 5 ans, à un pneu de la série 1998 vieillit artificiellement à 10 ans, et lorsque l'on utilise un seul appareil pour les mesures de CF

- La dureté Shore A des pneumatiques est difficile à mesurer sur chantier et présente des dispersions très importantes. Ce facteur peut-être remplacé par d'autres facteurs explicatifs (microtexture, macrotecture) sans que ce remplacement ne modifie de façon importante la valeur du coefficient de détermination R^2 .

- Les niveaux de microtexture et de macrotecture des surfaces testées semblent être des facteurs explicatifs des différences relevées entre les deux séries de pneumatiques. Pour éviter de devoir conduire des mesures complémentaires, la microtexture a été évaluée par une mesure de coefficient de frottement à faible vitesse (40 km/h), et la macrotecture a été évaluée par un calcul de la pente de décroissance des CF mesurés entre 40 et 90 km/h.

A partir de ces éléments il a été proposé en France (Gothié 2001):

- de conserver à court terme le pneumatique 1998 de série (non vieillit artificiellement),

- de conserver les résultats obtenus avec ce pneumatique en l'état,

- de modifier les fuseaux de référence utilisés en France par technique et pour l'ensemble des revêtements, en utilisant le modèle établi à partir des seules mesures réalisées par l'appareil ADHERA, avec comme facteurs explicatifs :

- la mesure du CF à faible vitesse (40 km/h)

- le calcul de la pente de décroissance du CF en fonction de la vitesse d'essai de 40 à 90 km/h.

Pour l'appareil ADHERA, les deux lois (1) et (2) établies pour passer d'un CFL mesuré avec un pneumatique de la série 1998 à un CFL mesuré avec un pneumatique de la série 1990 et vice et versa sont données ci après :

$$\text{CFL}_{98} = 0,92.\text{CFL}_{90} - 0,14.P + 0,13.\text{CFL}_{90}(40 \text{ km/h}) - 0,02 \quad (1)$$

(Coefficient de détermination = 0 .84 ; Ecart quadratique moyen = 0.044)

P/ pente de décroissance du CFL en fonction de la vitesse :

$$P = (\text{CFL}_{98}(40) - \text{CFL}_{98}(90))/50$$

CFL₉₈ : CFL mesuré avec le pneu AIPCR série 1998

CFL₉₈(40) : CFL mesuré avec le pneu AIPCR série 1998 à 40 km/h

CFL₉₈(90) : CFL mesuré avec le pneu AIPCR série 1998 à 90 km/h

CFL₉₀ : CFL mesuré avec le pneu AIPCR série 1990

CFL₉₀(40 km/h) : CFL mesuré avec le pneu AIPCR série 1990 à 40 km/h

$$\text{CFL}_{90} = 0,99.\text{CFL}_{98} + 0,18.P - 0,29.\text{CFL}_{90}(40 \text{ km/h}) + 0,12 \quad (2)$$

(Coefficient de détermination = 0 .87 ; Ecart quadratique moyen = 0.037)

P/ pente de décroissance du CFL en fonction de la vitesse :

$$P = (\text{CFL}_{90}(40) - \text{CFL}_{90}(90))/50$$

CFL₉₈ : CFL mesuré avec le pneu AIPCR série 1998

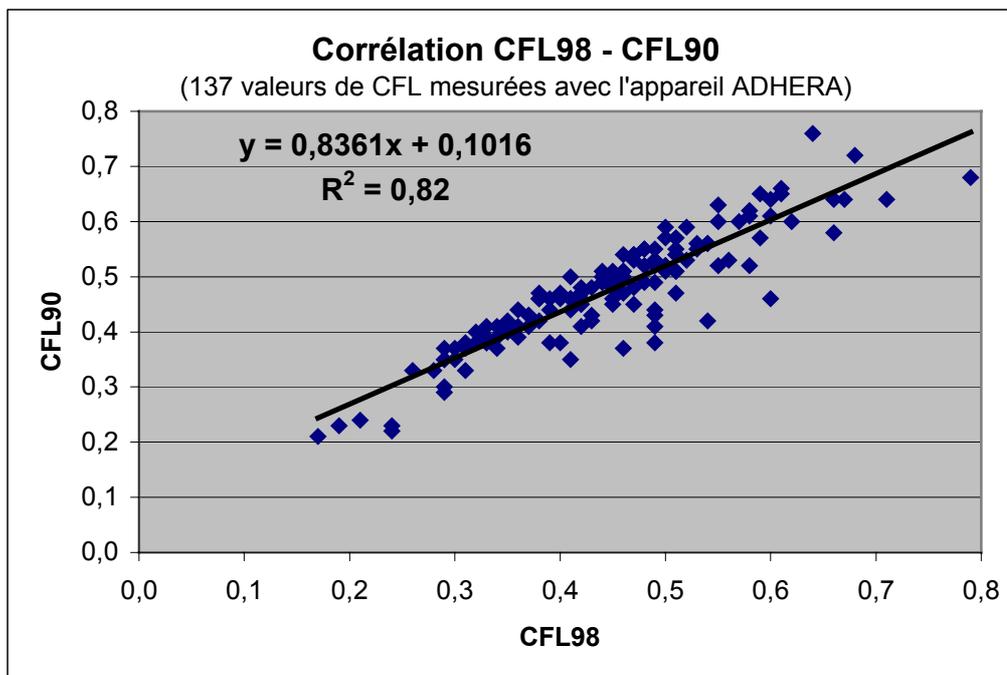
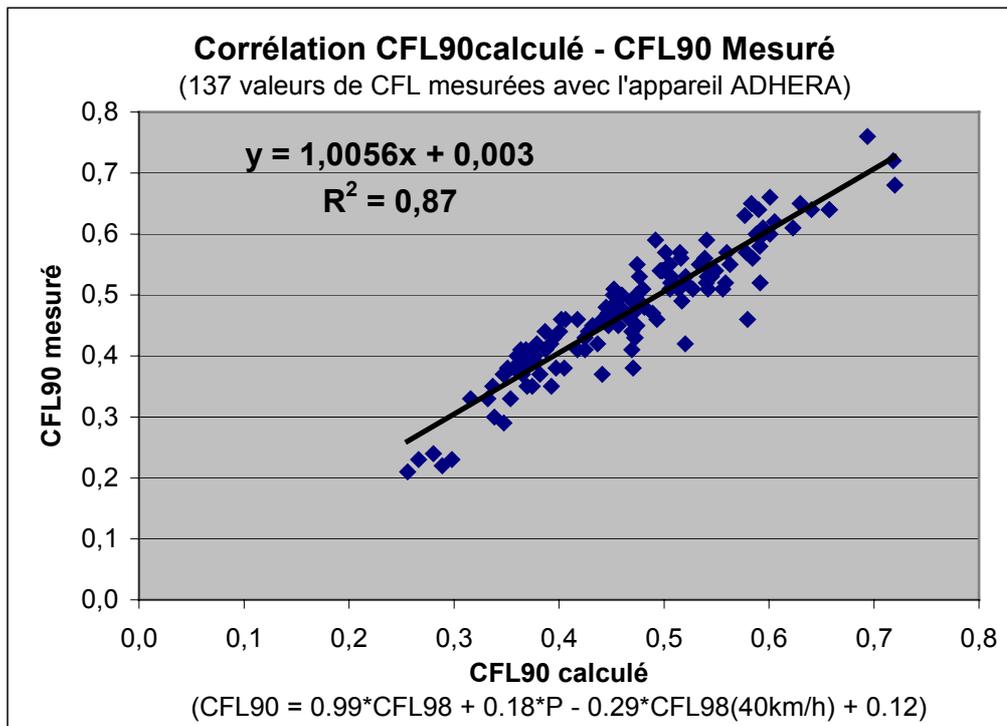
CFL₉₈(40 km/h) : CFL mesuré avec le pneu AIPCR série 1998 à 40 km/h

CFL90 : CFL mesuré avec le pneu AIPCR série 1990

CFL90(40) : CFL mesuré avec le pneu AIPCR série 1990 à 40 km/h

CFL90(90) : CFL mesuré avec le pneu AIPCR série 1990 à 90 km/h

La corrélation entre le CFL mesuré avec un pneumatique 1998 et avec un pneumatique 1990 est représentée graphiquement dans la figure . La relation entre la valeur de CFL mesurée avec le pneumatique de la série 1990 et la valeur calculée avec le modèle en utilisant le pneumatique 1998 est représentée graphiquement dans la figure



Figures n° 6 et 7 - Amélioration apportée dans la loi de correspondance en utilisant les deux facteurs explicatifs, microtexture et macrotexture

4. PROPOSITIONS FAITES AUX UTILISATEURS

A l'issue de ces différents essais, il a été donné le choix aux utilisateurs du pneumatique AIPCR :

- de ne plus utiliser les pneumatiques AIPCR 1998,

- de les utiliser en connaissance de cause en établissant leurs propres lois de correction. Ces lois dépendent directement des caractéristiques de leur appareil de mesure (mesure longitudinale ou transversale, pourcentage de glissement, vitesse, etc...). Dans ce dernier cas les utilisateurs ont été invités à établir ces lois de correction en demandant l'aide éventuelle de MM de WIT (DWW, Pays-Bas) et GOTHIE (CETE de Lyon France). Dans ce dernier cas également l'attention des utilisateurs a été attirée sur le fait qu'il était nécessaire de respecter certaines conditions de stockage et d'utilisation des pneumatiques définies avec le fabricant.

Pour faciliter les échanges entre les utilisateurs des pneumatiques d'essai et examiner ensemble quelles seraient les meilleures solutions pour éviter à l'avenir d'avoir des problèmes semblables, une réunion à laquelle tous les utilisateurs connus de ces pneumatiques d'essai avaient été invités a été organisée à Delft en septembre 2002. A cette réunion avaient également été invité un représentant des sociétés VREDESTEIN et KOAC/WMD, respectivement actuels fabricant et distributeur du pneumatique.

A l'issue de cette réunion, plusieurs propositions ont été soumises au Comité C1 de l'AIPCR . Ces propositions s'appuyaient sur les éléments suivants :

A) Le pneumatique d'essai est juste un moyen d'apprécier l'adhérence d'une surface de chaussée dans des conditions standard.

B) Il n'y a aucune obligation d'avoir un pneumatique qui reflète toutes les évolutions des pneumatiques commerciaux, mais,

C) Si les modifications effectuées sur ces pneumatiques (dimensions, composition du mélange) conduisent à modifier la classification des surfaces de chaussées entre elles, il nous appartient d'envisager de modifier le pneu d'essai afin de se trouver dans des conditions plus proches de celles rencontrées par les usagers de la route.

D) La présentation de la société VREDESTEIN nous informe de deux évolutions actuelles susceptibles de modifier nos classements :

- augmentation des largeurs qui vont augmenter la sensibilité des mesures à la hauteur d'eau,
- présence de silice dans les mélanges utilisés à la place de noir de carbone, ce qui conduit à une amélioration des résultats obtenus sur chaussée mouillée avec un système ABS, mais dégrade ceux obtenus roue bloquée.

E) Il convient d'être prudent dans la modification des tailles des pneumatiques afin de pouvoir les monter dans les matériels de mesures actuels.

5. RECOMMANDATIONS DU COMITE C1

Ces éléments ont conduit le groupe de travail D à faire les recommandations suivantes au Comité C1 :

5.1. Recommandations à court terme (dans les 6 mois)

5.1.1. Il est possible d'utiliser les pneumatiques de la série 1998 moyennant certaines précautions pour assurer la continuité des résultats (réaliser une loi de corrélation avec les mesures réalisées avec le pneumatique de la série 1990).

5.1.2. Le comité C1 a engagé la rédaction, en partenariat avec la société VREDESTEIN qui fabrique le pneumatique d'un document regroupant de façon très précise les

caractéristiques actuelles du pneumatique AIPCR et les conditions de stockage et d'utilisation.

5.2. Recommandations à moyen terme (6 mois à 1 an)

5.2.1. Réunir les connaissances que nous avons sur les performances comparées des pneumatiques AIPCR et des pneumatiques du commerce.

5.2.2. Regrouper les résultats obtenus lors des essais conduits après l'expérience AIPCR de 1992 entre le pneu AIPCR standard série 1990 et le pneu spécial fabriqué par la société américaine « Specialty tyres » avec le moule du pneu AIPCR et le mélange de gomme des pneumatiques ASTM E 501 et E 524.

5.3. Recommandations à long terme (1 an à 2 ans)

5.3.1. Réaliser des mesures comparatives entre les pneumatiques de référence actuellement disponibles et de dimension voisines de celles du pneu AIPCR (en particulier le pneumatique ASTM E 1136)

5.3.2. Réaliser des mesures comparatives entre le pneumatique AIPCR et des pneumatiques du commerce actuels fabriqués avec de la silice à la place du noir de carbone. Ces mesures devraient être conduites avec des appareils permettant d'effectuer des mesures de coefficient de frottement longitudinal entre 0 et 100% de glissement et si possible des mesures de coefficient transversal. Ces mesures devraient permettre de contrôler l'effet de la silice sur les performances des différentes surfaces de chaussées utilisées et de voir si les classements de ces surfaces entre elles sont ou non conservées lorsque ce composant est utilisé dans le pneumatique d'essai.

6. CONCLUSION

Tous ces éléments devraient permettre au Comité C1 d'avoir les éléments pour décider s'il est nécessaire de prévoir une évolution importante du pneu AIPCR actuel (dimension, composition,...). Cette décision pourrait être prise avant le lancement d'une nouvelle fabrication du pneu AIPCR lorsque la série des pneus 1998 sera épuisée.

RÉFÉRENCES

SCHOEN, E.D. ((2001) Correction of Skid Resistance Measurements Obtained under Non-Standard Conditions (Revised Version) TNO-report

GOTHIÉ, M. (2001) Appareil ADHÉRA pneus AIPCR séries 1990 et 1998 (L, M et H) ; LCPC; Comité C « Infrastructure et sécurité routière » Opération de recherche : ADHÉRENCE.