

**Proposition de norme européenne relative
à la résistance au dérapage des revêtements routiers**

Programme d'appui scientifique
à la normalisation

volet II

Rapport final

Services fédéraux des
AFFAIRES SCIENTIFIQUES,
TECHNIQUES ET CULTURELLES

CENTRE DE RECHERCHES ROUTIERES
Etablissement reconnu par application de l'Arrêté-Loi du 30.01.1947
BOULEVARD DE LA WOLUWE 42, 1200 BRUXELLES

Rapport final

CONTRAT DE RECHERCHE NO/C3/004

PROPOSITION DE NORME EUROPEENNE
RELATIVE A LA RESISTANCE AU DERAPAGE
DES REVETEMENTS ROUTIERS

Coordonnateur et Rapporteur : Guy DESCORNET, Dr.Sc.

Mai 1998

CENTRE DE RECHERCHES ROUTIERES
Etablissement reconnu par application de l'Arrêté-Loi du 30.01.1947
BOULEVARD DE LA WOLUWE 42, 1200 BRUXELLES

Rapport final

CONTRAT DE RECHERCHE NO/C3/004

PROPOSITION DE NORME EUROPEENNE
RELATIVE A LA RESISTANCE AU DERAPAGE
DES REVETEMENTS ROUTIERS

Coordonnateur et Rapporteur : Guy DESCORNET, Dr.Sc.

Mai 1998

I. Composition du Comité d'Accompagnement

Dhr. R.JORDENS, Ing., Afdelingshoofd, Rijkswaterstaat, Dienst Weg- en Waterbouwkunde(NL), Voorzitter CEN/TC227/WG5/TG1

Dhr. F.MONTENY, Diensten van de Eerste Minister, Wetenschappelijke, Technische en Culturele Aangelegenheden

M. F.BEUGNIES, Ir., Ingénieur-Directeur a.i., Ministère des Communications et de l'Infrastructure, Administration de la Réglementation de la Circulation et de l'Infrastructure (ARCI), Direction Routes: Normes et Banques de Données

M. J.WUSTEMBERGHS, Ing., Conseiller, Institut Belge de Normalisation

Dhr. L.HELEVEN, Ir., Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, Departement Leefmilieu en Infrastructuur, Administratie Weg en Verkeer, Afdeling Wegenbouwkunde, Dienst Structuren

M. J.CROCHET, Ir., Ingénieur Principal des Ponts et Chaussées, Ministère Wallon de l'Équipement et des Transports, Direction générale des Routes et Autoroutes, Direction des Structures Routières

M. D.GORLE, Dr.-Ir., Directeur, Opzoekingscentrum voor de Wegenbouw, Departement Research, Ontwikkeling en Toepassing

M. G.DESCORNET, Dr.Sc., Chef de projet, Centre de Recherches Routières, Département Recherche, Développement et Application

II. Remerciements

Nous remercions les services du Premier Ministre pour les Affaires Scientifiques, Techniques et Culturelles pour leur financement du projet et, en particulier, Monsieur F.MONTENY pour son soutien constant et attentif.

Nous remercions les services du LIN et du MET pour leur excellente collaboration à ce projet, en particulier Messieurs L.HELEVEN (LIN), J.CHAVET (MET) et J.CROCHET (MET) pour l'exécution de la campagne de mesures de glissance.

Que soient également remerciés les autres membres du Comité d'Accompagnement et plus particulièrement Monsieur R.A.P.JORDENS, qui a volontiers effectué de longs déplacements matinaux pour assister à diverses réunions dont celles du C.A. et Monsieur D.GORLE pour son suivi attentif et sa présidence efficace et conviviale du C.A.

Davantage qu'un remerciement, c'est de la reconnaissance que nous devons à Messieurs J.M.DESMET et B.BERLEMONT pour leur dévouement et leur compétence dans l'exécution des tâches techniques et l'exploitation des importantes quantités de données. Nous devons en particulier à B.BERLEMONT la réalisation du CD_ROM annexé. Enfin, nous remercions l'AIPCR pour son autorisation de reproduction de certains extraits de la base de données de la première expérience internationale dans l'Annexe 1 (CD-Rom) afin de la rendre plus complète.

III. Synthèse

Il y a en Europe plus d'une douzaine de modèles différents d'appareils de mesure de la résistance au dérapage des revêtements routiers. Jusqu'à présent, chaque pays utilise un ou deux type d'appareils sur base duquel ou desquels les spécifications sont établies au niveau des cahiers des charges et des politiques d'entretien. Or, avec l'ouverture du marché unique, il y a un besoin d'uniformisation pour permettre à tout entrepreneur de s'adapter à des spécifications différentes ainsi qu'aux responsables des réseaux routiers de garantir des conditions de sécurité homogènes d'un pays à l'autre. Cette uniformisation est entreprise au niveau du CEN notamment par le groupe CEN/TC227/WG5. Un des objectifs actuels de ce groupe est d'élaborer un projet de norme définissant une procédure uniforme de détermination de la résistance au dérapage sur base d'une mesure dynamique. On comprend sans peine qu'une telle procédure, pour être acceptée par la majorité des pays peut difficilement faire appel à un appareil unique. C'est pourquoi la philosophie adoptée consiste à établir des formules de conversion entre les différents appareils de façon à permettre à chacun de continuer, au moins pendant une période transitoire, d'utiliser sa méthode propre. Anticipant ce besoin, l'AIPCR a réalisé une expérience internationale de comparaison entre les différents appareils et méthodes de mesure de frottement et de texture superficielle des revêtements de routes et d'aérodromes. Cette expérience a fait l'objet d'un rapport final édité par l'AIPCR fin 1995. Tous les appareils et méthodes de mesures utilisés en Europe étaient représentés plus 1 engin américain, 1 canadien et 2 japonais. Cette expérience a fourni une base de données considérable qui s'avère précieuse pour le travail de normalisation. Et l'analyse de ces données présentée dans le rapport final démontre la possibilité d'harmoniser quasi tous les appareils participants au moyen d'une formule empirique leur permettant de raccorder leurs résultats de mesures à une échelle commune baptisée (un peu prématurément) "IFI-Indice de Frottement International", moyennant la prise en compte d'une mesure de la macrotexture. On peut dire "prématurément" car, si cette expérience était un prérequis indispensable, elle ne permet pas d'établir sans travaux complémentaires un projet de norme acceptable au niveau européen.

C'est pourquoi l'objectif général du projet consistait à élaborer un projet de norme européenne moyennant l'exécution des travaux complémentaires indispensables.

Rappelons la définition de l'IFI par l'AIPCR:

$$IFI = A + B * F * \exp\left[\frac{(\tau * V - S_R)}{(a + b * T)}\right] + C * T$$

- avec:
- F : coefficient de frottement mesuré
 - V : vitesse de mesure
 - S_R: vitesse de glissement (entre pneu et revêtement) de référence (60 km/h)
 - T : profondeur de texture
 - τ : taux de glissement
 - a,b : coefficients déterminés empiriquement permettant de compenser l'influence de la vitesse sur le coefficient de frottement à partir de la mesure de texture (T)

A,B,C : coefficients propres à chaque appareil, déterminés empiriquement.

Le premier travail a été de reprendre l'analyse de la base de données de l'expérience AIPCR afin de déterminer les valeurs optimales à attribuer aux paramètres qui entrent dans la définition de l'IFI. Par "valeurs optimales", on entend: qui permettent au sous-ensemble des appareils européens de reproduire l'IFI avec la meilleure précision possible. Afin que la redéfinition de l'IFI privilégie les appareillages et méthodes de mesure réellement en usage en Europe et dans la perspective de l'élaboration d'une norme CEN portant sur des essais dynamiques, on a sélectionné un total de 21 appareils selon ces deux critères. Postérieurement à l'expérience AIPCR et sur base des données acquises à cette occasion, la norme ISO 13473-1 a été élaborée, laquelle définit la manière de calculer la profondeur moyenne de profil à partir des mesures profilométriques. Il convient donc d'en tenir compte ici, d'autant que l'adoption de cette norme est actuellement prévue par le CEN/TC227/WG5. Or, le CRR est le seul parmi les équipes participantes à avoir enregistré et archivé tous les profils mesurés sous forme digitale, ce qui permet le retraitement de ces derniers par la nouvelle méthode. Par ailleurs, il a été nécessaire de compléter l'analyse par une évaluation de la répétabilité et de la reproductibilité de l'IFI.

Cette analyse complémentaire nous a amenés à définir un "EFI-European Friction Index" qui présente, par rapport à l'IFI proposé par l'AIPCR, les avantages suivants:

- Le rôle de la mesure de texture et donc des erreurs supplémentaires qu'elle peut introduire, a été minimisé de deux façons. Premièrement, par un choix rationnel de la vitesse de référence, on minimise l'importance de la correction de l'influence de la vitesse; cette vitesse de référence optimale est de 30 km/h. Deuxièmement, on a montré qu'il n'est pas nécessaire d'ajouter un terme dépendant de la texture (coefficient C dans la formule ci-dessus) à la définition de l'EFI pour les appareils utilisant des pneus sculptés.
- Ce dernier aspect introduit une simplification, donc une harmonisation plus complète, puisqu'au contraire de l'IFI, la définition de l'EFI est unique quel que soit le type de pneu utilisé par un appareil donné.
- L'EFI tient compte de la définition normalisée ISO de la profondeur de texture estimée à partir d'une mesure profilométrique.
- Sa définition est basée sur les données relatives aux appareillages (dynamiques) européens. Cette base de données plus restreinte que celle de l'expérience AIPCR permet donc d'obtenir des valeurs de répétabilité et de reproductibilité mieux représentatives des performances que l'on peut attendre des systèmes de mesure mis en oeuvre en Europe, donnée dont la connaissance est requise par les travaux de normalisation. La répétabilité de l'EFI a été évaluée à 0.08 en moyenne sur l'ensemble des appareils et des sites mesurés et sa reproductibilité inter-appareils a été évaluée à 0.14.
- Mais son principal avantage tient à ce qu'il réduit considérablement ou même annule en moyenne les écarts systématiques entre les valeurs de coefficients de frottement délivrées par différents types d'appareils; c'est précisément en cela que le but de l'harmonisation est atteint même si c'est au prix d'une reproductibilité moins bonne qu'entre appareils de même type.

Le second objectif du projet était de valider l'extension de l'EFI a certains types de revêtements insuffisamment ou pas du tout pris en compte dans l'expérience AIPCR, notamment les différents matériaux et technologies des revêtements routiers représentatifs des usages et tendances en Europe dans ce domaine. On a dans ce but effectué avec la collaboration des Administrations Régionales une campagne de mesures de glissance à l'aide du SCRIM du LIN et de l'Odoliographe du MET et de texture à l'aide du profilomètre à laser du CRR sur 23 sections de routes présentant 1/3 de revêtements classiques comme témoins et 2/3 de revêtements soit nouvellement introduits soit d'application plus restreinte (notamment: enrobé drainant, béton de ciment drainant, Splitt Mastix Asphalt, coulis résineux gravillonné, et divers autres types de couches minces). Le critère de validation de l'EFI par rapport à un revêtement donné était que ce dernier obéisse à la formule établie empiriquement qui permet de prédire la susceptibilité du coefficient de frottement vis-à-vis de la vitesse de glissement en fonction de la profondeur de texture. Compte-tenu de la précision de cette formule, on peut dire que, d'après les données AIPCR (à l'exception des cas particuliers des revêtements de deux terrains d'aviation américains en Espagne) aussi bien que d'après les essais complémentaires effectués en Belgique, aucun type de revêtement ne s'écarte significativement et systématiquement dans un sens donné de la relation susdite.

Enfin, conformément au troisième et dernier objectif, un projet de norme a été élaboré, lequel :

- 1) définit l'EFI, càd la formule grâce à laquelle on peut passer d'une méthode de mesure à une autre avec indication de la marge d'erreur associée à cette conversion. La formule est essentiellement la même que ci-dessus, mais les coefficients correspondants ont été recalculés et le coefficient C a disparu.
- 2) propose une procédure d'étalonnage des appareils de mesure de frottement basée sur l'EFI. Il suffit pour maintenir l'EFI que des sous-ensembles réduits (deux ou trois) d'appareils se réunissent périodiquement pour se comparer et ajuster leurs coefficients A et B. Mais ces réunions doivent être organisées de façon à éviter, par le respect de certains critères d'appariement, que des sous-ensembles d'appareils ne s'écartent progressivement l'un de l'autre.

Ce projet a été présenté au groupe CEN/TC227/WG5 pour la première fois lors de la réunion des 21-22 novembre 1997 à Bruxelles. Une version amendée compte-tenu des remarques du groupe a été représentée lors de la réunion des 25-26 mai 1998 et c'est la troisième révision consécutive à cette dernière réunion qui est fournie en annexe au rapport sous forme de document séparé.

Pour tirer pleinement bénéfice du travail accompli, on recommande ce qui suit.

1. La démonstration de la faisabilité de la conversion dans une échelle uniforme des différentes mesures de glissance pratiquées en Europe devrait être diffusée et exploitée comme argument décisif justifiant, au niveaux des organismes de normalisation, des gestionnaires des routes, des entrepreneurs de voiries, des fournisseurs de matériaux de construction routière et des fournisseurs de matériel de mesure, l'adoption de la politique dite "d'harmonisation" plutôt que celle de "normalisation". L'harmonisation, moyennant l'application du concept de l'EFI, permet aux utilisateurs de continuer de pratiquer leurs essais et d'alimenter leurs banques de données routières sans rupture avec le passé qui signifierait l'abandon d'investissements importants et d'une longue expérience acquise, qu'entraînerait la normalisation d'une méthode unique. Ce qui n'interdit pas de préparer l'élaboration d'une méthode d'essai unique, Européenne ou plus largement internationale, pour dans les quinze ou vingt ans à venir. Le recours à l'EFI aura alors permis d'assurer une transition que l'on pourrait qualifier de démocratique.
2. Ceci implique que les autorités scientifiques, administratives et politiques concernées soutiennent la mise sur pied urgente d'une organisation Européenne pour l'étalonnage régulier des appareils de mesure de la glissance comme proposé dans le projet de norme. Cette organisation ne doit pas nécessairement disposer de pistes d'essai de référence; le projet de norme ne l'exige pas, les comparaisons entre appareils pouvant se dérouler en principe et en général dans n'importe quel pays ou région d'Europe pourvu que les critères édictés dans la norme puissent y être respectés. L'important est qu'il existe une équipe dédiée à plein temps à l'organisation des tests, à l'interprétation des résultats, à la délivrance de certificats, etc., et susceptible de se déplacer sur le lieu qui aura été considéré comme le plus approprié du point de vue pratique et économique pour la rencontre de tel ou tel sous-ensemble (sans doute deux ou trois appareils, la plupart du temps).

IV. Abréviations

AIPCR	Association Mondiale de la Route
B	Ensemble des appareils à pneu lisse ("Blank")
BB	Béton bitumineux
BC	Béton de ciment
BD	Béton drainant
CEN	Comité Européen de Normalisation
CFL	Coefficient de frottement longitudinal
CFT	Coefficient de frottement transversal
CRR	Centre de Recherches Routières
E	Enduisage
ED	Enrobé drainant
EFI	European Friction Index
ESHHP	Enduit superficiel à haute performance
ETD	Estimation de MTD à partir de MPD ("Estimated Texture Depth")
G	Ensemble ("General") des appareils sans distinction du type de pneu
IFI	International Friction Index
ISO	International Standardization Organization
LIN	Dienst Leefmilieu en Infrastructuur
MET	Ministère wallon de l'Équipement et des Transports
MPD	Profondeur du profil de la texture ("Mean Profile Depth")
MTD	Profondeur de texture obtenue par une méthode volumétrique ("Mean Texture Depth")
RMD	Revêtement mince discontinu
RMS	Ecart quadratique moyen ("Root Mean Square") du profil de la texture
RMTO	Revêtement mince à texture ouverte
RP	Ensemble des appareils à pneu rainuré ("Ribbed") ou présentant une sculpture quelconque ("Patterned")
RUMG	Revêtement ultra-mince grenu
SCRIM	Sideways force Coefficient Routine Investigation Machine
SCRIMTEX	SCRIM associé à un profilomètre à laser mesurant la macrotexture
SMA	Splitt mastix asfalt
SSTC	Services des affaires Scientifiques, Techniques et Culturelles

V. Symboles

μ	Moyenne
ρ	Coefficient de corrélation
σ	Ecart-type
τ	Taux de glissement
A, a	Ordonnée à l'origine d'une droite de régression
B, b	Coefficient angulaire d'une droite de régression
E	Valeur estimée de EFI
F	Coefficient de frottement
$F_{10, \dots, F_{90}}$	Valeur du coefficient de frottement ramenée à la vitesse de glissement de 10, ..., 90 km/h
F_S	Valeur du coefficient de frottement ramenée à la vitesse de glissement S
F_0	Coefficient de frottement extrapolé à vitesse nulle
i	Indice variant selon l'appareil considéré
j	Indice variant selon la demi-section considérée
J	Nombre total de demi-sections
m	Indice distinguant les mesures répétées par un appareil donné sur une demi-section donnée
n	Nombre de mesures considérées dans un calcul de régression
N	Nombre total d'appareils
R	Indice affectant une valeur dépendant du choix de S_R
r	Répétabilité
R	Reproductibilité
S	Vitesse de glissement
S_0	Paramètre décrivant l'influence sur le coefficient de frottement de la vitesse de glissement; plus simplement : "paramètre de vitesse"
S_0^*	Paramètre de vitesse optimum pour une demi-section donnée
S_0^{**}	Paramètre de vitesse optimum prédit sur base de la texture
S_R	Vitesse de glissement de référence
T	Profondeur de texture
x	Indice variant selon le type de mesure de texture considéré

VI. Introduction

Il y a en Europe plus d'une douzaine de modèles différents d'appareils de mesure de la résistance au dérapage des revêtements routiers. Jusqu'à présent, chaque pays utilise un ou deux type d'appareils sur base duquel ou desquels les spécifications sont établies au niveau des cahiers des charges et des politiques d'entretien. Or, avec l'ouverture du marché unique, il y a un besoin d'uniformisation pour permettre à tout entrepreneur de s'adapter à des spécifications différentes ainsi qu'aux responsables des réseaux routiers de garantir des conditions de sécurité homogènes d'un pays à l'autre. Cette uniformisation est entreprise au niveau du CEN notamment par le groupe CEN/TC227/WG5 dont R.JORDENS, J.CHAVET, L.HELEVEN et G.DESCORNET font partie. Un des objectifs actuels de ce groupe est d'élaborer un projet de norme définissant une procédure uniforme de détermination de la résistance au dérapage sur base d'une mesure dynamique. On comprend sans peine qu'une telle procédure, pour être acceptée par la majorité des pays ne peut pas faire appel à un appareil unique. C'est pourquoi la philosophie adoptée consiste à établir des formules de conversion entre les différents appareils de façon à permettre à chacun de continuer, au moins pendant une période transitoire, d'utiliser sa méthode propre. Anticipant ce besoin, l'AIPCR a réalisé une expérience internationale de comparaison entre les différents appareils et méthodes de mesure de frottement et de texture superficielle des revêtements de routes et d'aérodromes. Cette expérience a fait l'objet d'un rapport final édité par l'AIPCR fin 1995. Tous les appareils et méthodes de mesures utilisés en Europe étaient représentés plus 1 engin américain, 1 canadien et 2 japonais. Cette expérience a fourni une base de données considérable qui s'avère précieuse pour le travail de normalisation. Et l'analyse de ces données présentée dans le rapport final démontre la possibilité d'harmoniser quasi tous les appareils participants au moyen d'une formule empirique leur permettant de raccorder leurs résultats de mesures à une échelle commune baptisée un peu prématurément "IFI", moyennant la prise en compte d'une mesure de la macrotecture. On peut dire "prématurément" car si cette expérience était un prérequis indispensable, elle ne permet pas d'établir sans travaux complémentaires un projet de norme acceptable au niveau européen.

L'objectif général du projet consiste à élaborer un projet de norme européenne moyennant l'exécution de travaux complémentaires indispensables, à savoir:

- 1) Reprendre l'analyse de la base de données en la restreignant aux appareils dynamiques utilisés en Europe et en reconsidérant la vitesse de référence adoptée empiriquement dans la définition de l'IFI dans le but de redéfinir un IFI optimisé pour les besoins de la normalisation européenne, c'ad un EFI.
- 2) Compléter l'analyse par une évaluation de la répétabilité et de la reproductibilité associées à l'EFI.

- 3) Etendre la validité de l'EFI aux types de revêtements et matériaux nouveaux insuffisamment ou pas du tout pris en compte dans l'expérience AIPCR. Le programme prévoit donc la réalisation de mesures de frottement et de texture au moyen des différents appareils disponibles en Belgique sur une sélection des différents types de revêtements représentatifs.

Le projet de norme devra:

- 1) Définir l'EFI, càd par quelle formule on peut passer d'une méthode de mesure à une autre avec indication de la marge d'erreur associée à cette conversion.
- 2) Proposer une procédure d'étalonnage des appareils de mesure de frottement.

VII. Analyse de la base de données de l'expérience internationale (AIPCR 1992)

Rappelons que l'objectif consiste ici, à partir de la base de données de l'expérience AIPCR, à déterminer les valeurs optimales à attribuer aux paramètres qui entrent dans la définition de l'IFI « Indice de Frottement International » proposé dans le rapport de l'expérience AIPCR. Par "valeurs optimales", on entend : qui permettent au sous-ensemble des appareils européens de reproduire l'IFI avec la meilleure précision possible.

VII.1 Sélection des séries de mesures à prendre en compte

Afin que la redéfinition de l'EFI privilégie les appareillages et méthodes de mesure réellement en usage en Europe, on a sélectionné, en accord avec le Comité d'Accompagnement¹, les fichiers suivants² dans la base de données de l'expérience AIPCR. En outre, dans la perspective de l'élaboration d'une norme CEN portant sur les essais dynamiques, on n'a pas retenu les méthodes d'essai statiques.

VII.1.1 Friction

Fichiers retenus:

B1LKD.FR	B2SLP.FR	B5SLP.FR	C5.FR	C9.FR	D2.FR	D5.FR
B1SLP.FR	B3.FR	C1.FR	C6E.FR	C10.FR	D3.FR	D6.FR
B2LKD.FR	B5LKD.FR	C3B.FR	C8.FR	D1E.FR	D4.FR	D8.FR

Fichiers écartés:

A12.FR	Non européen. N'a en outre pas fonctionné correctement.
A13.FR	Non européen.
A14.FR	Pendule. Pas dynamique ni vraie grandeur.
B1ABS.FR	Système ABS. Vitesse réelle de glissement inconnue.
B4ESLP.FR	Bien qu'europpéen, n'a pas été retenu car ses conditions de mesure ne sont pas « pures » (mélange de vitesse et de taux de glissement variable)
B4ESWP.FR	Bien qu'europpéen, n'a pas été retenu car ses conditions de mesure ne sont pas « pures » (mélange de vitesse et de taux de glissement variable, d'où inadéquation du modèle AIPCR)
B5ABS.FR	Système ABS. Vitesse réelle de glissement inconnue.
B6501.FR	Non européen.
B6524.FR	Non européen.

¹ PV de la réunion du Comité d'Accompagnement du 14.11.96.

² Afin de ne pas encombrer l'écriture, on reprend les désignations attribuées aux différentes méthodes d'essai dans le rapport de l'expérience internationale. Le **Tableau 1** et le **Tableau 2** donnent la correspondance entre la désignation et l'appareil, la méthode de mesure et la nationalité de l'équipe de mesure respectivement pour la glissance et la texture.

B6CHP.FR	Non européen.
B6ULT.FR	Non européen.
B7.FR	Pendule. Pas dynamique ni vraie grandeur.
B10E.FR	N'a mesuré que quatre sites.
C3E.FR	Grand nombre de mesures erronées dues à un problème mécanique (voir les coefficients de corrélations médiocres avec les autres SCRIM dans le rapport AIPCR [réf.1, p.105])
C4.FR	Non européen.
D7B.FR	N'a mesuré que 13 sites et les résultats sont en général mal corrélés avec les autres appareils.

Il y a donc au total 21 appareils retenus.

VII.1.2 Texture

Fichiers retenus:

A1.TX	A3E.TX	D2.TX	D5.TX
A2.TX	A4.TX	D3.TX	
A3B.TX ³	A5.TX	D4.TX	

Fichiers écartés:

A8.TX	Essai statique. Norme non européenne.
A12.TX	Non européen. N'a en outre pas fonctionné correctement.
B8.TX	Essai statique.
B11E.TX	Essai statique. Norme non européenne.

Postérieurement à l'expérience AIPCR (notamment sur base des informations acquises à cette occasion), la norme ISO 13473-1 [réf.2] a été élaborée qui définit la manière de calculer la profondeur moyenne de profil à partir des mesures profilométriques. Il convient donc d'en tenir compte ici, d'autant que l'adoption de cette norme est actuellement envisagée par le CEN/TC227/WG5. Or, le CRR est le seul parmi les équipes participantes à avoir enregistré et archivé tous les profils mesurés sous forme digitale, ce qui permet le retraitement de ces derniers par la nouvelle méthode. Bien que pas vraiment dynamique, c'est la version stationnaire (A5) du profilomètre à laser du CRR qui a été retenue car elle est en fait mobile (tractée à faible vitesse par un véhicule) mais surtout car elle est plus précise que la version proprement dynamique (A4).

³ Retenu bien que d'origine non européenne (Canada) car plusieurs exemplaires sont en service en Europe.

VII.1.3 Sites

Rappelons que chaque site de mesure était constitué de deux demi-sections contiguës de 75 m de longueur chacune, la demi-section B suivant la demi-section A. Le site 3 ayant été écarté car mesuré par un seul appareil, on a, au total, 106 demi-sections.

VII.2. Traitement des données

La base de données de l'expérience AIPCR comporte une série de fichiers (en ASCII) d'extension .FR et .TX pour les résultats de mesures de frottement et de texture, respectivement⁴. Le traitement des données retenues a été effectué selon les étapes suivantes.

1. Chaque fichier *.FR a été complété par une colonne intitulée "RELSP" (pour « relative speed ») donnant pour chaque mesure individuelle la vitesse de glissement réelle S par la formule appropriée :

$$S = V * \sin(\alpha) \quad \text{pour les appareils de type CFT, avec } \alpha = \text{angle d'environnement,}$$

$$S = \tau * V \quad \text{pour les appareils de type CFL, avec } \tau = \text{taux de glissement} \\ \text{(pour les mesures à roue bloquée, } \tau = 1)$$

2. Pour chaque demi-section (A et B) indépendamment et pour chaque appareil on a calculé par les moindres carrés la régression linéaire

$$\ln(F_{mij}) = A_{ij} + B_{ij} * S_{mij}$$

avec F le coefficient de frottement mesuré et S la vitesse relative de glissement. Les résultats suivants ont été archivés:

- A_{ij}: Ordonnée à l'origine
- B_{ij}: Coefficient angulaire
- ρ_{ij}: Coefficient de corrélation
- σ_{ij}: Ecart-type résiduel
- n_{ij}: Nombre de points
- m: N° d'ordre de la mesure dans la série
- i: Appareil considéré
- j: Demi-section considérée

⁴ Ces données initiales étant propriété de l'AIPCR, elles n'ont pas été reprises dans notre Annexe 1 (CD-ROM). Seuls y figurent les résultats découlant de nos nouvelles analyses.

Ces régressions ne seront pas utilisées dans la suite des calculs visant à déterminer l'EFI. Elles sont utilisées ici pour vérifier cas par cas la validité du modèle exponentiel "AIPCR". A l'examen visuel du graphique de chaque équation exponentielle

$$F = F_0 * \exp(- S/S_0)$$

avec $F_0 = \exp(A_{ij})$ et $S_0 = - 1/B_{ij}$, on a éliminé les séries de mesures présentant une anomalie, telle que: point erratique, pente nulle ou positive, nombre de données inférieures à trois ou concentrées dans une plage de vitesses trop étroite, etc. Seuls 19 cas semblables ont été repérés (sur plus de 2000 séries au total), à savoir les séries suivantes (la **Figure 1** et la **Figure 2** illustrent respectivement : une série normale et une série aberrante) :

<u>Appareil</u>	<u>Demi-section</u>
B1SLP:	26.2A
B3:	24A, 24B
C10:	63B
D2:	62A
D4:	26.2A, 26.2B, 68A, 81.2B, 81.3A, 81.4B,
D5:	26.2A, 26.2B, 33.3A, 33.3B, 81.1A, 81.2A
D6:	17B
D8:	19B

Tous ces graphiques sont visibles en **Annexe 1**.

- On a associé à chaque fichier *.FR un fichier résultat *.FR' qui reprend la liste des demi-sections avec les paramètres A, B, F_0 , S_0 , ρ , σ et n correspondants. Tous ces résultats, y compris ceux qui ont fait l'objet d'une mise à l'écart, sont tabulés dans l'**Annexe 1**.
- On a complété les fichiers FR' avec des colonnes F_{10} , F_{20} , F_{30} , F_{40} , F_{50} , F_{60} , F_{70} , F_{80} et F_{90} c'ad les F recalculés pour les valeurs de S de 10 à 90 km/h, ceci pour mise en ordre et archivage des résultats et pour la visualisation et l'impression ultérieure si nécessaire des figures correspondant aux séries de mesures assorties de leurs paramètres et courbes de régression. Ces résultats sont tabulés dans l'**Annexe 1**.
- On a retraité toutes les mesures de texture effectuées à l'aide du profilomètre à laser du CRR (appareil A5) pour produire les nouvelles valeurs de MPD (profondeur moyenne de profil) selon la norme ISO 13473-1. Nous symbolisons cette nouvelle variable par T_{A5ISO} . Les valeurs moyennes par demi-sections des anciennes valeurs T_{A5MPD} et T_{A5ISO} sont présentées au **Tableau 3** et la **Figure 3** permet de les comparer. La régression linéaire entre les deux valeurs s'écrit :

$$T_{A5ISO} = 0.04 + 0.78 * T_{A5MPD}$$

avec un coefficient de corrélation de 0.988, un écart-type résiduel et une ordonnée à l'origine pratiquement négligeables. On admettra donc la relation de proportionnalité

$$T_{A5ISO} / T_{A5MPD} = 0.78.$$

6. On a constitué un fichier "TEXTURE" donnant pour chaque demi-section les différentes mesures de textures fournies par les appareils retenus (cfr. supra) plus A5/ISO, à savoir :

A1/RMS	A2/RMS	A2/MPD	A2/TDMA	A3B/TX1	A3B/TX2 ⁵
A3E/RGH1	A42/RMS	A42/MPD ⁶	A5/MPD	D2/MTD	D3/RA
D3/RQ	D4/CSMTD	D5/SMTD	A5/ISO		

Les trois fichiers en italique gras sont repris dans l'Annexe 1.

7. On a constitué 11 fichiers nommés "TabX" donnant pour chaque site/section la valeur de "X" fournie par chaque appareil (une colonne par appareil) avec $X = S_0, F_0, F_{10}, \dots, F_{90}$. N'ont pas été considérées les valeurs de F_S pour lesquelles la vitesse S est en-dehors de la plage de mesure réelle de l'appareil sauf cependant les valeurs qui correspondent à la dizaine immédiatement inférieure et à la dizaine immédiatement supérieure à la plage de mesure. Ces fichiers sont repris dans l'Annexe 1.

8. A partir des fichiers de données initiales (un fichier par appareil comportant 52 pages reprenant chacune les mesures sur deux demi-sections):

- on a calculé pour chaque série de mesures (m) par appareil (i) et par demi-section (j) la moyenne $\langle \ln F \rangle_{ij}$ des valeurs de $\ln(F)$ et la moyenne $\langle S \rangle_{ij}$ des valeurs de S et retenu le nombre n_{ij} de mesures dans la série;
- à partir d'ici, les calculs ont été menés séparément pour l'ensemble des appareils utilisant soit des pneus lisses, soit des pneus sculptés, soit tous sans distinction, ce qui se traduit par la présentation des résultats systématiquement en trois exemplaires notés « G » pour « General », « B » pour « Blank » (lisses) et « RP » pour « Ribbed or patterned » (nervurés ou à dessin complexe).
- pour une cinquantaine de valeurs de S_0 allant de 10 à 500 par progression géométrique, on a calculé l'écart-type résiduel σ_{ij} des séries de mesures $\{F_{mij}\}$ par rapport à la courbe d'équation

$$F = \text{EXP}\{\langle \ln F \rangle_{ij} - (S - \langle S \rangle_{ij})/S_0\}$$

qui correspond, dans le graphique $\ln F$ vs. S , une droite de pente variable et passant par le centre de gravité des points représentatifs des résultats de mesures de l'appareil considéré sur la demi-section considérée. Ces graphiques sont visibles dans l'Annexe 1.

⁵ Pour A3B, on a les moyennes sur les trois vitesses de mesure: 30, 60 et 80 km/h.

⁶ Pour A42, on a attribué à chaque demi-section la moyenne des deux, seule valeur fournie par l'appareil.

- on a calculé pour chaque demi-section (j) l'écart-type résiduel moyen global

$$\langle \sigma \rangle_j = \text{SQRT} \left\{ \frac{\sum_i n_{ij} \sigma_{ij}^2}{\sum_i n_{ij}} \right\}$$

pour chaque valeur de S_o .

pour chaque demi-section (j), on a tracé le graphique de $\langle \sigma \rangle_j$ en fonction de S_o et on a déterminé (par interpolation parabolique entre les trois points les plus bas) la valeur S_{oj}^* de S_o qui minimise $\langle \sigma \rangle_j$ pour la demi-section j (voir l'exemple de la **Figure 4**). Ces graphiques sont visibles dans l'**Annexe 1**.

Cette façon de déterminer une valeur « moyenne » de S_o caractéristique de la demi-section mais commune à tous les appareils prend en compte chaque mesure individuelle avec strictement le même poids. Notamment, l'influence de l'écart d'une mesure donnée par rapport au modèle est la même pour toutes les mesures quel que soit l'appareil considéré, quelle que soit la vitesse de mesure et quel que soit le nombre de mesures effectuées par l'appareil sur le site. Cette méthode diffère de celle qui est décrite dans le rapport de l'expérience AIPCR [réf.1, p.128] laquelle effectue un simple moyennage des S_o issus de l'adaptation par régression du modèle exponentiel à chaque série de mesures d'un appareil donné sur le site considéré, ce qui reviendrait, dans notre schéma de traitement, à prendre pour valeur optimum S_{oj}^* la moyenne des S_{oj} de chaque appareil par la formule :

$$S_{oj}^* = \frac{\sum_i (-1/B_{ij})}{\sum_i n_{ij}}$$

Or, cette méthode introduit deux espèces de biais.

Premièrement, les valeurs élevées de S_o ont plus de poids que les valeurs faibles. A la limite, il suffit d'un cas où le coefficient de frottement ne diminue quasi pas avec la vitesse pour que, la valeur de S_o correspondante tendant vers l'infini, celle-ci détermine la moyenne à elle seule.

Deuxièmement, les valeurs de S_o provenant des appareils qui opèrent à faible vitesse de glissement sont plus sensibles aux erreurs de mesures de F que celles qui sont calculées sur une plage plus large de vitesses. Or, on leur accorde le même poids.

La méthode adoptée ici accorde exactement le même poids à chaque mesure individuelle et la valeur optimum de S_o pour une demi-section donnée est celle qui minimise la somme des carrés de toutes les déviations par rapport aux courbes F(S).

La **Figure 5** donne un exemple d'ajustement d'exponentielles de même pente à un ensemble de séries de mesures réalisées par différents appareils sur une même demi-section.

9. Pour toute les valeurs de vitesse de référence S_R allant de 10 à 90 par pas de 10 km/h, on a effectué les opérations suivantes :

- pour chaque mesure (mesure m , appareil i , demi-section j), calcul et tabulation à part avec la vitesse de glissement correspondante S_{mij} en première colonne de la valeur du coefficient de frottement F_{Rmij} ramené à la vitesse de référence par la formule:

$$F_{Rmij} = \exp\{\ln F_{mij} - (S_R - S_{mij})/S_{0j}^*\}$$

- calcul de la valeur moyenne des F_{Rmij} sur tous les appareils pour chaque demi-section:

$$\langle F_R \rangle_j = \sum_m \sum_i F_{Rmij} / \sum_i n_{ij}$$

Cette valeur correspond à la valeur « idéale » (« golden value ») définie dans le rapport de l'expérience AIPCR [réf.1, p.127]. Pour chaque appareil et pour chaque valeur de S_R , on a dessiné le graphique des F_{Rmij} en fonction de $\langle F_R \rangle_j$ en réunissant toutes les demi-sections sur le même graphique (**Figure 6**) et on a calculé les paramètres A_{Ri} , B_{Ri} , ρ_{Ri} et σ_{Ri} de la régression linéaire :

$$\langle F_R \rangle_j = A_{Ri} + B_{Ri} * F_{Rmij}$$

On a ensuite recherché tous les écarts par rapport à la régression qui dépassent $3\sigma_{Ri}$ pour constater qu'en général, lorsque qu'un tel écart se présente; il signale un décalage systématique important de l'ensemble de la série de mesures auquel il appartient. Il s'agit des séries suivantes (exemple **Figure 7**):

- Des graphiques sans distinction des types de pneus :

C1:	61A, 61B, 82.3A, 82.3B
C5	66A, 66B
C8:	26.1A, 26.1B, 82.3A
C9:	26.1A, 26.1B
C10	26.1A, 26.1B, 50A, 50B
D6:	26.1A, 26.1B, 33.1A, 33.1B, 34A, 34B
D8:	81.3A, 81.3B

- Des graphiques particuliers aux pneus lisses :

C8:	26.1B
D2:	12A, 12B
D6:	26.1A, 34A, 34B, 50B, 53A
D8:	81.3A, 81.3B

- Des graphiques particuliers aux pneus sculptés :

B5LKD: 82.2A, 82.2B, 82.3A, 82.3B

C1: 82.1A, 82.3B

A ce stade de l'analyse, ces données ont été conservées; on verra ultérieurement si leur élimination entraîne une amélioration significative de la précision de l'EFI. Tous ces graphiques sont visibles dans l'Annexe 1, y compris ceux qui ont fait l'objet d'une mise à l'écart dans la suite des calculs.

11. On a dessiné (**Figure 8**) le graphique, en fonction de S_R , des valeurs relatives et absolues de l'écart-type résiduel global σ_R sur l'ensemble des mesures. On constate que les valeurs relatives croissent légèrement avec S_R , ce qui s'explique si l'on remarque que dans le diagramme de $\ln F$ en fonction de S , la prédiction de $\langle F_R \rangle_j$ à partir d'une mesure F_{Rmij} se fait à l'aide de droites parallèles de pente $-1/S_{qj}^*$ ce qui fait que les écarts ne varient pas avec le choix de S_R . Or, les écarts relatifs ne sont autres que les écarts sur $\ln F$, d'où le caractère approximativement constant du σ_R relatif. Quant au σ_R absolu, il diminue lorsque S_R augmente de même qu'à valeur de S_0 égale, l'écart entre deux courbes exponentielles décroissantes dans le diagramme de F en fonction de S décroît lorsque S croît.
12. On a dessiné les graphiques des S_{qj}^* en fonction de la mesure de texture T_{ISO} et ce soit en distinguant les appareils à pneus lisses (**Figure 9**) des appareils à pneus sculptés (**Figure 10**), soit en les réunissant tous (**Figure 11**). On constate à vue que 3 sites fournissent des résultats qui s'écartent sensiblement de l'ensemble, à savoir:
 - Les 2 demi-sections du site n°34
 - Les 8 demi-sections du site n°81
 - Les 2 demi-sections du site n°82.2

Le site 81 est en fait la piste d'atterrissage principale de la base aérienne de la NASA à Moron (Espagne). Une explication pourrait être suggérée par l'observation par les participants que ce revêtement, de macrotecture relativement fine ($0.44 < T_{ISO} < 0.57$ mm), semble comporter des granulats faits d'une roche volcanique extrêmement rugueuse au toucher. Il ne s'agit manifestement pas d'erreurs de mesures ou de conditions de mesure anormales puisque les résultats donnés par tous les appareils contribuent à la détermination des S_{qj}^* . Ces cas particuliers méritent donc d'être gardés en mémoire comme justiciables d'investigations ultérieures. Néanmoins, pour l'heure, nous devons les écarter de l'analyse. Ceci fait, on a calculé les paramètres a_{ISO} , b_{ISO} et σ_{ISO} de la régression⁷:

$$S_{qj}^* = a_{ISO} + b_{ISO} * T_{ISO}$$

(sur base des données de l'appareil A5).

⁷ L'indice ISO rappelle que d'autres mesures de texture figurent dans la base de données.

Le site 82 est situé sur une autre base de la NASA à Rota en Espagne. Ici, l'explication pourrait être que des traces de gomme laissées par les pneus d'avions à l'atterrissage étaient présentes à certains endroits des sections de mesure. Peut-être étaient-elles plus étendues ou plus marquées sur les sections 82.2 que sur les deux autres sections voisines.

Le site 34 est le seul revêtement routier de type ESHP constitué de fines pierrailles très abrasives répandues sur une couche d'accrochage en époxy. Le cas est donc analogue à celui de la piste de Moron, quoique beaucoup moins marqué. En outre, ces sections ne se distinguent que dans le cas des pneus lisses.

Ces 12 demi-sections particulières ont été écartées. Les **Figure 12**, **Figure 13** et **Figure 14** montrent les nouveaux graphiques expurgés et les résultats des régressions actualisées sont donnés dans le **Tableau 4**. Notons que dorénavant c'est la profondeur de texture selon la norme ISO qui devra être prise en compte.

Ici, un fait remarquable apparaît, à savoir qu'aucun des trois sites en enrobés drainants ne se distinguent comme on aurait pu le penser vu le caractère particulier de leur macrotexture. Dans le rapport AIPCR, ils avaient été écartés a priori sans autre justification.

13. Enfin, les traitements n°9 et 10 ont été répétés en utilisant les valeurs (S_{qj}^*) de S_{qj}^* prédites à partir des valeurs de profondeur de texture selon l'ISO, ce qui conduit à des valeurs finales de A_{RI} , B_{RI} , ρ_{RI} et σ_{RI} .

VII.3 Séparation entre types de pneus

Les appareils qui mesurent la glissance à l'aide d'un pneu lisse doivent en principe être plus sensibles à la macrotexture du revêtement testé que ceux qui utilisent un pneu sculpté puisque les premiers demandent à la macrotexture d'effectuer tout le travail de drainage tandis que les seconds assurent eux-mêmes en partie ce drainage grâce aux canaux gravés dans leur bande de roulement. Par conséquent, on doit s'attendre à ce que les paramètres du modèle AIPCR pour un site donné diffèrent de façon significative selon le type de pneu, notamment le paramètre S_o . C'est pourquoi les étapes 8 à 13 ont été répétées en séparant les sous-ensembles d'appareils utilisant soit un pneu lisse (C3B, C5, C6E, C8, C9, C10, D1E, D2, D3, D4, D5, D6, D8), soit un pneu sculpté (B1LKD, B1SLP, B2LKD, B2SLP, B3, B5LKD, B5SLP, C1). Il apparaît en effet que les relations entre S_o et T_{ISO} (**Figure 12** et **Figure 13**) sont significativement différentes (d'un point de vue statistique⁸) selon le type de pneu. Cependant, la corrélation est sensiblement meilleure lorsque l'on considère l'ensemble des appareils sans distinction entre les pneus. L'écart-type résiduel sur S_o est de 20 km/h pour l'ensemble alors qu'il est respectivement de 21 et 29 km/h pour les séries correspondant aux pneus sculptés ou lisses. Notons qu'il n'y a pas nécessairement de paradoxe car les valeurs de S_o diffèrent entre les trois séries puisqu'elles résultent chaque fois d'une nouvelle adaptation optimale par les moindres carrés appliqués à l'ensemble des séries de mesures par demi-section et par appareil.

⁸ Sur base du test de SNEDECOR-FISHER pour la comparaison des pentes.

VII.4 Choix de la vitesse de référence

A ce stade, la prédiction du coefficient de frottement harmonisé, appelons le déjà l'EFI, à partir d'une mesure particulière F_{mij} à la vitesse S_{mij} se fait par la formule⁹

$$EFI_j = A_{Ri} + B_{Ri} * F_{mij} * \exp\{(S_{mij} - S_R)/(a_{ISO} + b_{ISO} * T_{ISO})\}$$

Les différents appareils opèrent dans des plages de vitesses différentes. Or, un appareil capable de mesurer à la vitesse de référence S_R pourra se passer de la connaissance de la macrotecture, l'argument de l'exponentielle ci-dessus s'annulant. En général, l'importance de la prise en compte de la mesure de texture sera d'autant plus grande que la vitesse de mesure S_{mij} sera plus éloignée de la vitesse de référence. Par conséquent, plus l'écart entre la plage de mesure d'un appareil et S_R sera grand plus sensible sera l'influence de toute imprécision de l'appareil x utilisé pour la mesure de texture (du fait des erreurs de mesure sur T_x aussi bien que de l'inexactitude de la formule de prédiction de S_{q^*}) sur l'exactitude de la prédiction de l'EFI par cet appareil. Afin de minimiser cette source d'erreur, il convient donc de choisir une valeur de S_R qui corresponde, dans un certain sens, à la moyenne des vitesses pratiquées par les différents appareils. Cette vitesse de référence optimale sera plus précisément celle qui minimise l'écart-type calculé sur l'ensemble des demi-sections j des différences entre d'une part l'EFI _{x} obtenu en utilisant la prédiction de S_{q^*} à partir d'une autre mesure de texture T_x que la mesure normalisée ISO, les paramètres A_{Ri} et B_{Ri} restant inchangés puisqu'ils font partie de la définition de l'EFI, et d'autre part sa valeur « vraie » $\langle F_R \rangle_j$. En effet, l'EFI étant défini sur base de la mesure nouvellement normalisée T_{ISO} , on peut considérer comme représentatives de la source d'erreurs due à la mesure de la texture, les différences de prédictions de S_{q^*} entre les différentes méthodes de mesure de texture retenues et la mesure ISO. Les fichiers relatifs aux mesures de texture ne donnent que les valeurs moyennes par demi-section. Ni les écarts entre mesures répétées, ni les écarts entre mesures ponctuelles réparties sur la section n'ont été archivés. Par conséquent, la méthode proposée pour déterminer une valeur optimale de la vitesse de référence ne prend pas en compte les erreurs intrinsèques de mesures (notamment la répétabilité), mais seulement l'inexactitude ou l'incertitude sur la formule de prédiction de S_{q^*} .

On a donc calculé l'estimation E_{Rmixj} de $\langle F_R \rangle_j$ à partir de toutes les F_{mij} et pour toutes les vitesses de référence par la formule

$$E_{Rmixj} = A_{Ri} + B_{Ri} * F_{mij} * \exp\{-(S_R - S_{mij})/S_{oxj}^{**}\}$$

dans laquelle

$$S_{oxj}^{**} = a_x + b_x * T_{xj}$$

ce qui donne

$$E_{Rmixj} = A_{Ri} + B_{Ri} * F_{mij} * \exp\{-(S_R - S_{mij})/(a_x + b_x * T_{xj})\}$$

⁹ L'indice j sous EFI rappelle que l'EFI caractérise une demi-section indépendamment de la méthode de mesure utilisée.

On calcule ensuite les moyennes quadratiques absolue et relative des différences entre E_{Rmixj} et $\langle F_R \rangle$ en sommant sur toutes les mesures de friction effectuées par tous les appareils sur tous les sites et en sommant en outre sur toutes les mesures de texture autres que ISO.

$$\sigma_{R,x,abs} = \text{SQRT} \left\{ \sum_x \sum_j \sum_i \sum_m (E_{Rmixj} - E_{Rmi,ISO,j})^2 / \sum_x \sum_j \sum_i \sum_m 1 \right\}$$

$$\sigma_{R,x,rel} = \text{SQRT} \left\{ \sum_x \sum_j \sum_i \sum_m [(E_{Rmixj} - E_{Rmi,ISO,j}) / E_{Rmi,ISO,j}]^2 / \sum_x \sum_j \sum_i \sum_m 1 \right\}$$

Les écarts-types obtenus (**Figure 15** et **Figure 16**) en fonction de la vitesse de référence exhibent un minimum aux environs de $S_R=30\text{km/h}$, valeur que nous proposons dorénavant pour la définition de l'EFI. Dès lors, on peut donner les paramètres de régression permettant à chaque appareil de prédire cet EFI, soit sans distinction du type de pneu (1^{ère} partie du **Tableau 5**), soit selon le type de pneu (2^{ème} partie du **Tableau 5**).

VII.5 Répétabilité de l'EFI.

La répétabilité de chaque méthode de mesure de F a été étudiée et rapportée dans le rapport AIPCR [réf.1, p.45]. Elle portait sur les écarts entre mesures répétées dans les mêmes conditions, notamment à la même vitesse de consigne¹⁰. Ce qui nous occupe ici, c'est la répétabilité de la valeur de l'EFI quelle que soit la vitesse pratiquée puisque la prise en compte de la texture n'est autre qu'une correction de l'influence de la vitesse qui ramène l'EFI à une vitesse de référence fixe. Comme déjà signalé plus haut, on ne possède de mesures répétées que pour la glissance et non pour la texture, laquelle n'a été archivée qu'en valeur moyenne par demi-section. Par conséquent, la répétabilité de l'EFI considérée ici suppose que les mesures de F sont répétées et converties en termes d'EFI en utilisant une même valeur de T mesurée une seule fois sur le site considéré.

On a donc calculé la répétabilité de l'EFI par demi-section par les formules normalisées [réf.4]:

$$\begin{aligned} N &= \sum_i 1 \\ n_{ij} &= \sum_m 1 \\ \mu_{ij} &= \sum_m \text{EFI}_{est,mij} / n_{ij} \\ \sigma_{ij} &= \text{SQRT} \left\{ \sum_m (\text{EFI}_{est,mij} - \mu_{ij})^2 / (n_{ij} - 1) \right\} \\ \sigma_j &= \text{SQRT} \left\{ \sum_i (n_{ij} - 1) \sigma_{ij}^2 / (\sum_i n_{ij} - N) \right\} \\ r_j &= 2\sqrt{2} \sigma_j \end{aligned}$$

¹⁰ Bien que, très souvent, les vitesses étaient relativement différentes de la consigne, ce qui est de nature à influencer les valeurs de répétabilité.

Ces calculs ont été effectués d'une part sur les données expurgées qui servent à la définition de l'EFI et d'autre part sur les données initiales intégrales non-expurgées. Les résultats sont donnés au **Tableau 6**. En moyenne sur l'ensemble des sites, et selon les formules normalisées :

$$J = \sum_j 1$$

$$r = \sum_j r_j / J$$

on obtient une répétabilité de 0.08 à 0.10 selon que l'on considère les données expurgées ou non expurgées. On remarquera que le fait de traiter les appareils en une ou deux classes séparées selon le type de pneu utilisé n'influence pratiquement pas la répétabilité de l'EFI.

VII.6 Reproductibilité de l'EFI

La détermination de l'EFI nécessitant une mesure de glissance et une mesure de texture, en toute rigueur la reproductibilité dépend à la fois des deux types de mesures. Elle est en l'occurrence caractérisée par l'écart-type des différences de valeurs de l'EFI - toutes choses égales - entre paires de systèmes de mesure différents. Par système de mesure, on doit comprendre l'association d'une méthode de mesure de F et d'un appareil qui délivre une mesure de T conforme à la norme ISO. Bien que les deux mesures, friction et texture, puissent être combinées dans un même engin comme dans le cas des SCRIMTEX, les appareils de mesures de F et de T ne doivent pas, en principe, être considérés comme appariés, mais plutôt comme indépendants, c'ad que n'importe quelle méthode de mesure de F peut être associée, pour une campagne de mesures donnée, à n'importe quelle méthode de mesure de T_{ISO}. C'est, en tout cas, une hypothèse qui nous place du côté de la sécurité en maximisant les déviations possibles. Dans ces conditions, la reproductibilité globale de l'EFI à la vitesse de référence optimale S_R=30 km/h devrait être caractérisée par les écarts entre paires de systèmes de mesure (F, T_{ISO}), toutes les combinaisons possibles étant prises en compte. Malheureusement, seul notre appareil est en mesure de donner les valeurs ISO des textures considérées dans l'expérience AIPCR. Par conséquent, il ne nous est pas possible d'effectuer l'estimation de la reproductibilité de l'EFI à partir de couples variés de mesures (F, T_{ISO}). Le calcul ci-dessous ne prend donc en compte que les déviations de la prédiction de l'EFI dues à l'utilisation d'appareils de mesure de friction différents, la mesure de texture étant supposée effectuée avec le même appareil. Dans ces conditions, la reproductibilité de l'EFI se calcule comme suit, selon les formules normalisées [réf. 4]:

$$n_j = \{(\sum_i n_{ij})^2 - \sum_i n_{ij}^2\} / \{(N-1) \sum_i n_{ij}\}$$

$$\mu_j = \sum_i n_{ij} \mu_{ij} / \sum_i n_{ij}$$

$$\sigma_{Rj}^2 = \{(\sum_i n_{ij} (\mu_{ij} - \mu_j)^2) / (N-1) - \sigma_{ij}^2\} / n_j$$

$$R_j = 2\sqrt{2} \text{ SQRT}(\sigma_{Rj}^2 + \sigma_{ij}^2)$$

$$R = \sum_j R_j / J$$

Les résultats sont donnés dans le bas du **Tableau 6**. Suivant que les données sont expurgées ou non-expurgées, on obtient des valeurs de reproductibilité globale de l'EFI comprises entre 0.14 et 0.17. Ici, comme pour la répétabilité, la considération séparée des deux types de pneus n'apporte pas d'amélioration significative.

La reproductibilité de l'EFI peut être appréciée sous un autre angle : celui de l'harmonisation entre les diverses méthodes de mesure. Prenons l'exemple de deux appareils belges ayant participé à l'expérience AIPCR à savoir le SCRIM du LIN et l'Odoliographe du MET et comparons leurs résultats de mesure sur un même demi-site et à la même vitesse. La **Figure 26** et la **Figure 27** montrent la distribution des écarts entre les deux mesures respectivement sur base du coefficient de frottement (CFT) évalué par chaque appareil selon sa méthode propre et sur base du coefficient de frottement harmonisé, c'est-à-dire l'EFI. On constate que le passage à l'EFI non seulement réduit significativement l'écart absolu moyen, en l'occurrence de 0.08 à 0.01 mais l'écart-type est également réduit de 0.08 à 0.05. Cette quasi annulation de l'écart moyen n'est autre que le but recherché par l'harmonisation à savoir : permettre aux différents appareils d'exprimer leur résultats dans une même échelle de coefficient de frottement.

VII.7 Exactitude de l'EFI

Il n'existe pas de valeur absolue, exacte du coefficient de frottement pneu/revêtement vu le grand nombre de facteurs en jeu et la difficulté, voire l'impossibilité pratique de définir, maintenir et reproduire des surfaces et/ou des pneus de référence qui pourraient servir d'étalons stables. En fait, l'EFI est une référence « flottante » susceptible de dériver avec l'ensemble des appareils sur lesquels sa définition est basée. Par conséquent, l'exactitude de la valeur de l'EFI n'a pas de sens. Néanmoins, on pourrait considérer l'exactitude d'un appareil donné comme la précision avec laquelle il approche de la valeur de l'EFI. Dans ce sens, l'exactitude de l'appareil (i) ne serait autre que l'écart-type résiduel σ_i de la régression qui détermine les paramètres A_i et B_i tels que repris dans le **Tableau 5**. En moyenne sur l'ensemble des appareils, on obtient un écart-type résiduel sur la prédiction de l'EFI de 0.050 (en valeur relative : 9.4 %) tous types de pneus confondus et de 0.047 (en valeur relative : 9.0 %) si l'on traite séparément les pneus de type B de ceux de type RP.

VII.8 Sensibilité de l'EFI aux imprécisions sur l'estimation de S_{oj}^*

La prédiction (S_{oj}^{**}) de S_{oj}^* à partir de la profondeur de texture (**Figure 14**) est entachée d'une imprécision qui peut être décrite par l'écart-type résiduel par rapport à la régression

$$S_{oj}^{**} = a + b * ETD_{ISO}$$

lequel vaut $\sigma_{Sp} = 20$ km/h après élimination des données aberrantes. L'imprécision qui en résultera sur la prédiction de l'EFI dépendra de l'écart entre la vitesse de glissement pratiquée et la référence de 30 km/h et aussi du niveau de frottement mesuré. L'écart-type σ_{EFI} de cette source d'erreurs potentielles s'obtient par dérivation de la formule donnant l'EFI par rapport à S_p :

$$\sigma_{\text{EFI}} = \sigma_{\text{Sp}} * B * F * ((30-S)/(S_{\text{oj}}^{**})^2) * \exp((S-30)/S_{\text{oj}}^{**})$$

ou, d'une façon générale, puisque A et B sont voisins respectivement de zéro et de l'unité, en remplaçant σ_{Sp} par sa valeur et en éliminant F pour faire apparaître EFI:

$$\sigma_{\text{EFI}} = 20 * \text{EFI} * \text{ABS}((30-S)/(S_{\text{oj}}^{**})^2)$$

Les valeurs de σ_{EFI} sont tabulées du Tableau 10 au Tableau 15.

VIII. Campagne de mesures complémentaires (SSTC 1997)

Rappelons que l'objectif de cette campagne de mesures est de chercher à étendre la validité de l'IFI au cas des revêtements à texture anisotrope (béton de ciment strié), aux revêtements à texture ouverte (enrobé drainant, revêtement mince à texture ouverte, revêtement mince discontinu, revêtement ultra-mince grenu) et aux matériaux spéciaux (enduit superficiel à haute performance), insuffisamment pris en compte dans l'expérience AIPCR. Ceci nécessite une campagne de mesures sur routes.

VIII.1 Sélection des sites

La sélection de 25 sites de mesure est présentée au **Tableau 7**. L'échantillonnage comporte : 8 revêtements classiques (1 enduisage, 3 bétons bitumineux type I, 4 bétons de ciment dénudés) et 17 revêtements spéciaux (4 enrobés drainants, 1 enduit superficiel à haute performance, 1 béton de ciment drainant, 1 béton bitumineux type II 0/10, 1 béton de ciment dénudé fin 0/7, 5 revêtements minces à texture ouverte, 2 revêtements ultra-minces grenus, 1 revêtement mince discontinu, 1 béton de ciment strié).

VIII.2 Appareillage utilisé

On a utilisé l'Odoliographe du MET et le SCRIMTEX du LIN. Le premier est le même appareil qui participa à l'expérience AIPCR. Le second est un nouvel appareil en principe de caractéristiques et de performances identiques à celles du SCRIM du LIN qui participa à l'expérience AIPCR.

VIII.3 Déroulement de la campagne

Toutes les mesures prévues ont été effectuées sauf sur les sites 15 et 25 devenus impraticables à l'époque de la campagne de mesure. Les mesures de glissance ont été effectuées du 1er au 7 avril 1997. Les mesures de textures ont été effectuées du 8 avril au 21 mai 1997. Les conditions de mesure ont été strictement identiques à celles de l'expérience AIPCR. Notamment, les sections de 150 m ont été divisées en deux et les résultats donnés pour chaque demi-section de 75 m, les mesures de glissance ont été répétées à raison de deux passages à chacune des trois vitesses de consigne, à savoir: 30, 60 et 90 km/h. Les mesures de texture ont été effectuées à raison de quatre points de mesure par demi-section dont les valeurs moyennes ont été rapportées.

VIII.4 Résultats

Les résultats détaillés sont donnés en **Annexe 1**. Les données réduites, notamment les paramètres de la régression exponentielle sur les mesures de friction en fonction de la vitesse de glissement, sont rassemblés dans le **Tableau 8** et le **Tableau 9**.

La **Figure 24** et la **Figure 25** comparent, sur base des mesures effectuées respectivement par le SCRIM et par l'Odoliographe, les corrélations entre le paramètre de vitesse S_{0ij} et la profondeur de texture T_{ISO} obtenues d'une part sur la série de sites AIPCR et d'autre part sur la série de sites SSTC. On constate que pour le SCRIM, les deux séries superposées coïncident sensiblement tant en ce qui concerne la gamme de valeur que leur dispersion. Ce dernier point tend à montrer que malgré leurs natures en général différentes des sites AIPCR, les revêtements considérés dans la sélection SSTC obéissent pratiquement à la même relation entre S_0 et T . Lorsque l'on considère les résultats issus des mesures à l'Odoliographe (**Figure 25**), les séries de points SSTC se superposent relativement bien à la série AIPCR à sept exceptions près correspondant à deux sections complètes, l'une en Béton Drainant, l'autre en SMA et trois demi-sections en SMA, BC dénudé et RUMG. Or, ces deux dernières exceptées, les cinq autres demi-sections appartiennent toutes au site expérimental de Herne où elles ont été mesurées le même jour. Comme d'une part on retrouve bien la corrélation obtenue par les mêmes appareils dans l'expérience AIPCR et que d'autre part ces quelques exceptions n'apparaissent pas dans la série de mesures du SCRIM, il est prudent de ne pas tirer de conclusion définitive de ces cas douteux. D'autre part, on constate que contrairement aux attentes¹¹, les enrobés drainants ne présentent de comportement particulier ni dans les séries AIPCR ni dans les séries SSTC. Enfin, les Enduits Superficiels à Hautes Performances présentent, respectivement d'après le SCRIM et d'après l'Odoliographe, une valeur de S_0 soit excessive, soit insuffisante par rapport à leur valeur de T_{ISO} . Mais dans les deux cas, les points correspondants restent dans les limites de la dispersion constatée lors de l'expérience AIPCR pour l'ensemble des revêtements à l'exclusion des ESHP. Le cas des ESHP n'est donc pas clair puisqu'en général, on ne peut dire s'ils s'écartent dans un sens ou dans l'autre du comportement moyen des autres revêtements.

La comparaison des distributions des écarts entre les mesures des deux appareils d'une part en termes de CFT (**Figure 28**) et d'autre part en termes d'EFI (**Figure 29**) confirme l'efficacité de l'harmonisation puisque le passage à l'EFI réduit à la fois l'écart absolu moyen et l'écart-type.

¹¹ Quoique le rapport AIPCR ne dit rien de ces cas puisqu'ils avaient été écartés d'office des analyses.

IX. Proposition de norme

Rappelons que l'objectif était ici de soumettre un projet au groupe CEN/TC227/WG5 qui comporte la définition de l'EFI ainsi qu'une procédure d'étalonnage.

Le projet a été présenté au groupe pour la première fois lors de la réunion des 21-22 novembre 1997 à Bruxelles. Une version amendée compte-tenu des remarques du groupe a été représentée lors de la réunion des 25-26 mai 1998 et c'est la troisième révision consécutive à cette dernière réunion qui est fournie en Annexe 2 sous forme de document séparé.

Une question soulevée lors de la réunion du CEN/TC227/WG5 en mars 1996 avait plongé le groupe dans la perplexité. Le représentant danois s'étonnait que la courbe exponentielle ne rendait pas compte du phénomène bien connu de l'existence d'un maximum du coefficient de frottement vers les faibles vitesses. Phénomène qui est exploité par exemple par les systèmes ABS. Cela semblait une objection sérieuse et grave qui pouvait rendre caduc le rapport AIPCR. On pouvait y répondre d'une façon directe en exhibant les courbes de régressions ou au moins en donnant les écarts résiduels constatés dans l'application du modèle aux résultats de l'expérience AIPCR. Mais, pour une raison triviale: à savoir qu'il aurait fallu examiner individuellement plus de 2000 graphiques, cette question n'avait pas été clairement résolue par le rapport AIPCR. C'est pourquoi, notre première tâche a été de recalculer systématiquement toutes les régressions en affichant chaque fois le graphique de façon à détecter visuellement toute anomalie. Seuls 19 cas sur les 2000 et quelques régressions présentent soit des écarts excessifs (en fait à peine supérieurs à un sigma), soit une régression exponentielle à croissance positive ou quasi-nulle (Figure 2). En aucun cas, on n'a constaté de signe de l'existence d'un maximum à faible vitesse, ce qui confirme la validité du modèle exponentiel (Figure 1).

En fait, il semble y avoir confusion entre deux conditions d'essais: soit à vitesse variable et taux de glissement constant, ce qui correspond aux conditions dans l'expérience AIPCR, et dans ce cas, le modèle exponentiel s'applique, soit on teste à vitesse constante et taux de glissement variable, et dans ce cas, on observe un maximum non pas à faible vitesse mais à faible taux de glissement relatif, et le modèle exponentiel n'est plus valable; un autre modèle récemment proposé [réf. 3] peut être utilisé (Figure 17 à Figure 22).

Entretiens, nous avons retrouvé une référence datant de 1966 présentant le graphique de la Figure 23 tout-à-fait semblable à la synthèse proposée par la Figure 19.

X. Conclusions

L'analyse de la base de données AIPCR, appliquée aux appareils européens, montre que:

- Le modèle AIPCR basé sur une exponentielle décroissante entre F et S avec une pente indépendante de la méthode de mesure permet de décrire les résultats en bonne approximation.
- Le paramètre S_0 du modèle peut être prédit avec une bonne approximation suffisante pour le application envisagée à partir d'une mesure de texture.
- Cette relation entre S_0 et la macrotecture a pu être établie sur base de la nouvelle définition normalisée ISO de la profondeur moyenne de texture, grâce au retraitement de nos enregistrements de mesures de texture par laser conservés depuis l'expérience AIPCR.
- Il est possible de déterminer le choix de la vitesse de glissement de référence S_R de façon à minimiser l'influence de la correction de vitesse sur l'EFI. Cette vitesse optimale est de 30 km/h.

Les points ci-dessus permettent de redéfinir un EFI qui présente, par rapport à l'IFI proposé par l'AIPCR, les avantages suivants:

- Le rôle de la mesure de texture et donc des erreurs supplémentaires qu'elle peut introduire, a été minimisé de deux façons: premièrement, par un choix rationnel de la vitesse de référence, on minimise l'importance de la correction de l'influence de la vitesse, et, deuxièmement, on a montré qu'il n'est pas nécessaire d'ajouter un terme dépendant de la texture à la définition de l'EFI pour les appareils utilisant des pneus sculptés.
- Ce dernier aspect introduit une simplification, donc une harmonisation plus complète, puisqu'au contraire de l'IFI, la définition de l'EFI est unique quel que soit le type de pneu utilisé par un appareil donné.
- L'EFI tient compte de la définition normalisée postérieurement à celle de l'IFI de la profondeur de texture estimée à partir d'une mesure profilométrique.
- Sa définition est basée sur les données relatives aux appareillages (dynamiques) européens. Cette base de données plus restreinte que celle de l'expérience AIPCR permet donc d'obtenir des valeurs de répétabilité et de reproductibilité mieux représentatives des performances que l'on peut attendre des systèmes de mesure mis en oeuvre en Europe, donnée dont la connaissance est requise par les travaux de normalisation.

La répétabilité de l'EFI a été évaluée à 0.08 en moyenne sur l'ensemble des appareils et des sites mesurés et sa reproductibilité inter-appareils a été évaluée à 0.14. Mais son principal avantage tient à ce qu'il réduit considérablement ou même annule en moyenne les écarts systématiques entre les valeurs de coefficients de frottement délivrées par différents types d'appareils; c'est précisément en cela que le but de l'harmonisation est atteint même si c'est au prix d'une reproductibilité moins bonne qu'entre appareils de même type.

En ce qui concerne l'objectif d'extension de la validité de l'EFI aux types de revêtements non considérés dans l'expérience AIPCR, compte-tenu de la précision de la relation entre le paramètre de vitesse S_0 et la profondeur de texture T_{ISO} , on peut dire qu'à l'exception des revêtements des deux terrains d'aviation américains en Espagne, ni l'analyse des données AIPCR, ni les essais complémentaires effectués en Belgique aucun type de revêtement ne s'écarte significativement et systématiquement dans un sens donné de la relation susdite.

Enfin, cette étude a permis de jeter les bases d'une proposition de norme européenne définissant l'EFI et spécifiant sa procédure de calibration et qui a été soumise dès novembre 1997 au groupe CEN/TC227/WG5 concerné et est en cours de discussion au sein du groupe.

XI. Recommandations

- 1. La démonstration de la faisabilité de la conversion dans une échelle uniforme des différentes mesures de glissance pratiquées en Europe devrait être diffusée et exploitée comme argument décisif justifiant, au niveaux des organismes de normalisation, des gestionnaires des routes, des entrepreneurs de voiries, des fournisseurs de matériaux de construction routière et des fournisseurs de matériel de mesure, l'adoption de la politique dite "d'harmonisation" plutôt que celle de "normalisation". L'harmonisation, moyennant l'application du concept de l'EFI, permet aux utilisateurs de continuer de pratiquer leurs essais et d'alimenter leur banques de données routières sans rupture avec le passé qui signifierait l'abandon d'investissements importants et d'une longue expérience acquise, qu'entraînerait la normalisation d'une méthode unique. Ce qui n'interdit pas de préparer l'élaboration d'une méthode d'essai unique, Européenne ou plus largement internationale, pour dans les quinze ou vingt ans à venir. Le recours à l'EFI aura alors permis d'assurer une transition que l'on pourrait qualifier de démocratique.**
- 2. Ceci implique que les autorités scientifiques, administratives et politiques concernées soutiennent la mise sur pied urgente d'une organisation Européenne pour l'étalonnage régulier des appareils de mesure de la glissance et de la texture comme proposé dans le projet de norme. Cette organisation ne doit pas nécessairement disposer de pistes d'essai de référence ; le projet de norme ne l'exige pas, les comparaisons entre appareils pouvant se dérouler en principe et en général dans n'importe quel pays ou région d'Europe pourvu que les critères édictés dans la norme puissent y être respectés. L'important est qu'il existe une équipe dédiée à plein temps à l'organisation des tests, à l'interprétation des résultats, à la délivrance de certificats, etc., et susceptible de se déplacer sur le lieu qui aura été considéré comme le plus approprié du point de vue pratique et économique pour la rencontre de tel ou tel sous-ensemble (sans doute deux ou trois appareils, la plupart du temps).**

XII. Tableaux

<u>TABLEAU 1</u> - APPAREILS DE MESURE DE FROTTEMENT QUI ONT PARTICIPÉ À L'EXPÉRIENCE AIPCR. SUR FOND GRISÉ: LES APPAREILS EUROPÉENS RETENUS POUR LA REDÉFINITION DE L'EFI.	33
<u>TABLEAU 2</u> - APPAREILS DE MESURE DE TEXTURE QUI ONT PARTICIPÉ À L'EXPÉRIENCE AIPCR. SUR FOND GRISÉ: LES APPAREILS EUROPÉENS RETENUS POUR LA REDÉFINITION DE L'EFI.	35
<u>TABLEAU 3</u> - COMPARAISON ENTRE LES VALEURS DE MPD DÉTERMINÉES LORS DE L'EXPÉRIENCE AIPCR PAR LA MÉTHODE DE TRAITEMENT DU CRR ET LES VALEURS DE MPD CALCULÉES SUR LES MÊMES DONNÉES PAR LA MÉTHODE DE LA NORME ISO ISSUE ULTÉRIEUREMENT.	36
<u>TABLEAU 4</u> - PARAMÈTRES DE LA RÉGRESSION LINÉAIRE $S_{01}^* = A_{ISO} + B_{ISO} * T_{ISO}$	37
<u>TABLEAU 5</u> - PARAMÈTRES DES RÉGRESSIONS PERMETTANT À CHAQUE APPAREIL DE PRÉDIRE L'EFI.	37
<u>TABLEAU 6</u> - RÉPÉTABILITÉ r , ET REPRODUCTIBILITÉ R , DE L'EFI PAR DEMI-SITE J.	38
<u>TABLEAU 7</u> - SITES DES MESURES COMPLÉMENTAIRES EN BELGIQUE.	41
<u>TABLEAU 8</u> - RÉSULTATS DE LA CAMPAGNE DE MESURES COMPLÉMENTAIRES EN BELGIQUE À L'AIDE DU SCRIM DU LIN.42	
<u>TABLEAU 9</u> - RÉSULTATS DE LA CAMPAGNE DE MESURES COMPLÉMENTAIRES EN BELGIQUE À L'AIDE DE L'ODOLIOPHAPHE DU CRR.	43
<u>TABLEAU 10</u> - ECART-TYPE DE L'ERREUR SUR EFI DUE À L'IMPRÉCISION DE LA PRÉDICTION DE S_p À PARTIR DE LA TEXTURE POUR $S_p = 50$ KM/H, CE QUI CORRESPOND À MTD $\cong 0.0$ MM (ABSENCE DE MACROTEXTURE).	44
<u>TABLEAU 11</u> - ECART-TYPE DE L'ERREUR SUR EFI DUE À L'IMPRÉCISION DE LA PRÉDICTION DE S_p À PARTIR DE LA TEXTURE POUR $S_p = 75$ KM/H, CE QUI CORRESPOND À MTD $\cong 0.3$ MM.	44
<u>TABLEAU 12</u> - ECART-TYPE DE L'ERREUR SUR EFI DUE À L'IMPRÉCISION DE LA PRÉDICTION DE S_p À PARTIR DE LA TEXTURE POUR $S_p = 100$ KM/H, CE QUI CORRESPOND À MTD $\cong 0.75$ MM.	45
<u>TABLEAU 13</u> - ECART-TYPE DE L'ERREUR SUR EFI DUE À L'IMPRÉCISION DE LA PRÉDICTION DE S_p À PARTIR DE LA TEXTURE POUR $S_p = 150$ KM/H, CE QUI CORRESPOND À MTD $\cong 1.5$ MM.	45
<u>TABLEAU 14</u> - ECART-TYPE DE L'ERREUR SUR EFI DUE À L'IMPRÉCISION DE LA PRÉDICTION DE S_p À PARTIR DE LA TEXTURE POUR $S_p = 200$ KM/H, CE QUI CORRESPOND À MTD $\cong 2.5$ MM.	46
<u>TABLEAU 15</u> - ECART-TYPE DE L'ERREUR SUR EFI DUE À L'IMPRÉCISION DE LA PRÉDICTION DE S_p À PARTIR DE LA TEXTURE POUR $S_p = 250$ KM/H, CE QUI CORRESPOND À MTD $\cong 3.5$ MM.	46

Tableau 1 - Appareils de mesure de frottement qui ont participé à l'expérience AIPCR. Sur fond grisé: les appareils européens retenus pour la redéfinition de l'EFI.

APPAREIL		TYPE DE MESURE	TYPE DE PNEU (¹)	TAUX DE GLISSEMENT (%) (²)	VITESSE DE MESURE (km/h)
Identifi- fication	Dénomination (Pays)				
A12	ROSAN (USA)	PATIN	LISSE	100	10
A13	DF TESTER (J)	PATIN	LISSE	100	0-80
A14	BRITISH PENDULUM (CH)	PATIN	LISSE	100	10
B1-ABS	STUTTGARTER REIBUNGSMESSER (CH)	GLISSEMENT OPTIMUM	RAINURE P	OPT.	30, 60, 90
B1-EKD	STUTTGARTER REIBUNGSMESSER (CH)	ROUE BLOQUEE	RAINURE P	100	30, 60, 90
B1-SLP	STUTTGARTER REIBUNGSMESSER (CH)	GLISSEMENT IMPOSE	RAINURE P	10	30, 60, 90
B2-EKD	SKIDOMETER B1-A (CH)	ROUE BLOQUEE	RAINURE P	100	30, 60, 90
B2-SLP	SKIDOMETER B1-A (CH)	GLISSEMENT IMPOSE	RAINURE P	20	30, 60, 90
B3	SKIDOMETER B1-11 (CS)	GLISSEMENT IMPOSE	SCULPTE	20	30, 60, 90
B4E-SLP	NORSEMETER OSCAR (N)	GLISSEMENT IMPOSE	LISSE A	20	30, 60, 90
B4E-SWP	NORSEMETER OSCAR (N)	GLISSEMENT VARIABLE	LISSE A	0-90	30, 60, 90
B5-ABS	STUTTGARTER REIBUNGSMESSER (A)	GLISSEMENT OPTIMUM	RAINURE P	OPT.	30, 60, 90
B5-EKD	STUTTGARTER REIBUNGSMESSER (A)	ROUE BLOQUEE	RAINURE P	100	30, 60, 90
B5-SLP	STUTTGARTER REIBUNGSMESSER (A)	GLISSEMENT IMPOSE	RAINURE P	20	30, 60, 90
B6-501	ASTM E-274 TRAILER (USA)	ROUE BLOQUEE	RAINURE A	100	65
B6-524	ASTM E-274 TRAILER (USA)	ROUE BLOQUEE	LISSE A	100	30, 65, 90
B6-CHP	ASTM E-274 TRAILER (USA)	MAXIMUM A SEC	SCULPTE	MAX.	65
B6-ULT	ASTM E-274 TRAILER (USA)	BLOQUE A SEC	LISSE A	100	10
B7	BRITISH PENDULUM (CH)	PATIN	LISSE	100	10

(¹) A = pneu ASTM; P = pneu AIPCR; SCULPTE = divers types de sculptures.

(²) Pour les mesures de CFT, le taux de glissement correspond à l'angle d'environnement donné entre parenthèses.

(suite)

APPAREIL		TYPE DE MESURE	TYPE DE PNEU	TAUX DE GLISSEMENT (%)	VITESSE DE MESURE (km/h)
Identifi- cation	Dénomination (Pays)		(¹)	(²)	
B10E	MUMETER (E)	CFT	SCULPTE	13 (7.5°)	80
C1	SKID RESISTANCE TESTER (B)	ROUTE BLOQUEE	SCULPTE	100	30, 60, 90
C3B	WHEELER SCRIM (B)	CFT	LISSE	34 (20°)	30, 60, 90
C3E	CEDEX SCRIM (E)	CFT	LISSE	34 (20°)	30, 60, 90
C4	KOMATSU SKID TESTER (J)	GLISSEMENT VARIABLE	LISSE A	10-30	30, 50, 60
C5	DW TRAILER (NL)	GLISSEMENT IMPOSE	LISSE P	86	30, 60, 90
C6E	MOPT SCRIM (E)	CFT	LISSE	34 (20°)	30, 60, 90
C8	STRADOGRAPH (DK)	CFT	LISSE P	21 (12°)	30, 60, 90
C9	WALDON ODOLITERAPH (B)	CFT	LISSE P	26 (15°)	30, 50, 90
C10	CRR ODOLITERAPH (B)	CFT	LISSE P	34 (20°)	30, 60, 90
D1E	SCRIM (A)	CFT	LISSE	34 (20°)	30, 60, 90
D2	SCRIM SPOLISA (A)	CFT	LISSE	34 (20°)	30, 60, 90
D3	SCRIM (E)	CFT	LISSE	34 (20°)	30, 60, 90
D4	SUMS (J)	CFT	LISSE	34 (20°)	30, 60, 90
D5	SCRIPTEX (B)	CFT	LISSE	34 (20°)	30, 50, 90
D6	ADHRA LCPC (F)	ROUTE BLOQUEE	LISSE P	100	30, 60, 90
D7B	PETRA (D)	GLISSEMENT VARIABLE	SCULPTE	0-100	30, 60, 90
D8	GRIPTESTER (GB)	GLISSEMENT IMPOSE	LISSE	13	5, 30, 65, 90

(¹) A = pneu ASTM; P = pneu AIPCR; SCULPTE = divers types de sculptures.

(²) Pour les mesures de CFT, le taux de glissement correspond à l'angle d'enivrage donné entre parenthèses.

Tableau 2 - Appareils de mesure de texture qui ont participé à l'expérience AIPCR. Sur fond grisé: les appareils européens retenus pour la redéfinition de l'EFI.

APPAREIL		MESURES	VITESSE
Identi- fica- tion	Dénomination (Pays)		(km/h)
A1	TEXTURE VAN de la FHWA (USA)	RMS	30
A2	PROFILOMETRE MOBILE de VTI (S)	RMS, BTD, IEMA, MPD	35
A3B	IRAN-Automated Road Analyzer (IND)	MPD, RMS	30, 60, 90
A3E	RST-Road Surface Tester d'AIPO (S)	MACRO-, MEGA-Texture	30
A4	PROFILOMETRE MOBILE du CRR (B)	MPD, RMS	18, 36, 72
A5	PROFILOMETRE STATIONNAIRE du CRR (B)	MPD, RMS, IEO	0
A8	TACHE DE SABLE ASTM E-965 (USA)	MTD	0
A12	ROSAN de la FHWA (USA)	MTD (Calculée)	5
B8	DRAINOMETRE (CH)	Temps d'écoulement	0
B11E	DRAINOMETRE (USA)	Temps d'écoulement	0
D2	SCRIM de GSOCTSA (E)	MTD (Calculée)	60
D3	RIGOLASER (E)	RA, IQ, ISC	60
D4	SUNYS (E)	MTD (Calculée)	30
D5	SCHIMTEK (GB)	MTD (Calculée)	30

Tableau 3 - Comparaison entre les valeurs de MPD déterminées lors de l'expérience AIPCR par la méthode de traitement du CRR et les valeurs de MPD calculées sur les mêmes données par la méthode de la norme ISO issue ultérieurement.

SITE	A5/MPD	A5/ISO	SITE	A5/MPD	A5/ISO
1A	2,82	2,27	42A	0,72	0,59
1B	3,46	2,78	42B	0,73	0,61
2A	1,42	1,17	50A	0,73	0,60
2B	1,27	1,14	50B	0,96	0,76
3A	0,88	0,72	51A	0,78	0,64
3B	1,05	0,82	51B	1,05	0,79
4A	0,89	0,74	52A	0,86	0,70
4B	1,02	0,81	52B	0,88	0,72
6A	0,75	0,59	53A	0,65	0,54
6B	0,84	0,65	53B	0,77	0,64
8A	0,57	0,49	56A	1,12	0,97
8B	0,53	0,46	56B	0,89	0,80
9A	2,19	1,66	57A	2,54	2,10
9B	1,44	1,14	57B	2,85	2,25
10A	2,11	1,68	58A	1,23	0,96
10B	1,62	1,22	58B	1,46	1,07
11A	1,00	0,82	59A	0,95	0,76
11B	0,85	0,67	59B	0,87	0,74
12A	2,66	2,11	60A	0,87	0,65
12B	2,76	2,15	60B	0,81	0,64
13A	3,04	2,36	61A	0,72	0,53
13B	3,75	3,10	61B	0,59	0,48
15A	3,58	2,80	62A	1,64	1,50
15B	3,72	2,82	62B	1,84	1,43
17A	1,02	0,76	63A	1,88	1,56
17B	1,92	1,40	63B	2,36	2,04
18A	1,99	1,70	64A	3,35	2,45
18B	1,84	1,47	64B	1,74	1,41
19A	3,25	2,57	65A	0,83	0,62
19B	4,00	3,01	65B	0,87	0,72
21A	1,76	1,45	66A	0,77	0,60
21B	1,90	1,56	66B	0,74	0,62
24A	1,28	0,96	67A	1,23	1,03
24B	1,17	0,97	67B	1,38	1,17
26,1A	0,55	0,48	68A	0,93	0,70
26,1B	0,55	0,50	68B	0,89	0,72
26,2A	2,08	1,90	69A	0,71	0,55
26,2B	2,39	2,12	69B	0,71	0,62
32A	1,94	1,65	70A	2,01	1,68
32B	1,79	1,37	70B	2,12	1,80
33,1	0,63	0,53	81,1A	0,49	0,44
33,2	0,70	0,57	81,1B	0,55	0,47
33,3	0,79	0,64	81,2A	0,61	0,54
33,4	0,78	0,60	81,2B	0,51	0,45
34A	1,24	1,10	81,3A	0,60	0,52
34B	1,15	0,98	81,3B	0,60	0,53
40A	1,39	1,14	81,4A	0,59	0,50
40B	1,31	1,06	81,4B	0,66	0,57
41A	1,61	1,41	82,1	1,21	1,06
41B	1,73	1,55	82,2	0,87	0,78
			82,3	0,99	0,79

Tableau 4 - Paramètres de la régression linéaire $S_{0j} = a_{iso} + b_{iso} * T_{iso}$

	Tous pneus	Pneus lisses	Pneus sculptés
a [km/h]	57	31	85
b [km/h/mm]	56	71	42
ρ	0,88	0,86	0,82
σ abs [km/h]	20	29	20
σ rel [%]	17	24	16

Tableau 5 - Paramètres des régressions permettant à chaque appareil de prédire l'EFI.

App.	n	A	B	ρ	σ_{abs}	σ_{rel}
B1LKD	318	0,1814	0,5896	0,7940	0,0656	0,1143
B1SLP	339	0,1443	0,6666	0,8205	0,0610	0,1185
B2LKD	261	0,3470	0,3402	0,5967	0,0831	0,1453
B2SLP	234	0,0867	0,8420	0,9069	0,0369	0,0717
B3	524	0,1006	0,7798	0,9044	0,0431	0,0793
B5LKD	479	0,1407	0,6837	0,7762	0,0651	0,1167
B5SLP	512	0,0379	0,8946	0,8984	0,0434	0,0786
C1	464	0,1037	0,8859	0,8271	0,0582	0,1062
C3B	252	0,0604	1,0114	0,9321	0,0318	0,0568
C5	526	0,1002	0,7511	0,8634	0,0498	0,0867
C6E	181	0,1145	0,8152	0,8944	0,0372	0,0750
C8	530	0,1712	0,6515	0,8545	0,0491	0,0918
C9	562	0,2908	0,5136	0,7808	0,0563	0,1178
C10	498	0,2585	0,5743	0,8243	0,0551	0,1120
D1E	204	0,1170	0,7538	0,9293	0,0320	0,0604
D2	460	0,1213	0,7912	0,8353	0,0468	0,0882
D3	500	0,0668	0,7910	0,8978	0,0367	0,0759
D4	519	0,0265	1,0165	0,8692	0,0470	0,0865
D5	499	0,0063	0,9917	0,8767	0,0451	0,0813
D6	492	0,2034	0,7000	0,8691	0,0471	0,0959
D8	610	0,1901	0,7792	0,8231	0,0490	0,0971
B1LKD RP	318	0,1448	0,7104	0,8953	0,0479	0,0849
B1SLP RP	339	0,1527	0,6894	0,8379	0,0589	0,1120
B2LKD RP	261	0,2907	0,4947	0,7859	0,0636	0,1059
B2SLP RP	234	0,1228	0,8190	0,8605	0,0450	0,0797
B3 RP	524	0,1361	0,7573	0,8870	0,0459	0,0791
B5LKD RP	479	0,1028	0,8131	0,8930	0,0447	0,0792
B5SLP RP	512	0,0755	0,8652	0,8761	0,0471	0,0813
C1 RP	464	0,0931	0,9846	0,8845	0,0481	0,0852
C3B B	252	0,0344	1,0360	0,9307	0,0329	0,0609
C5 B	526	0,1601	0,6044	0,7363	0,0673	0,1206
C6E B	181	0,0783	0,8556	0,9165	0,0350	0,0743
C8 B	530	0,1335	0,6938	0,8857	0,0458	0,0882
C9 B	562	0,2466	0,5715	0,8400	0,0513	0,1141
C10 B	498	0,2158	0,6258	0,8642	0,0509	0,1097
D1E B	204	0,0792	0,7984	0,9426	0,0307	0,0606
D2 B	460	0,0813	0,8377	0,8555	0,0455	0,0887
D3 B	500	0,0337	0,8218	0,8931	0,0413	0,0852
D4 B	519	0,0123	1,0112	0,8927	0,0426	0,0843
D5 B	499	-0,0137	0,9999	0,9103	0,0385	0,0741
D6 B	492	0,1077	0,8308	0,8985	0,0442	0,0909
D8 B	610	0,1605	0,8117	0,8634	0,0440	0,0907

Tableau 6 - Répétabilité r_j et reproductibilité R_j de l'EFI par demi-site j .

Pneus	Données expurgées				Données non expurgées			
	Sans distinction		Distinction B & RP		Sans distinction		Distinction B & RP	
	r_j	R_j	r_j	R_j	r_j	R_j	r_j	R_j
1A	0,056	0,085	0,056	0,077	0,056	0,085	0,056	0,077
1B	0,062	0,100	0,065	0,094	0,062	0,100	0,065	0,094
2A	0,065	0,131	0,067	0,111	0,065	0,131	0,067	0,111
2B	0,063	0,101	0,065	0,082	0,063	0,101	0,065	0,082
4A	0,097	0,142	0,094	0,139	0,097	0,142	0,094	0,139
4B	0,102	0,140	0,102	0,139	0,102	0,140	0,102	0,139
6A	0,087	0,149	0,091	0,135	0,087	0,149	0,091	0,135
6B	0,096	0,124	0,103	0,116	0,096	0,124	0,103	0,116
8A	0,131	0,252	0,137	0,223	0,131	0,252	0,137	0,223
8B	0,140	0,282	0,146	0,249	0,140	0,282	0,146	0,249
9A	0,048	0,056	0,048	0,053	0,048	0,056	0,048	0,053
9B	0,058	0,122	0,059	0,116	0,058	0,122	0,059	0,116
10A	0,083	0,161	0,087	0,150	0,083	0,161	0,087	0,150
10B	0,095	0,116	0,104	0,119	0,095	0,116	0,104	0,119
11A	0,106	0,229	0,107	0,232	0,106	0,229	0,107	0,232
11B	0,104	0,257	0,093	0,251	0,104	0,257	0,093	0,251
12A	0,070	0,070	0,072	0,072	0,075	0,075	0,077	0,077
12B	0,076	0,076	0,078	0,078	0,075	0,081	0,079	0,090
13A	0,054	0,104	0,055	0,097	0,054	0,099	0,056	0,096
13B	0,066	0,069	0,071	0,071	0,066	0,069	0,071	0,071
15A	0,058	0,118	0,060	0,116	0,058	0,118	0,060	0,116
15B	0,054	0,131	0,057	0,139	0,057	0,128	0,061	0,128
17A	0,092	0,092	0,095	0,123	0,092	0,092	0,095	0,123
17B	0,089	0,107	0,093	0,123	0,095	0,112	0,102	0,137
18A	0,054	0,090	0,055	0,085	0,054	0,087	0,055	0,085
18B	0,055	0,055	0,053	0,053	0,055	0,070	0,054	0,068
19A	0,053	0,053	0,055	0,055	0,054	0,066	0,055	0,062
19B	0,050	0,050	0,051	0,051	0,049	0,099	0,051	0,092
21A	0,054	0,054	0,054	0,054	0,054	0,054	0,055	0,061
21B	0,046	0,046	0,046	0,047	0,047	0,047	0,047	0,049
24A	0,052	0,087	0,053	0,053	0,072	0,098	0,073	0,073
24B	0,048	0,093	0,052	0,052	0,063	0,098	0,067	0,067
26,1A	0,141	0,141	0,112	0,112	0,175	0,175	0,163	0,163
26,1B	0,139	0,139	0,110	0,110	0,171	0,171	0,154	0,154
26,2A	0,083	0,083	0,086	0,086	0,087	0,087	0,089	0,089
26,2B	0,080	0,080	0,084	0,084	0,079	0,079	0,082	0,082
32A	0,059	0,121	0,060	0,120	0,059	0,121	0,060	0,120
32B	0,061	0,095	0,061	0,090	0,061	0,095	0,061	0,090
33,1A	0,132	0,390	0,119	0,382	0,135	0,363	0,123	0,352
33,1B	0,113	0,418	0,099	0,412	0,122	0,391	0,110	0,383
33,2A	0,091	0,242	0,084	0,182	0,091	0,236	0,088	0,173
33,2B	0,095	0,119	0,090	0,090	0,095	0,119	0,090	0,090
33,3A	0,115	0,201	0,117	0,194	0,118	0,197	0,121	0,184
33,3B	0,118	0,196	0,119	0,180	0,121	0,198	0,123	0,187
33,4A	0,100	0,285	0,102	0,270	0,097	0,260	0,101	0,231
33,4B	0,101	0,248	0,101	0,217	0,101	0,248	0,101	0,217

Pneus	Données expurgées				Données non expurgées			
	Sans distinction		Distinction B & RP		Sans distinction		Distinction B & RP	
	r_j	R_j	r_j	R_j	r_j	R_j	r_j	R_j
Site								
34A					0,104	0,105	0,109	0,109
34B					0,102	0,110	0,111	0,111
40A	0,064	0,064	0,066	0,066	0,063	0,064	0,065	0,065
40B	0,067	0,077	0,071	0,076	0,067	0,077	0,071	0,076
41A	0,095	0,095	0,095	0,095	0,093	0,093	0,093	0,093
41B	0,105	0,105	0,106	0,106	0,102	0,102	0,103	0,103
42A	0,099	0,197	0,101	0,162	0,099	0,197	0,101	0,162
42B	0,099	0,219	0,105	0,189	0,099	0,219	0,105	0,189
50A	0,100	0,216	0,099	0,185	0,118	0,197	0,118	0,165
50B	0,106	0,201	0,102	0,174	0,133	0,190	0,132	0,166
51A	0,076	0,154	0,074	0,125	0,076	0,154	0,074	0,125
51B	0,069	0,096	0,069	0,077	0,069	0,096	0,069	0,077
52A	0,069	0,129	0,068	0,101	0,069	0,129	0,068	0,101
52B	0,070	0,114	0,070	0,087	0,070	0,114	0,070	0,087
53A	0,133	0,313	0,125	0,288	0,130	0,300	0,125	0,278
53B	0,145	0,269	0,140	0,247	0,145	0,269	0,140	0,247
56A	0,073	0,181	0,074	0,162	0,073	0,181	0,074	0,162
56B	0,096	0,212	0,096	0,192	0,096	0,212	0,096	0,192
57A	0,050	0,118	0,053	0,132	0,050	0,118	0,053	0,132
57B	0,048	0,086	0,050	0,100	0,048	0,086	0,050	0,100
58A	0,065	0,345	0,066	0,340	0,065	0,345	0,066	0,340
58B	0,070	0,345	0,070	0,345	0,069	0,329	0,070	0,326
59A	0,087	0,191	0,086	0,162	0,087	0,191	0,086	0,162
59B	0,094	0,167	0,094	0,140	0,094	0,167	0,094	0,140
60A	0,083	0,116	0,083	0,089	0,083	0,116	0,083	0,089
60B	0,082	0,113	0,085	0,090	0,082	0,113	0,085	0,090
61A	0,124	0,126	0,120	0,120	0,122	0,128	0,117	0,117
61B	0,139	0,173	0,134	0,136	0,135	0,178	0,131	0,142
62A	0,055	0,210	0,057	0,216	0,063	0,222	0,065	0,221
62B	0,063	0,191	0,066	0,190	0,067	0,198	0,070	0,195
63A	0,064	0,064	0,065	0,065	0,061	0,106	0,062	0,092
63B	0,057	0,057	0,059	0,059	0,058	0,067	0,061	0,061
64A	0,048	0,229	0,051	0,251	0,046	0,206	0,049	0,220
64B	0,056	0,172	0,058	0,181	0,056	0,172	0,058	0,181
65A	0,070	0,070	0,068	0,083	0,070	0,070	0,068	0,083
65B	0,075	0,093	0,076	0,115	0,075	0,093	0,076	0,115
66A	0,067	0,134	0,060	0,094	0,072	0,171	0,074	0,132
66B	0,075	0,146	0,071	0,108	0,081	0,183	0,084	0,145
67A	0,095	0,095	0,098	0,098	0,095	0,095	0,098	0,098
67B	0,064	0,064	0,066	0,066	0,064	0,064	0,066	0,066
68A	0,065	0,182	0,070	0,150	0,094	0,194	0,100	0,163
68B	0,067	0,130	0,072	0,100	0,067	0,130	0,072	0,100
69A	0,090	0,139	0,086	0,110	0,090	0,139	0,086	0,110
69B	0,079	0,166	0,078	0,142	0,079	0,166	0,078	0,142
70A	0,072	0,086	0,075	0,088	0,072	0,086	0,075	0,088
70B	0,076	0,083	0,079	0,085	0,076	0,083	0,079	0,085

Pneus	Données expurgées				Données non expurgées			
	Sans distinction		Distinction B & RP		Sans distinction		Distinction B & RP	
	<i>r_j</i>	<i>R_j</i>	<i>r_j</i>	<i>R_j</i>	<i>r_j</i>	<i>R_j</i>	<i>r_j</i>	<i>R_j</i>
81,1A					0,272	0,393	0,272	0,354
81,1B					0,272	0,411	0,272	0,338
81,2A					0,271	0,316	0,260	0,285
81,2B					0,279	0,412	0,275	0,337
81,3A					0,284	0,487	0,262	0,475
81,3B					0,295	0,560	0,275	0,533
81,4A					0,298	0,460	0,283	0,451
81,4B					0,290	0,499	0,274	0,478
82,1A	0,103	0,182	0,110	0,198	0,112	0,204	0,116	0,228
82,1B	0,111	0,215	0,108	0,223	0,111	0,215	0,108	0,223
82,2A					0,169	0,169	0,156	0,156
82,2B					0,168	0,168	0,155	0,155
82,3A	0,119	0,128	0,118	0,142	0,169	0,176	0,159	0,181
82,3B	0,133	0,133	0,136	0,136	0,187	0,226	0,178	0,228
Moyenne :	0,083	0,148	0,083	0,138	0,103	0,173	0,103	0,161

Tableau 7 - Sites des mesures complémentaires en Belgique.

N° de site	N° de route	Localité	Direction	Section PK début - PK fin	Type de revêtement ⁽²⁾
1	N40	Neupont	Neufchâteau	71.050-70.900	E
2	N947	Dave	Namur	4.600-4.450	BB
3	N495	Geraardsberg	Edingen	2.550-2.700	BB
4	N437	Kruishoutem	Kruishoutem	29.300-29.150	BB
5	N7	Saintes	Halle	5.100-5.300	BC
6	N368	Eernegem	Ichtegem	0.800-0.650	BC
7	N255	Herne	Ninove	6.700-6.850	SMA
8	N255	Herne	Ninove	6.400-6.550	SMA
9	N255	Herne	Ninove	6.000-6.150	BD
10	N255	Herne	Ninove	5.300-5.450	ED
11	N255	Herne	Ninove	4.350-4.500	BC
12	N255	Herne	Ninove	4.000-4.150	BB
13	E411	Beez (viaduc)	Bruxelles	55.800-55.650	ESHP
14	N951	Wépion	Meuse	1.500-1.350	RMTO
15	N90	Floreffe ⁽¹⁾	Charleroi	62.900-62.750	RMTO
16	N5	Fraire	Charleroi	68.800-68.650	ED
17	N5	Philippeville	Couvin	76.400-76.550	BC
18	N5	Couvin	Couvin	91.400-91.550	RMD
19	N99	Couvin	Chimay	26.000-26.150	ED
20	N7	Leuze	Bruxelles	48.700-48.550	RMD
21	N526	Tourpes	Beloeil	4.800-4.950	RUMG
22	N25	Leuven	Namur	1.100-1.250	BC
23	N264	Leuven	Bruxelles	0.200-1.000	BC
24	R23	Leuven	Bruxelles	03.00-0.450	RMTO
25	N264	Leuven ⁽¹⁾	Bruxelles	0.000-0.150	SMA

⁽¹⁾ Etaient impraticables au moment de la campagne de mesure.

⁽²⁾ Code: E = Enduisage, BB = Béton Bitumineux, BC = Béton de Ciment, ED = Enrobé Drainant, SMA = Stone Mastix Asphalt, RUMG = Revêtement Ultra Mince Grenu, RMTO = Revêtement Mince à Texture Ouverte, ESHP = Enduit Superficiel à Haute Performance, RMD = Revêtement mince discontinu. Des descriptions plus détaillées sont disponibles dans l'**Annexe 1**.

Tableau 8 - Résultats de la campagne de mesures complémentaires en Belgique à l'aide du SCRIM du LIN.

Demi-section	T _{ISO} (mm)	S ₀ (km/h)	F ₀	F ₁₀	F ₂₀	F ₃₀
1A	1,73	119,054	0,903	0,830	0,763	0,702
1B	1,48	118,149	0,862	0,792	0,727	0,668
2A	0,74	75,366	0,865	0,758	0,664	0,581
2B	0,70	65,113	0,895	0,767	0,658	0,564
3A	0,82	78,664	0,695	0,612	0,539	0,475
3B	1,07	68,948	0,748	0,647	0,560	0,484
4A	0,58	75,153	0,734	0,643	0,563	0,493
4B	0,68	66,509	0,753	0,648	0,558	0,480
5A	1,06	90,758	0,804	0,720	0,645	0,578
5B	1,24	100,097	0,803	0,727	0,658	0,595
6A	1,30	108,857	0,687	0,627	0,572	0,522
6B	1,32	98,495	0,700	0,633	0,572	0,516
7A	0,99	107,365	0,775	0,706	0,644	0,586
7B	1,01	86,526	0,793	0,707	0,629	0,561
8A	0,96	54,983	0,926	0,772	0,643	0,536
8B	1,08	56,767	0,936	0,785	0,658	0,552
9A	1,75	100,305	0,644	0,583	0,528	0,478
9B	1,44	102,328	0,613	0,556	0,504	0,458
10A	1,54	67,919	0,763	0,659	0,568	0,491
10B	1,72	67,573	0,791	0,682	0,588	0,507
11A	0,78	94,295	0,735	0,661	0,594	0,534
11B	0,71	81,906	0,730	0,646	0,572	0,506
12A	0,87	56,031	0,909	0,760	0,636	0,532
12B	0,78	50,851	0,919	0,755	0,620	0,509
13A	1,09	147,691	0,920	0,860	0,803	0,751
13B	1,12	164,855	0,921	0,867	0,816	0,768
14B	1,53	41,309	0,831	0,652	0,512	0,402
16A	2,33	95,066	0,607	0,546	0,492	0,443
16B	2,62	108,905	0,607	0,554	0,505	0,461
17A	0,60	85,180	0,768	0,682	0,607	0,540
17B	0,53	53,353	0,783	0,649	0,538	0,446
18A	1,08	113,516	0,617	0,565	0,517	0,474
18B	0,97	118,524	0,622	0,571	0,525	0,483
19A	1,80	89,588	0,642	0,574	0,514	0,459
19B	1,90	98,038	0,629	0,568	0,513	0,464
20A	1,00	122,755	0,522	0,482	0,444	0,409
20B	1,10	133,966	0,509	0,472	0,438	0,407
21A	1,32	108,535	0,623	0,568	0,518	0,472
21B	1,00	122,190	0,612	0,564	0,519	0,479
22A	2,10	108,036	0,704	0,642	0,585	0,533
22B	2,10	105,299	0,701	0,637	0,580	0,527
23A	1,16	90,589	0,658	0,589	0,528	0,473
23B	1,00	78,315	0,686	0,604	0,532	0,468
24A	1,68	91,463	0,537	0,481	0,431	0,387
24B	1,55	73,987	0,573	0,500	0,437	0,382

Tableau 9 - Résultats de la campagne de mesures complémentaires en Belgique à l'aide de l'Odoligraphe du CRR.

Demi-section	T _{ISO} (mm)	S ₀ (km/h)	F ₀	F ₁₀	F ₂₀	F ₃₀
1A	1,73	87	0,910	0,812	0,724	0,646
1B	1,48	238	0,863	0,827	0,793	0,761
2A	0,74	106	0,888	0,809	0,736	0,671
2B	0,70	71	0,960	0,834	0,724	0,629
3A	0,82	62	0,759	0,646	0,550	0,468
3B	1,07	56	0,782	0,655	0,548	0,459
4A	0,58	52	0,838	0,692	0,571	0,472
4B	0,68	49	0,845	0,690	0,563	0,460
5A	1,06	181	0,794	0,752	0,711	0,673
5B	1,24	433	0,770	0,753	0,735	0,719
6A	1,30	98	0,674	0,609	0,550	0,497
6B	1,32	103	0,657	0,596	0,542	0,492
7A	0,99	295	0,762	0,736	0,712	0,688
7B	1,01	203	0,794	0,756	0,720	0,685
8A	0,96	377	0,738	0,718	0,700	0,681
8B	1,08	348	0,756	0,734	0,714	0,693
9A	1,75	365	0,610	0,593	0,577	0,562
9B	1,44	277	0,580	0,559	0,539	0,520
10A	1,54	103	0,706	0,641	0,582	0,528
10B	1,72	135	0,704	0,654	0,607	0,564
11A	0,78	185	0,735	0,696	0,659	0,625
12A	0,87	88	0,864	0,771	0,688	0,614
12B	0,78	85	0,815	0,725	0,645	0,574
13A	1,09	33	1,009	0,743	0,548	0,404
13B	1,12	29	1,115	0,791	0,561	0,398
14A	1,46	105	0,849	0,772	0,701	0,638
14B	1,53	69	0,907	0,785	0,679	0,587
16A	2,33	56	0,727	0,608	0,508	0,425
16B	2,62	87	0,650	0,580	0,517	0,461
17A	0,60	72	0,814	0,709	0,617	0,537
17B	0,53	59	0,787	0,665	0,562	0,475
18A	1,08	153	0,716	0,671	0,628	0,589
18B	0,97	169	0,701	0,661	0,623	0,587
19A	1,80	64	0,729	0,624	0,534	0,456
19B	1,90	63	0,721	0,616	0,526	0,449
20A	1,00	140	0,661	0,615	0,573	0,533
20B	1,10	499	0,585	0,573	0,562	0,551
21A	1,32	88	0,667	0,596	0,532	0,475
21B	1,00	87	0,697	0,622	0,554	0,494
22A	2,10	135	0,708	0,657	0,610	0,567
22B	2,10	72	0,740	0,644	0,560	0,487
23A	1,16	130	0,612	0,567	0,525	0,486
23B	1,00	73	0,676	0,590	0,514	0,448
24A	1,68	125	0,515	0,476	0,439	0,405
24B	1,55	95	0,531	0,478	0,430	0,387

Tableau 10 - Ecart-type de l'erreur sur EFI due à l'imprécision de la prédiction de S_{oj} à partir de la texture pour $S_p = 50$ km/h, ce qui correspond à $MTD \cong 0.0$ mm (absence de macrotexture).

S (km/h)	10	20	30	40	50	60	70	80	90
EFI									
0,1	0,02	0,01	0,00	0,01	0,02	0,02	0,03	0,04	0,05
0,2	0,03	0,02	0,00	0,02	0,03	0,05	0,06	0,08	0,10
0,3	0,05	0,02	0,00	0,02	0,05	0,07	0,10	0,12	0,14
0,4	0,06	0,03	0,00	0,03	0,06	0,10	0,13	0,16	0,19
0,5	0,08	0,04	0,00	0,04	0,08	0,12	0,16	0,20	0,24
0,6	0,10	0,05	0,00	0,05	0,10	0,14	0,19	0,24	0,29
0,7	0,11	0,06	0,00	0,06	0,11	0,17	0,22	0,28	0,34
0,8	0,13	0,06	0,00	0,06	0,13	0,19	0,26	0,32	0,38
0,9	0,14	0,07	0,00	0,07	0,14	0,22	0,29	0,36	0,43
1	0,16	0,08	0,00	0,08	0,16	0,24	0,32	0,40	0,48

Tableau 11 - Ecart-type de l'erreur sur EFI due à l'imprécision de la prédiction de S_{oj} à partir de la texture pour $S_p = 75$ km/h, ce qui correspond à $MTD \cong 0.3$ mm.

S (km/h)	10	20	30	40	50	60	70	80	90
EFI									
0,1	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
0,2	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,02	0,03	0,04	0,04
0,3	0,02	0,01	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06
0,4	0,03	0,01	0,00	0,01	0,03	0,04	0,06	0,07	0,09
0,5	0,04	0,02	0,00	0,02	0,04	0,05	0,07	0,09	0,11
0,6	0,04	0,02	0,00	0,02	0,04	0,06	0,09	0,11	0,13
0,7	0,05	0,02	0,00	0,02	0,05	0,07	0,10	0,12	0,15
0,8	0,06	0,03	0,00	0,03	0,06	0,09	0,11	0,14	0,17
0,9	0,06	0,03	0,00	0,03	0,06	0,10	0,13	0,16	0,19
1	0,07	0,04	0,00	0,04	0,07	0,11	0,14	0,18	0,21

Tableau 12 - Ecart-type de l'erreur sur EFI due à l'imprécision de la prédiction de S_{0j} à partir de la texture pour $S_p = 100$ km/h, ce qui correspond à $MTD \cong 0.75$ mm.

S (km/h)	10	20	30	40	50	60	70	80	90
EFI									
0,1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01
0,2	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02
0,3	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	0,04
0,4	0,02	0,01	0,00	0,01	0,02	0,02	0,03	0,04	0,05
0,5	0,02	0,01	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06
0,6	0,02	0,01	0,00	0,01	0,02	0,04	0,05	0,06	0,07
0,7	0,03	0,01	0,00	0,01	0,03	0,04	0,06	0,07	0,08
0,8	0,03	0,02	0,00	0,02	0,03	0,05	0,06	0,08	0,10
0,9	0,04	0,02	0,00	0,02	0,04	0,05	0,07	0,09	0,11
1	0,04	0,02	0,00	0,02	0,04	0,06	0,08	0,10	0,12

Tableau 13 - Ecart-type de l'erreur sur EFI due à l'imprécision de la prédiction de S_{0j} à partir de la texture pour $S_p = 150$ km/h, ce qui correspond à $MTD \cong 1.5$ mm.

S (km/h)	10	20	30	40	50	60	70	80	90
EFI									
0,1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
0,2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01
0,3	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02
0,4	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
0,5	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03
0,6	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	0,03
0,7	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	0,04
0,8	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,02	0,03	0,04	0,04
0,9	0,02	0,01	0,00	0,01	0,02	0,02	0,03	0,04	0,05
1	0,02	0,01	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,04	0,05

Tableau 14 - Ecart-type de l'erreur sur EFI due à l'imprécision de la prédiction de S_{oj} à partir de la texture pour $S_p = 200$ km/h, ce qui correspond à $MTD \cong 2.5$ mm.

S (km/h)	10	20	30	40	50	60	70	80	90
EFI									
0,1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01
0,3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01
0,4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01
0,5	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02
0,6	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
0,7	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
0,8	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02
0,9	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03
1	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	0,03

Tableau 15 - Ecart-type de l'erreur sur EFI due à l'imprécision de la prédiction de S_{oj} à partir de la texture pour $S_p = 250$ km/h, ce qui correspond à $MTD \cong 3.5$ mm.

S (km/h)	10	20	30	40	50	60	70	80	90
EFI									
0,1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
0,4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01
0,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01
0,6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01
0,7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01
0,8	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02
0,9	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02
1	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02

XIII. Figures

FIGURE 1 - EXEMPLE D'APPLICATION DU MODÈLE EXPONENTIEL À UNE SÉRIE DE MESURES DE GLISSANCE À DIFFÉRENTES VITESSES.	48
FIGURE 2 - EXEMPLE DE SÉRIE ABERRANTE REJETÉE.	48
FIGURE 3 - RELATION ENTRE LA PROFONDEUR MOYENNE DE TEXTURE SELON LA NOUVELLE NORME ISO ET SELON LA MÉTHODE CRR.	49
FIGURE 4 - EXEMPLE DE DÉTERMINATION DE LA VALEUR OPTIMALE, COLLECTIVE POUR L'ENSEMBLE DES APPAREILS SUR UN SITE DONNÉ (I), DE LA VALEUR DE S_{Oj} QUI MINIMISE L'ÉCART-TYPE RÉSIDUEL DES MESURES PAR RAPPORT AUX EXPONENTIELLES.	50
FIGURE 5 - EXEMPLE D'AJUSTEMENT D'EXPONENTIELLES DE MÊME PENTE À UNE SÉRIE DE MESURES RÉALISÉES PAR DES APPAREILS DIFFÉRENTS SUR UNE MÊME DEMI-SECTION.	50
FIGURE 6 - EXEMPLE DE RÉGRESSION ENTRE LES MESURES DE FROTTEMENT RAMENÉES À UNE VITESSE DE RÉFÉRENCE COMMUNE (ICI: $SR=40$ KM/H) EN FONCTION DE LA VALEUR MOYENNE DE CES MESURES RAPPORTÉES PAR TOUS LES APPAREILS ("GOLDEN VALUE") POUR UNE DEMI-SECTION DONNÉE.	51
FIGURE 7 - RELATION $\langle FR \rangle$, vs. F_{RMD} COMPORTANT UNE SÉRIE DE RÉSULTATS ABERRANTS SUR UN CERTAIN SITE.	52
FIGURE 8 - ECART-TYPE RÉSIDUEL ABSOLU ET RELATIF DE L'ENSEMBLE DES MESURES DE FROTTEMENT PAR RAPPORT AUX EXPONENTIELLES DE MÊME PENTE COLLECTIVE PAR SITE.	52
FIGURE 9 - RELATION ENTRE LES VALEURS DE S_{Oj}^* AJUSTÉES COLLECTIVEMENT ET LA MESURE DE TEXTURE T_{ISO} POUR LES APPAREILS À PNEUS LISSES.	53
FIGURE 10 - RELATION ENTRE LES VALEURS DE S_{Oj}^* AJUSTÉES COLLECTIVEMENT ET LA MESURE DE TEXTURE T_{ISO} POUR LES PNEUS SCULPTÉS.	53
FIGURE 11 - RELATION ENTRE LES VALEURS DE S_{Oj}^* AJUSTÉES COLLECTIVEMENT ET LA MESURE DE TEXTURE T_{ISO} POUR L'ENSEMBLE DES APPAREILS, QUEL QUE SOIT LE TYPE DE PNEU.	54
FIGURE 12 - RELATION S_{Oj}^* vs. T_{ISO} EXPURGÉE DES RÉSULTATS ABERRANTS (PNEUS LISSES).	54
FIGURE 13 - RELATION S_{Oj}^* vs. T_{ISO} EXPURGÉE DES RÉSULTATS ABERRANTS (PNEUS SCULPTÉS).	55
FIGURE 14 - RELATION S_{Oj}^* vs. T_{ISO} EXPURGÉE DES RÉSULTATS ABERRANTS (TOUS PNEUS).	55
FIGURE 15 - ECART-TYPE DES ERREURS COMMISES SUR L'EFI LORSQUE LA PRÉDICTION DE S_{Oj}^* EST ENTACHÉE D'UNE ERREUR ALÉATOIRE, EN FONCTION DE LA VITESSE DE RÉFÉRENCE CONSIDÉRÉE (FORMULE DE PRÉDICTION DE S_{Oj}^* À PARTIR DE T_{ISO} UNIQUE POUR TOUS LES PNEUS).	56
FIGURE 16 - ECART-TYPE DES ERREURS COMMISES SUR L'EFI LORSQUE LA PRÉDICTION DE S_{Oj}^* EST ENTACHÉE D'UNE ERREUR ALÉATOIRE, EN FONCTION DE LA VITESSE DE RÉFÉRENCE CONSIDÉRÉE (FORMULES DE PRÉDICTION DE S_{Oj}^* DIFFÉRENTE POUR LES DEUX TYPES DE PNEUS).	56
FIGURE 17 - SÉRIES DE MESURES QUI MONTRENT QUE LE COEFFICIENT DE FROTTEMENT DÉPEND DE DEUX VARIABLES INDÉPENDANTES: LA VITESSE DE MESURE ET LE TAUX DE GLISSEMENT D'APRÈS W.B.HORNE CITÉ PAR Z.RADO [RÉF.3].	57
FIGURE 18 - MODÈLES D'ÉQUATIONS REPRÉSENTANT LA VARIATION DU COEFFICIENT DE FROTTEMENT EN FONCTION SOIT DE LA VITESSE (V), SOIT DU TAUX DE GLISSEMENT (τ), SOIT DES DEUX.	58
FIGURE 19 - REPRÉSENTATION TRIDIMENSIONNELLE DU MODÈLE GÉNÉRAL.	59
FIGURE 20 - VOIR LÉGENDE FIGURE 22	60
FIGURE 21 - VOIR LÉGENDE FIGURE 22	60
FIGURE 22 - APPLICATION DU MODÈLE GÉNÉRAL AUX DONNÉES DE LA FIGURE 17	61
FIGURE 23 - REPRÉSENTATION PROPOSÉE PAR H. W.KUMMER EN 1966 (D'APRÈS [RÉF. 4]).	61
FIGURE 24 - COMPARAISON DES DIAGRAMMES S_{Oj} vs. T_{ISO} OBTENUS SUR LES SITES AIPCR ET SSTC D'APRÈS LES MESURES DU SCRIM.	62
FIGURE 25 - COMPARAISON DES DIAGRAMMES S_{Oj} vs. T_{ISO} OBTENUS SUR LES SITES AIPCR ET SSTC D'APRÈS LES MESURES DE L'ODOLIOGRAPHE.	63
FIGURE 26 - DISTRIBUTION DES DIFFÉRENCES DE VALEURS DE CFT MESURÉES SUR UN MÊME DEMI-SITE ET UNE MÊME VITESSE PAR LE SCRIM ET PAR L'ODOLIOGRAPHE DANS L'EXPÉRIENCE AIPCR.	64
FIGURE 27 - DISTRIBUTION DES ÉCARTS ENTRE MESURES CONVERTIES EN EFI DU SCRIM ET DE L'ODOLIOGRAPHE DANS L'EXPÉRIENCE AIPCR.	64
FIGURE 28 - DISTRIBUTION DES ÉCARTS ENTRE VALEURS DE CFT MESURÉES PAR LE SCRIM ET L'ODOLIOGRAPHE DANS LA CAMPAGNE DE 1997 SUR UN MÊME DEMI-SITE ET À UNE MÊME VITESSE.	65
FIGURE 29 - DISTRIBUTION DES ÉCARTS ENTRE VALEURS DE EFI DONNÉES PAR LE SCRIM ET L'ODOLIOGRAPHE DANS LA CAMPAGNE DE MESURES DE 1997.	65

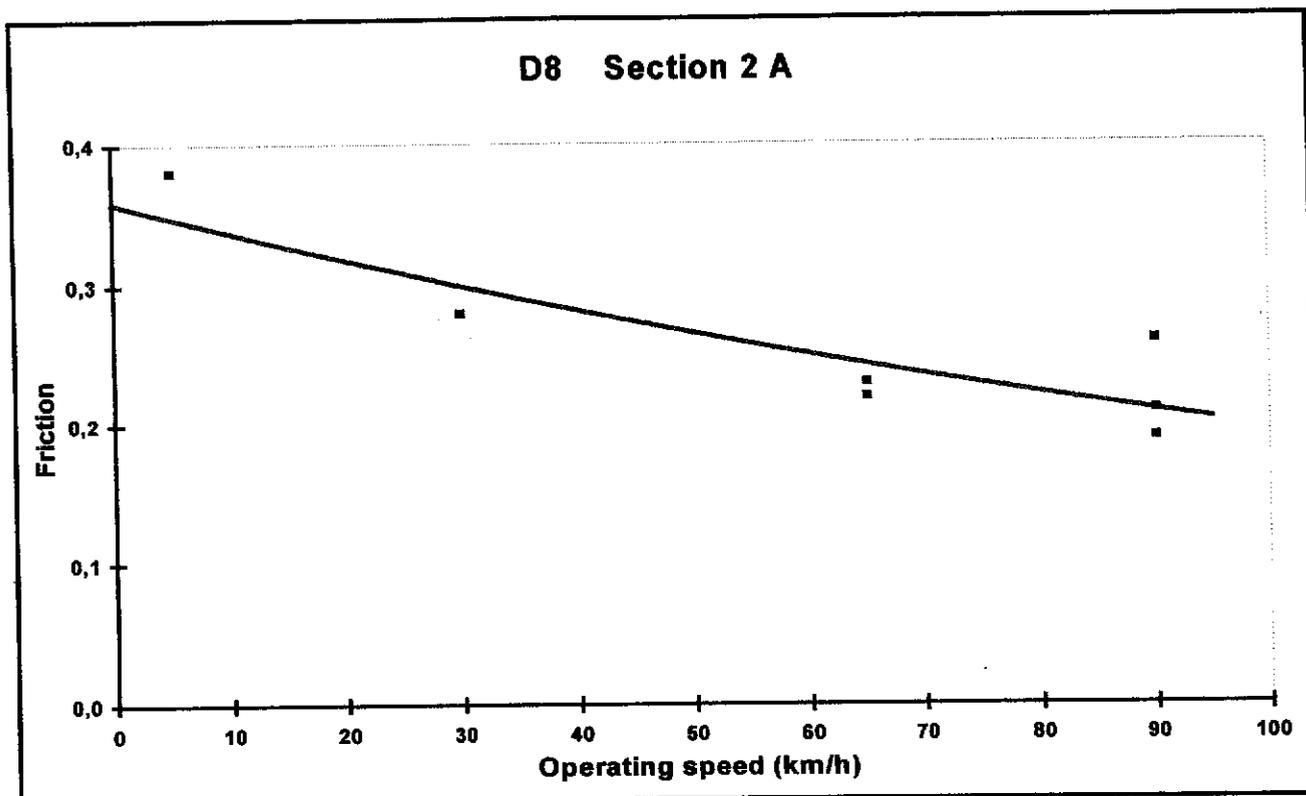


Figure 1 - Exemple d'application du modèle exponentiel à une série de mesures de glissance à différentes vitesses.

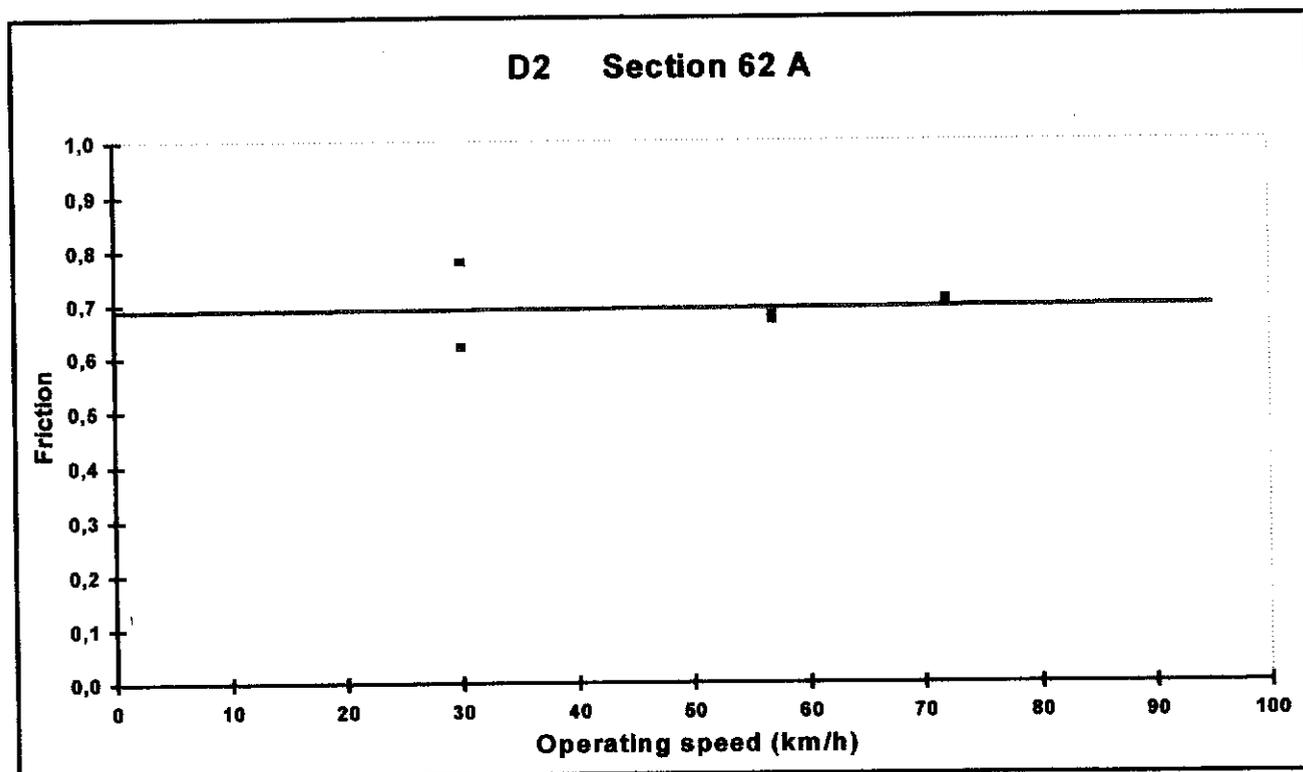


Figure 2 - Exemple de série aberrante rejetée.

Correlation between A5/MPD & A5/ISO

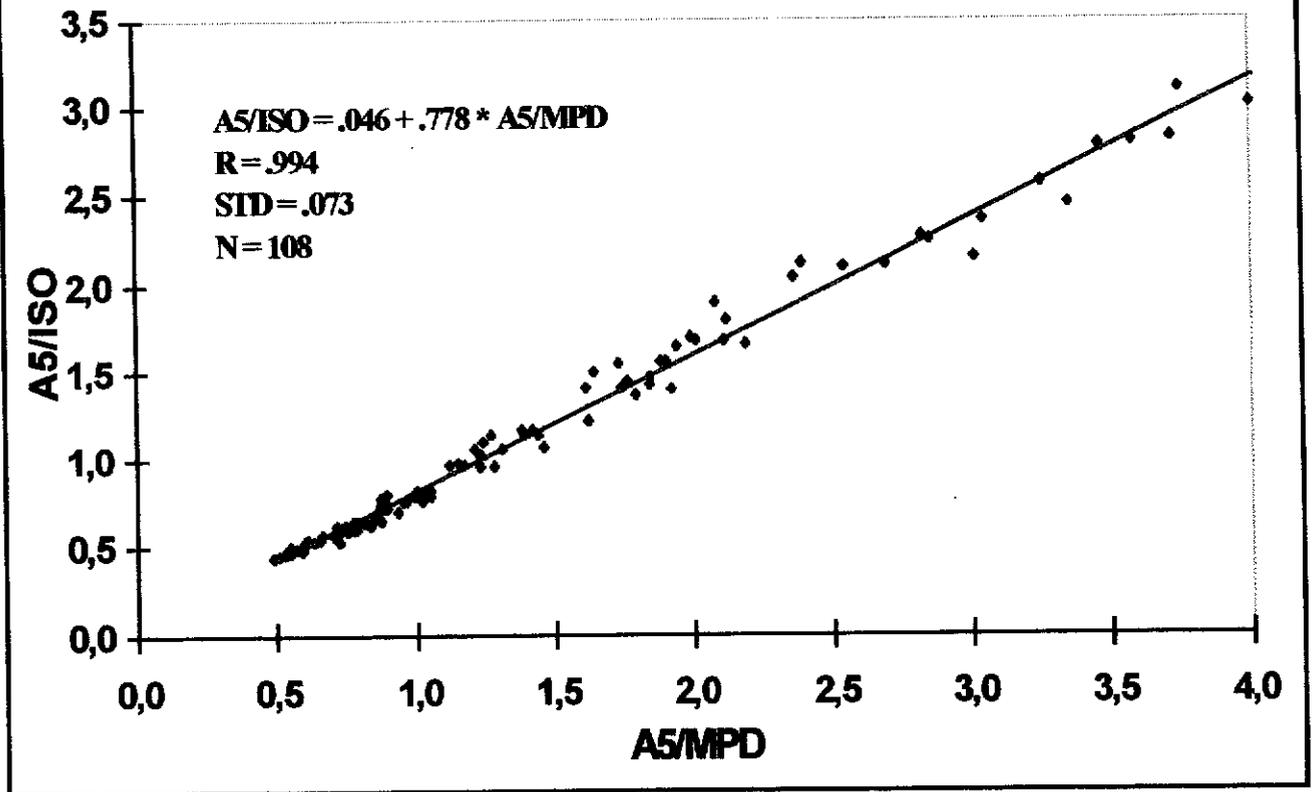


Figure 3 - Relation entre la Profondeur Moyenne de Texture selon la nouvelle norme ISO et selon la méthode CRR.

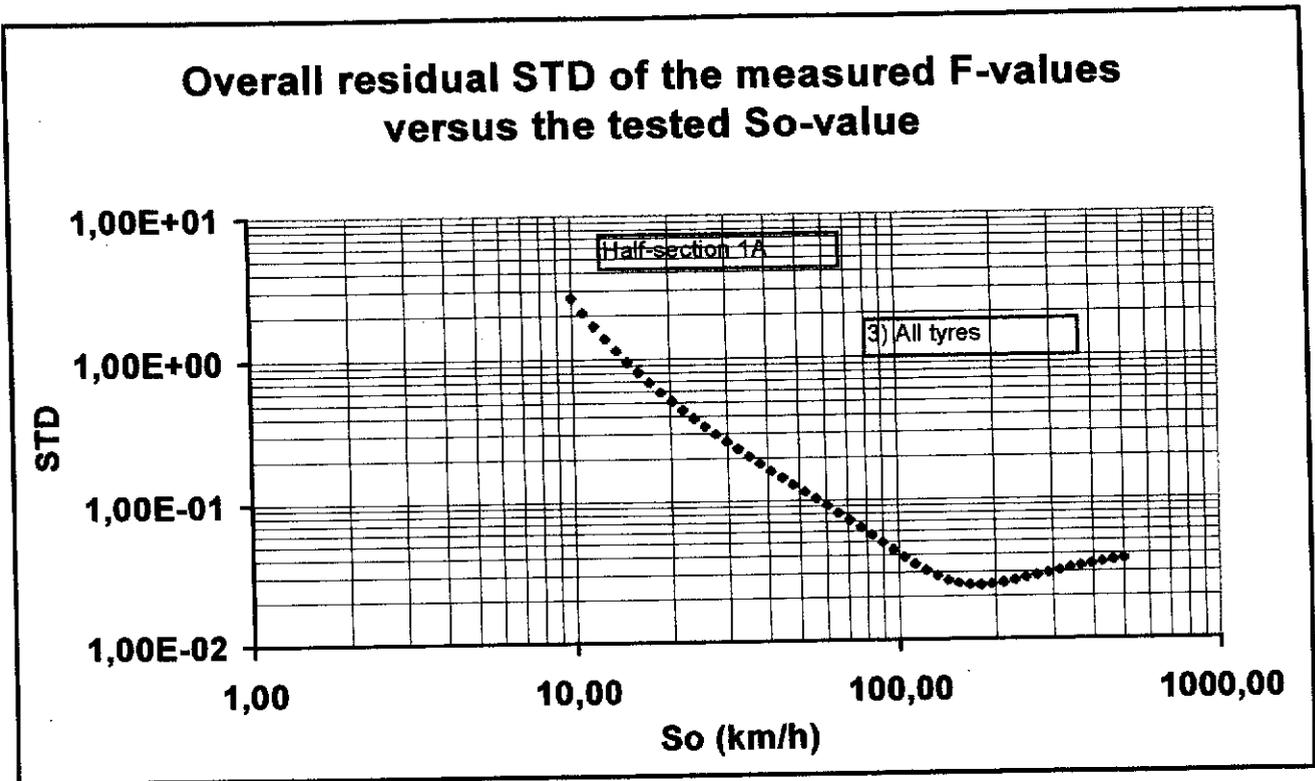


Figure 4 - Exemple de détermination de la valeur optimale, collective pour l'ensemble des appareils sur un site donné (j), de la valeur de S_{0j} qui minimise l'écart-type résiduel des mesures par rapport aux exponentielles.

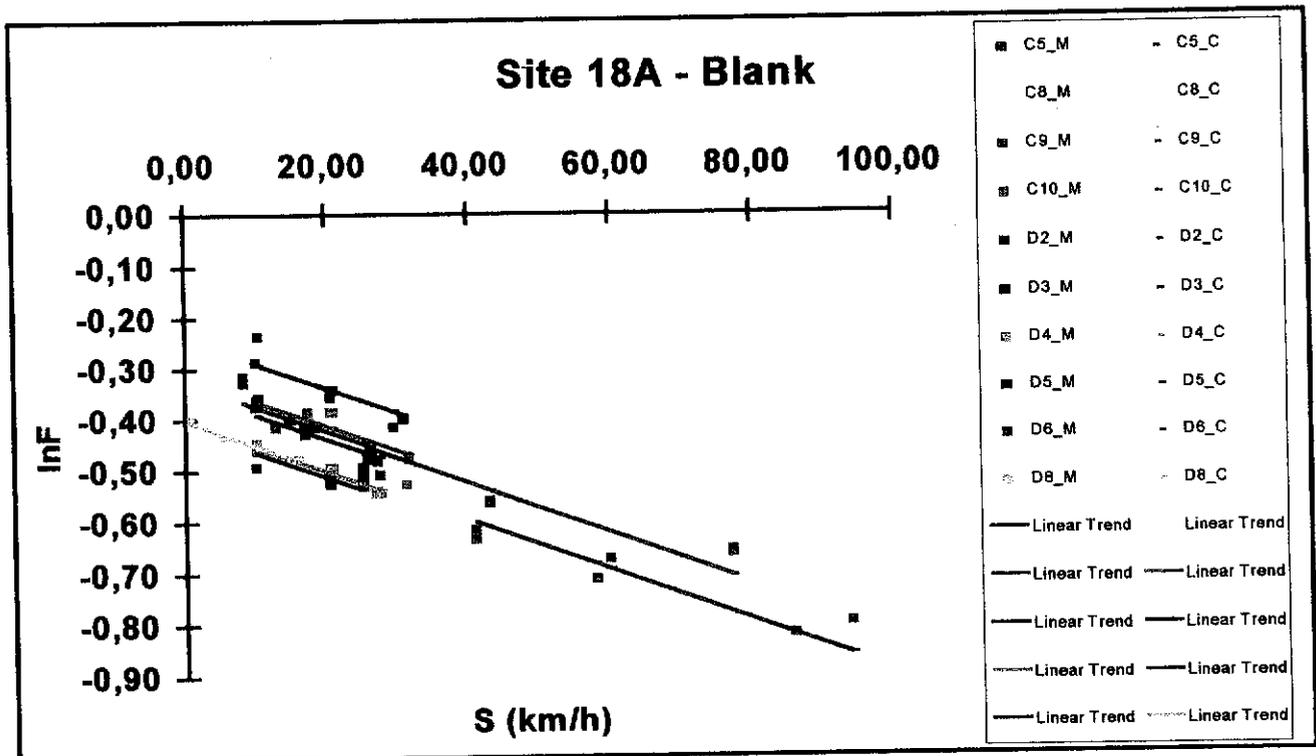


Figure 5 - Exemple d'ajustement d'exponentielles de même pente à une série de mesures réalisées par des appareils différents sur une même demi-section.

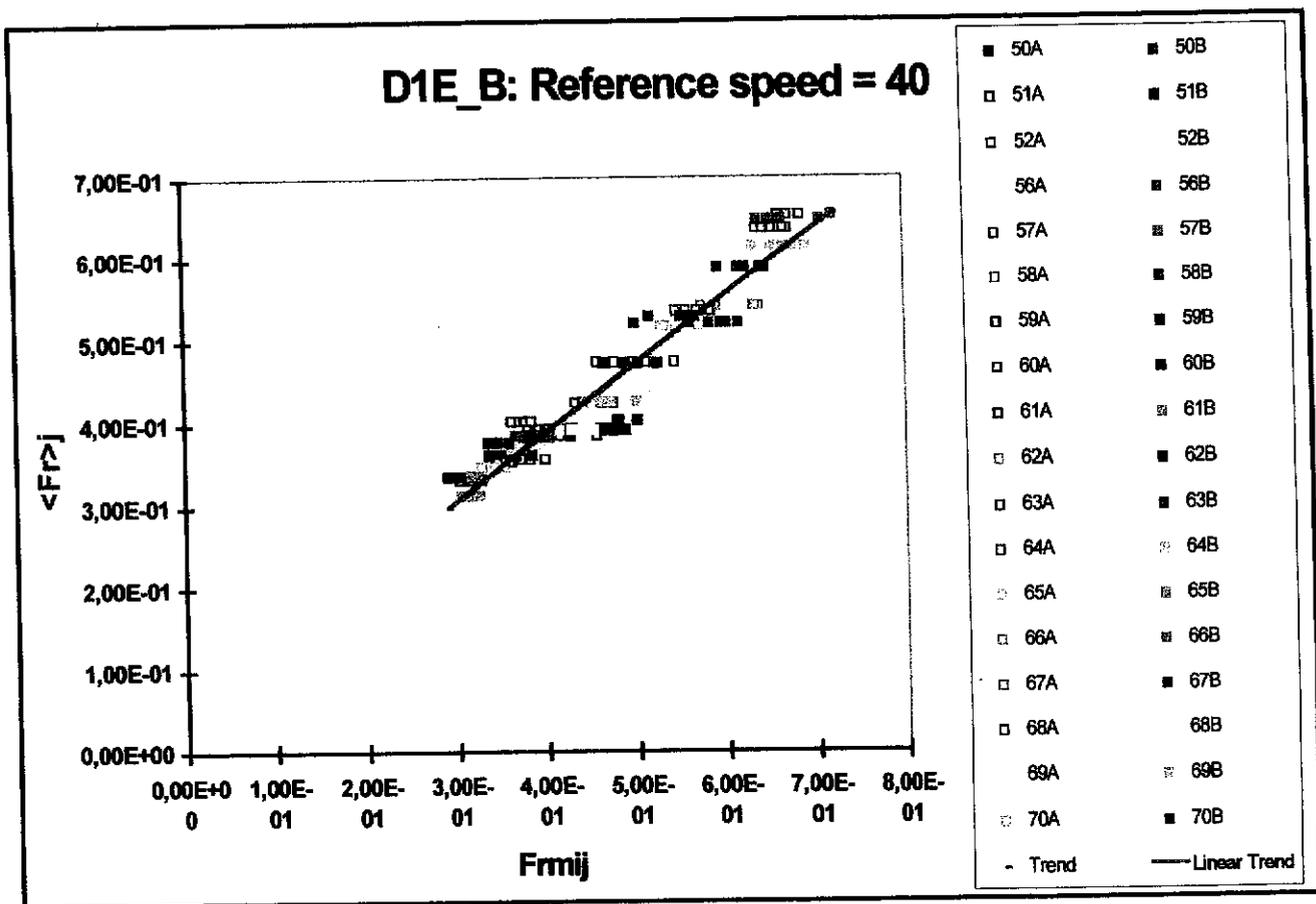


Figure 6 - Exemple de régression entre les mesures de frottement ramenées à une vitesse de référence commune (ici: $S_R=40$ km/h) en fonction de la valeur moyenne de ces mesures rapportées par tous les appareils ("Golden value") pour une demi-section donnée.

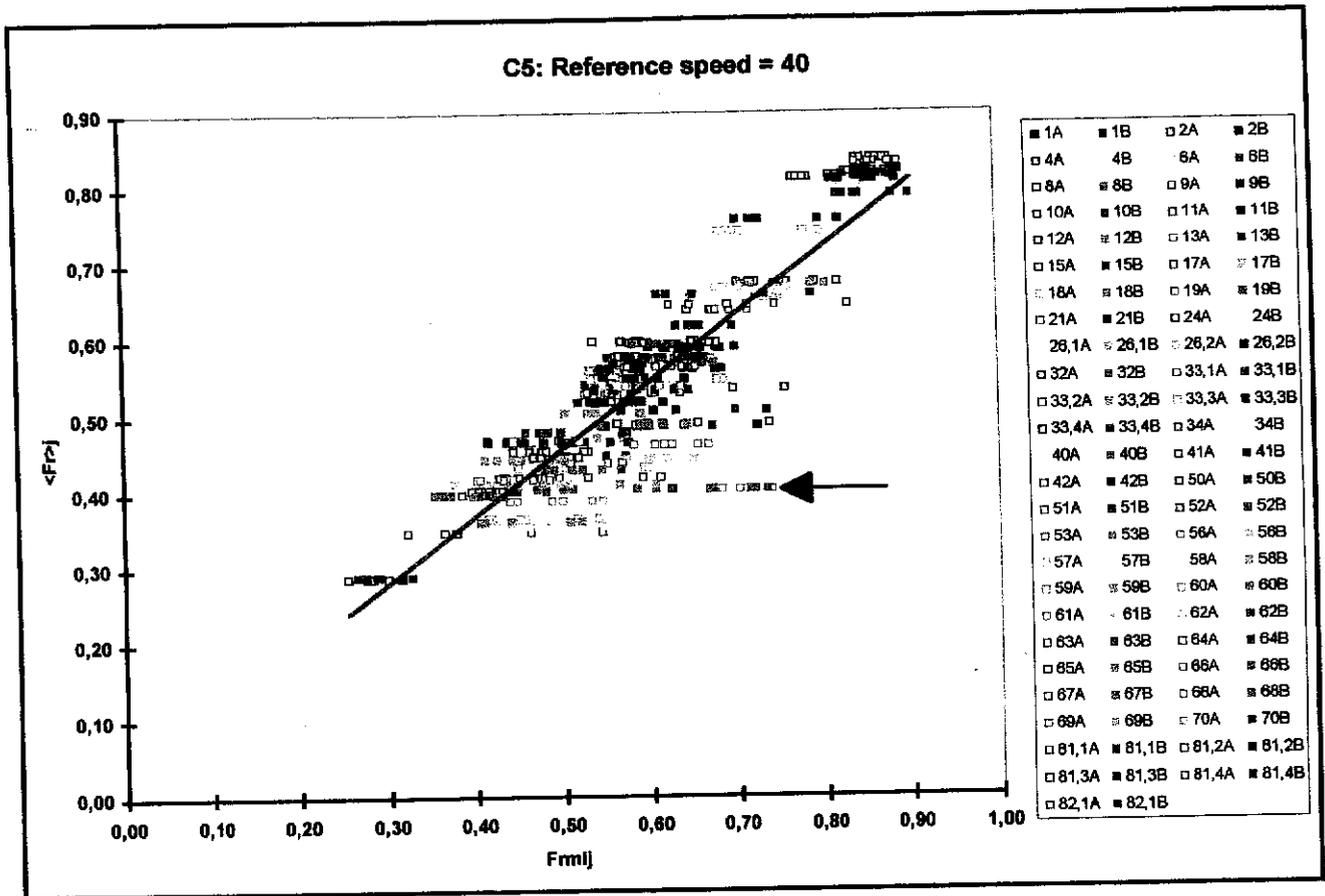


Figure 7 - Relation $\langle F_R \rangle$ vs. F_{Rij} comportant une série de résultats aberrants sur un certain site.

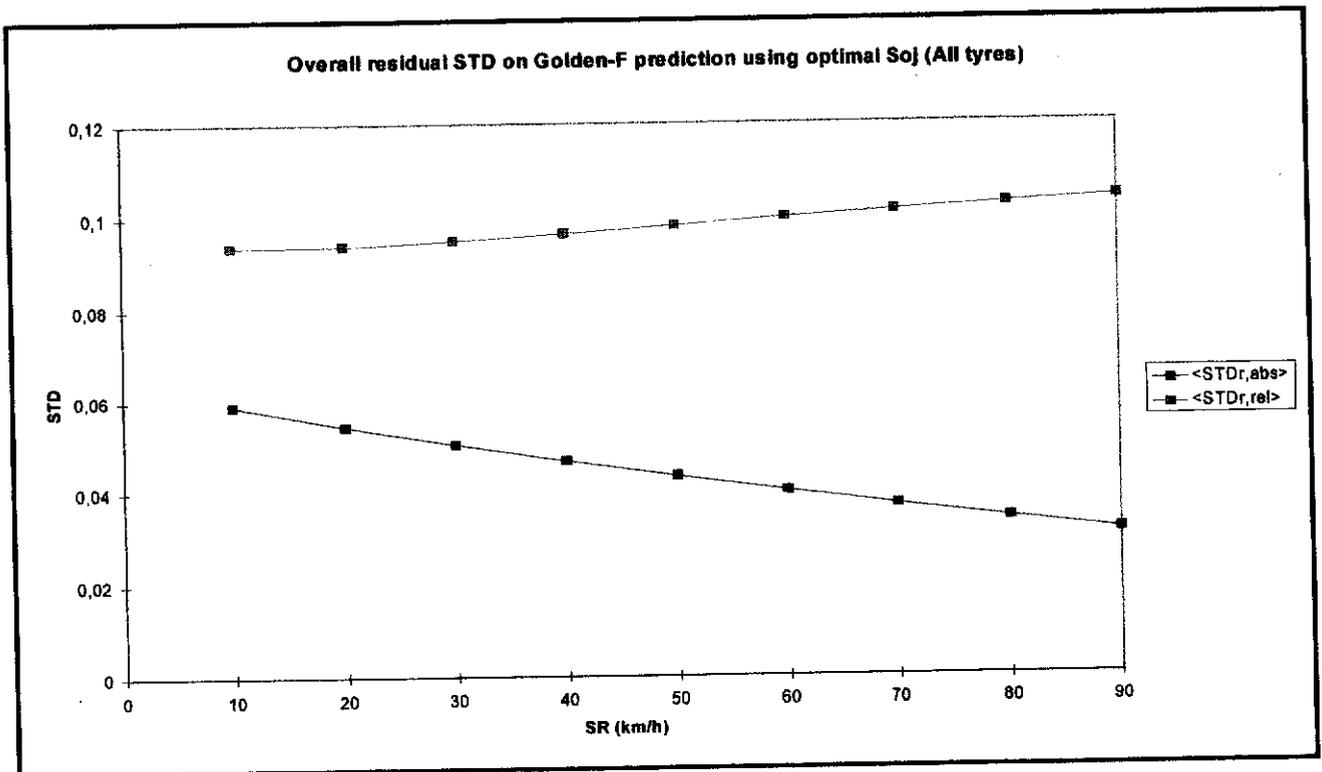


Figure 8 - Ecart-type résiduel absolu et relatif de l'ensemble des mesures de frottement par rapport aux exponentielles de même pente collective par site.

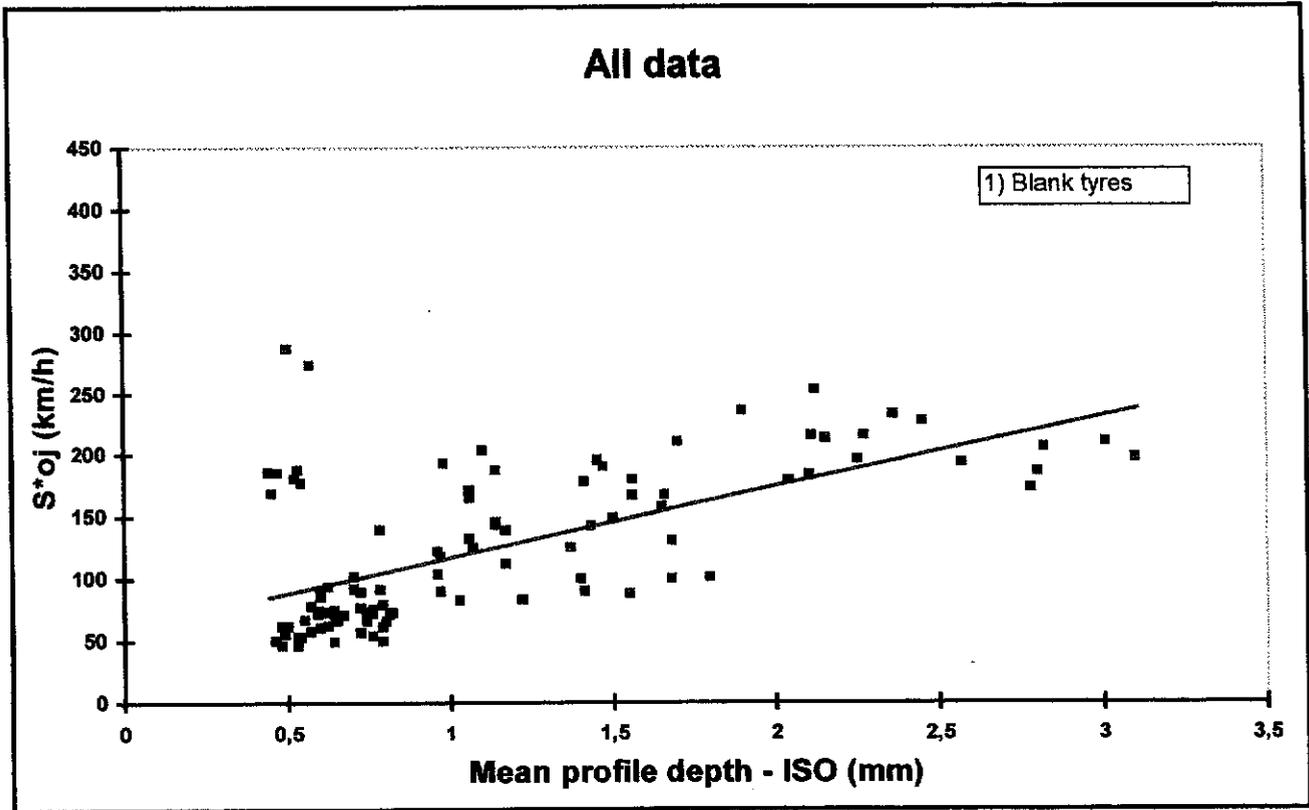


Figure 9 - Relation entre les valeurs de S_{oj}^* ajustées collectivement et la mesure de texture T_{ISO} pour les appareils à pneus lisses.

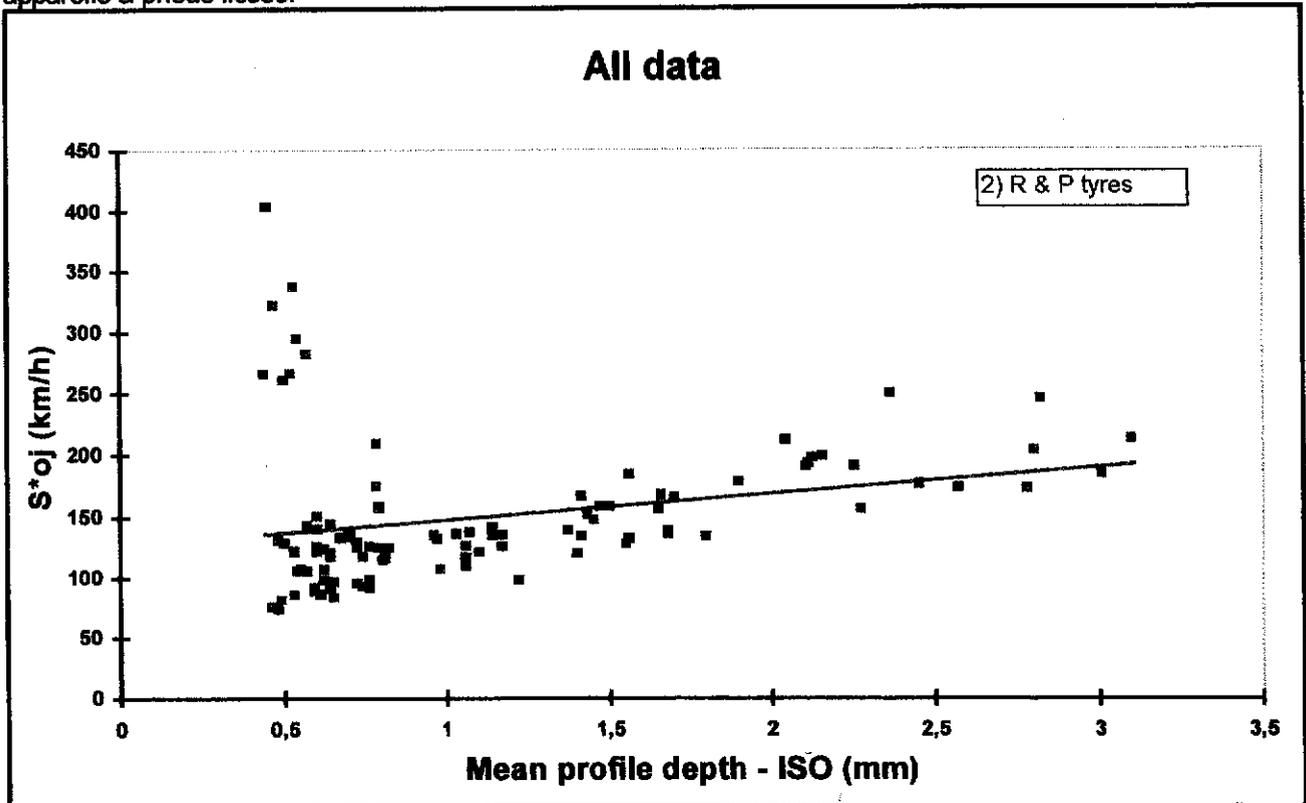


Figure 10 - Relation entre les valeurs de S_{oj}^* ajustées collectivement et la mesure de texture T_{ISO} pour les pneus sculptés.

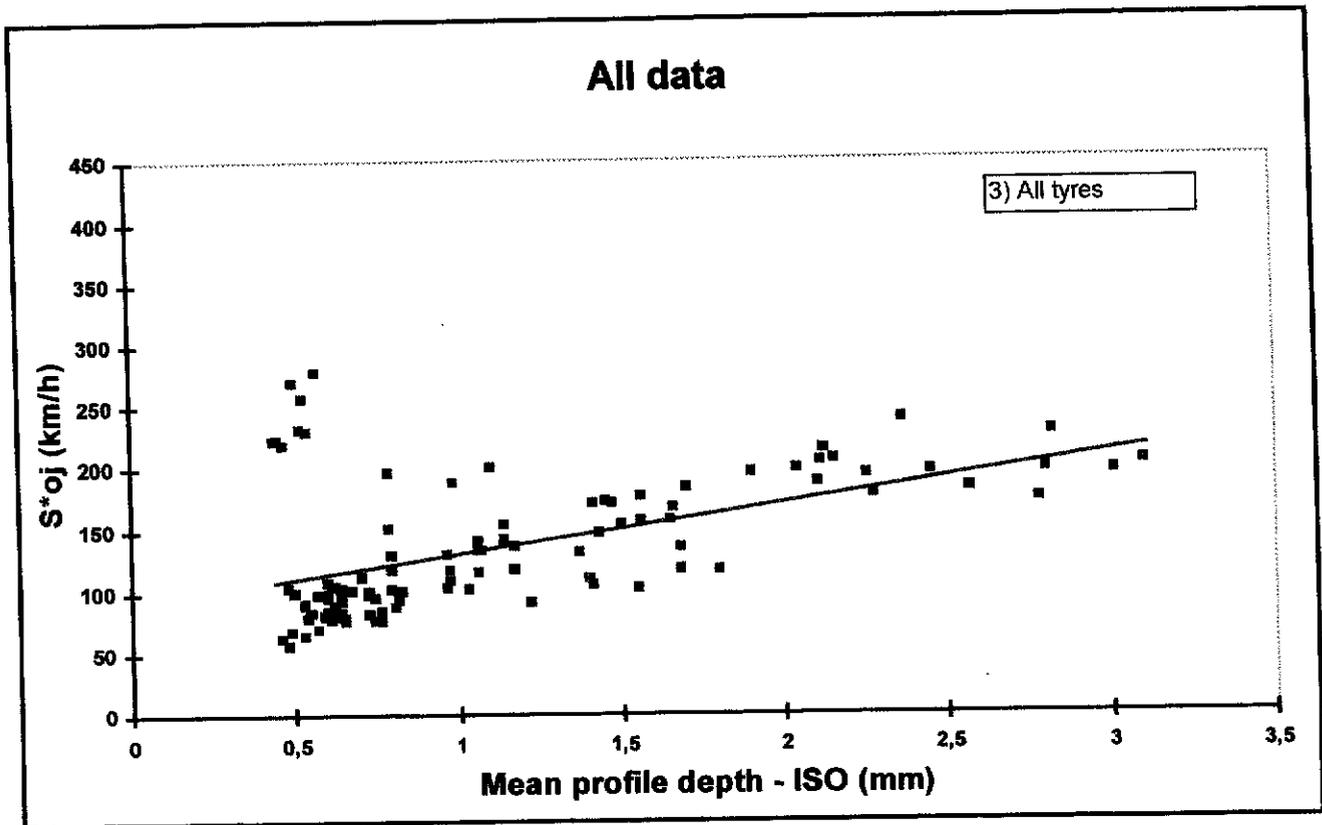


Figure 11 - Relation entre les valeurs de S_{oj}^* ajustées collectivement et la mesure de texture T_{ISO} pour l'ensemble des appareils, quel que soit le type de pneu.

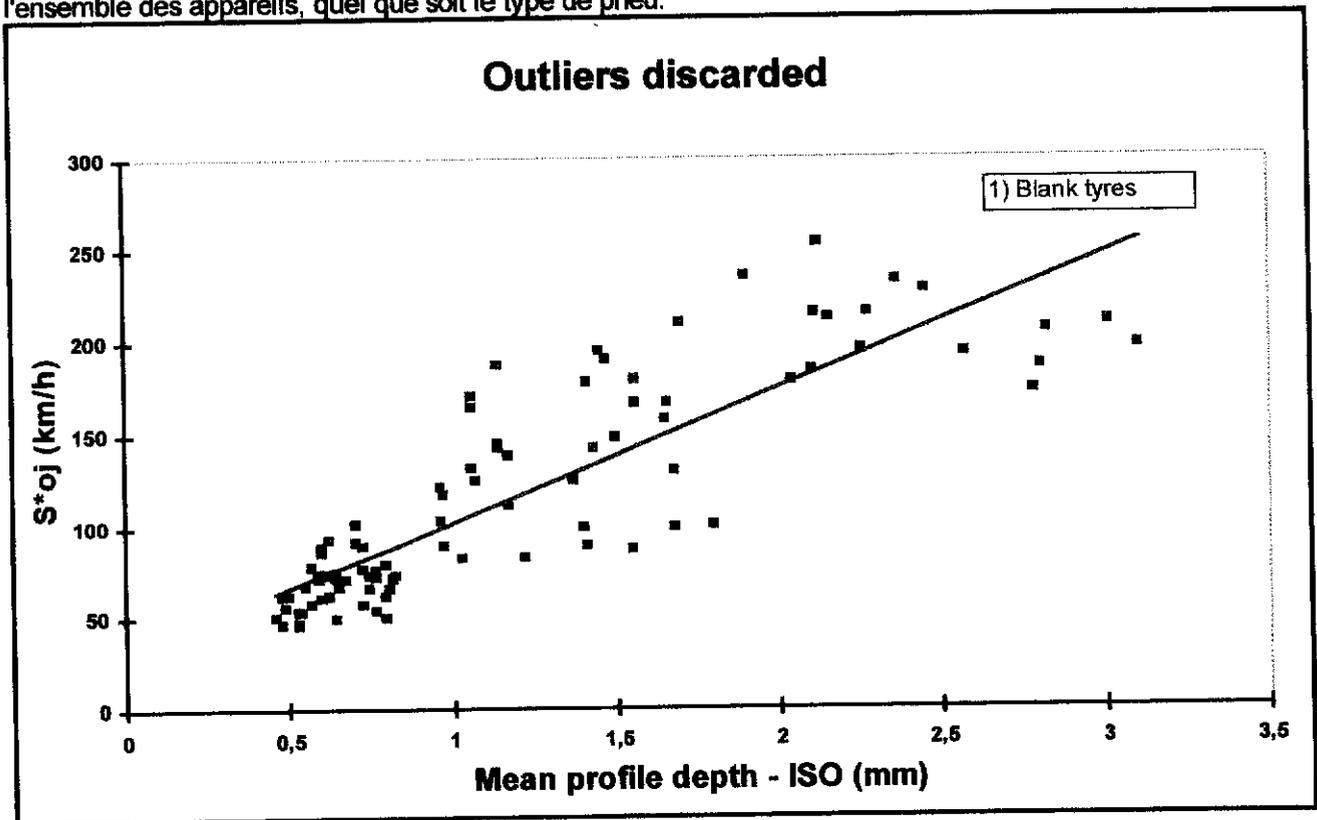


Figure 12 - Relation S_{oj}^* vs. T_{ISO} expurgée des résultats aberrants (pneus lisses).

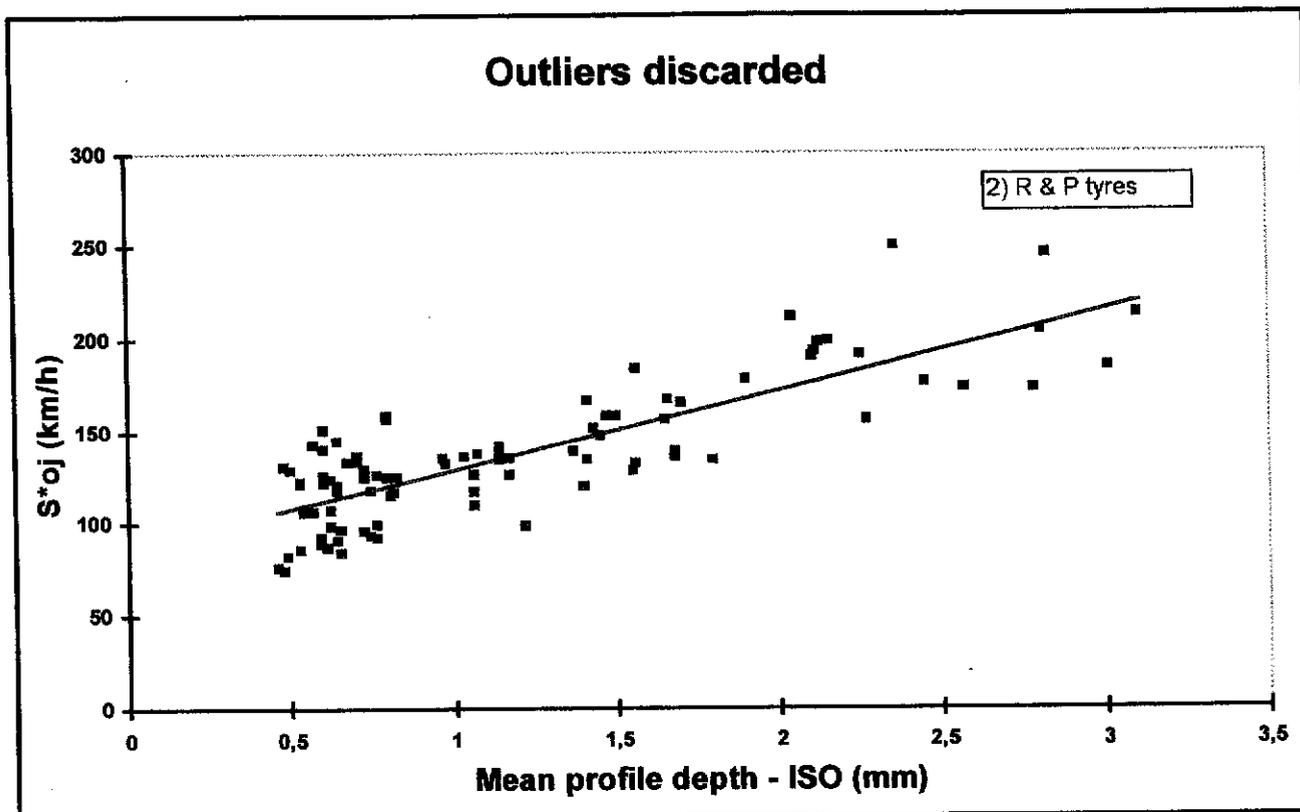


Figure 13 - Relation S_{oj}^* vs. T_{ISO} expurgée des résultats aberrants (pneus sculptés).

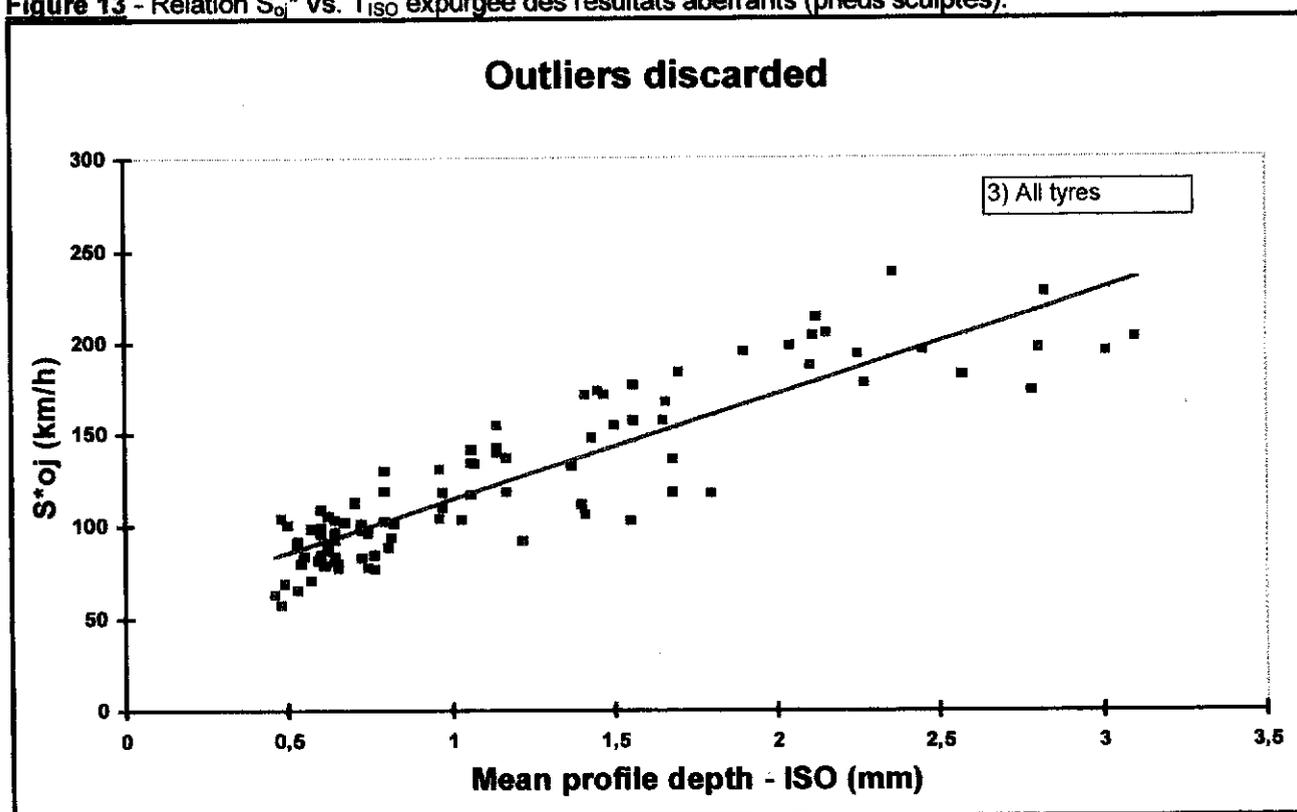


Figure 14 - Relation S_{oj}^* vs. T_{ISO} expurgée des résultats aberrants (tous pneus).

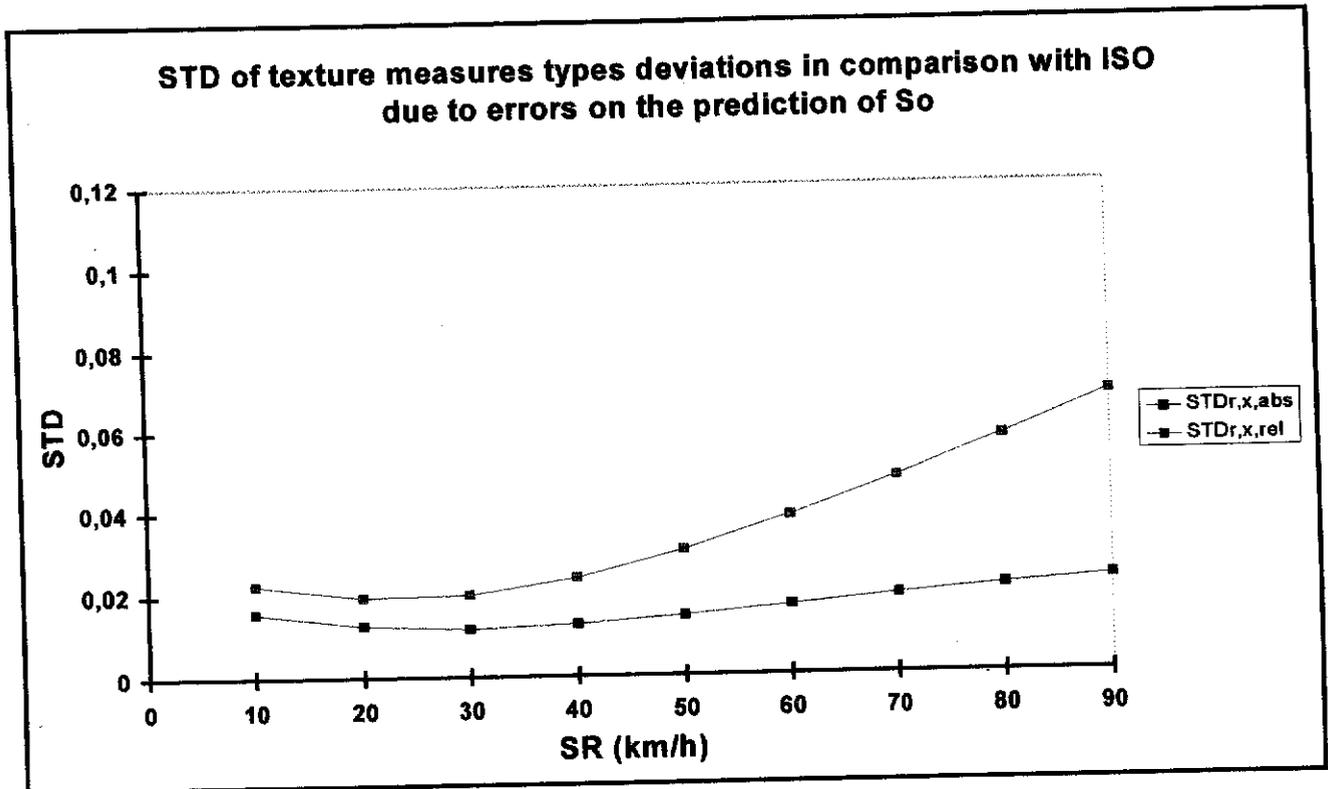


Figure 15 - Ecart-type des erreurs commises sur l'EFI lorsque la prédiction de S_{oj}^* est entachée d'une erreur aléatoire, en fonction de la vitesse de référence considérée (formule de prédiction de S_{oj}^* à partir de T_{ISO} unique pour tous les pneus).

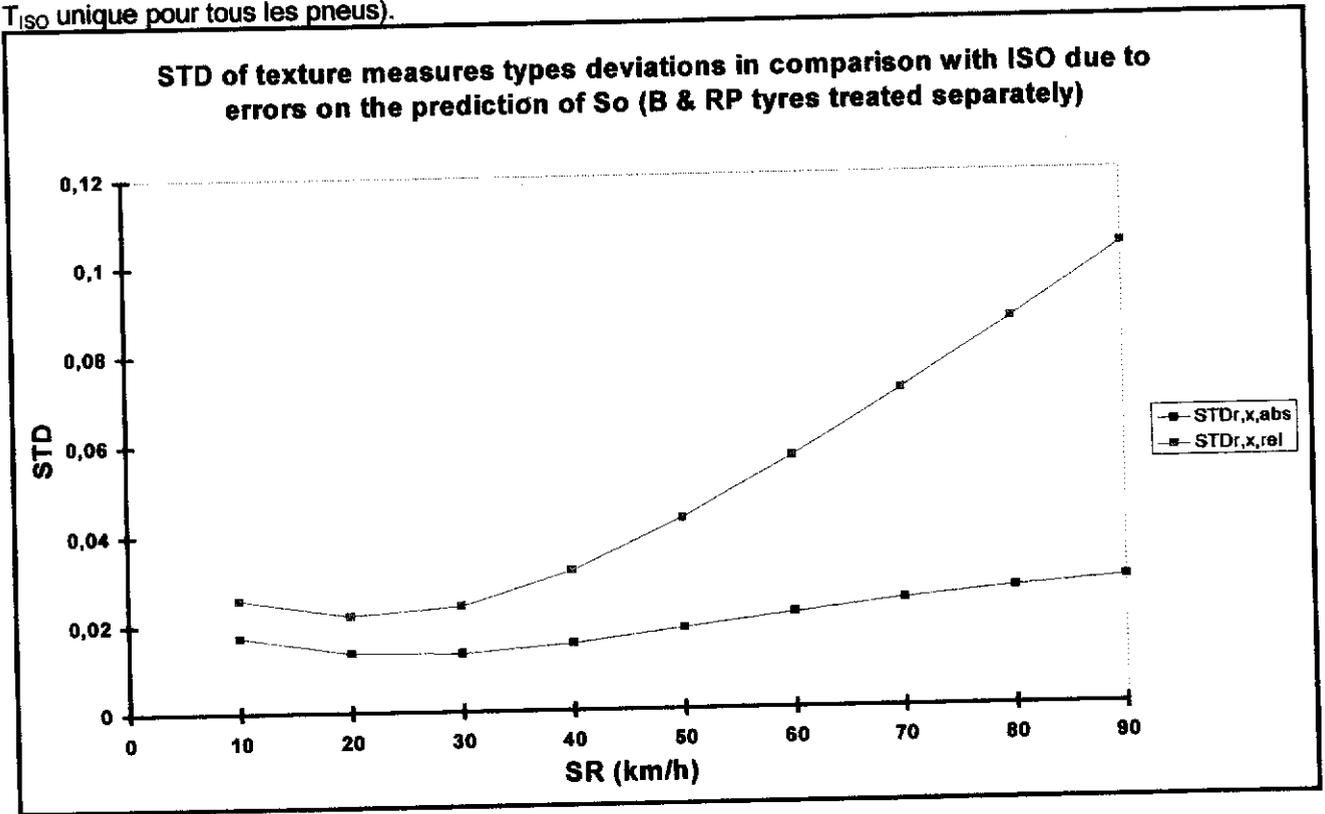


Figure 16 - Ecart-type des erreurs commises sur l'EFI lorsque la prédiction de S_{oj}^* est entachée d'une erreur aléatoire, en fonction de la vitesse de référence considérée (formules de prédiction de S_{oj}^* différente pour les deux types de pneus).

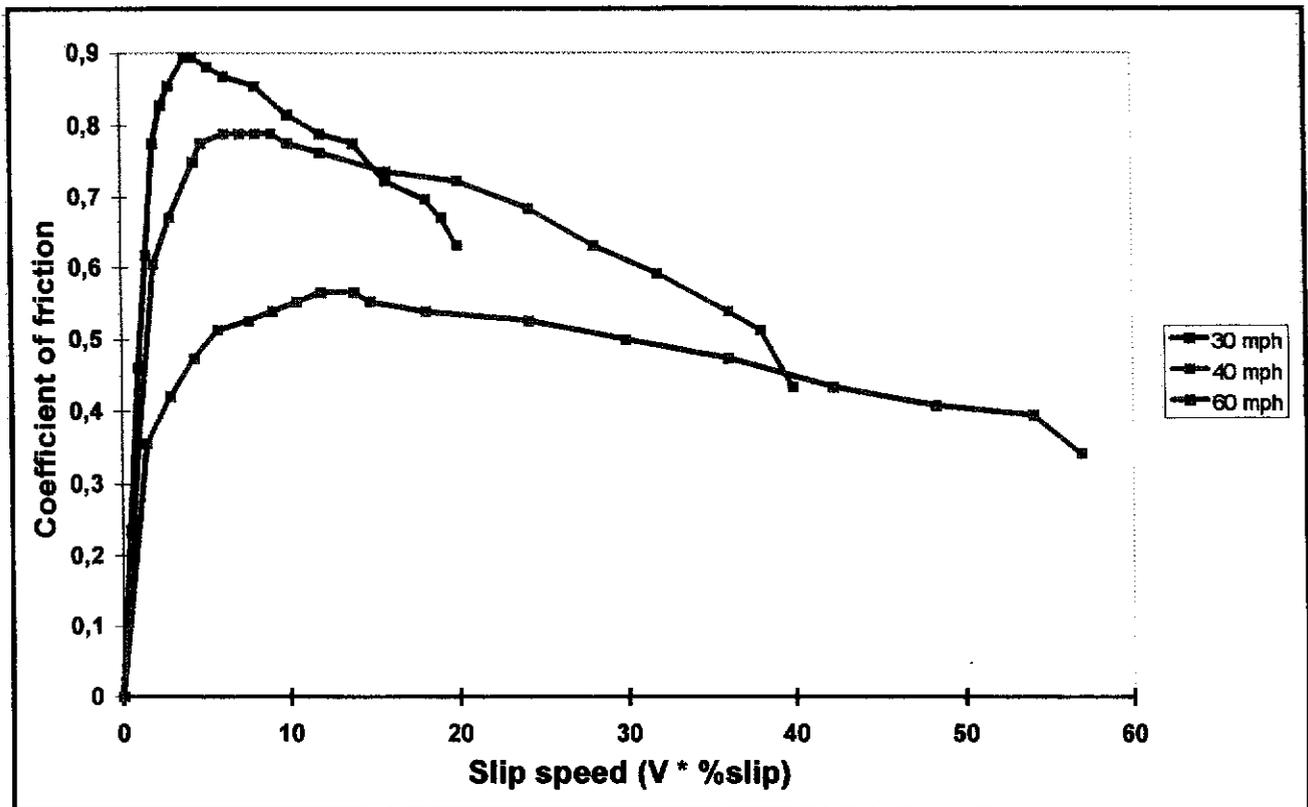


Figure 17 - Séries de mesures qui montrent que le coefficient de frottement dépend de deux variables indépendantes: la vitesse de mesure et le taux de glissement d'après W.B.HORNE cité par Z.RADO [réf.3].

PIARC model (Constant slip ratio)

$$F = F_0 e^{-\frac{V}{V_0}}$$

RADO's model (Constant vehicle speed)

$$F = F_0' e^{-\left(k \log \frac{\tau}{\tau_m}\right)^2}$$

General model

$$F = F_0'' e^{-\frac{V}{V_0} - \left(k \log \frac{\tau}{\tau_m}\right)^2}$$

Figure 18 - Modèles d'équations représentant la variation du coefficient de frottement en fonction soit de la vitesse (V), soit du taux de glissement ($\tau = S/V$), soit des deux.

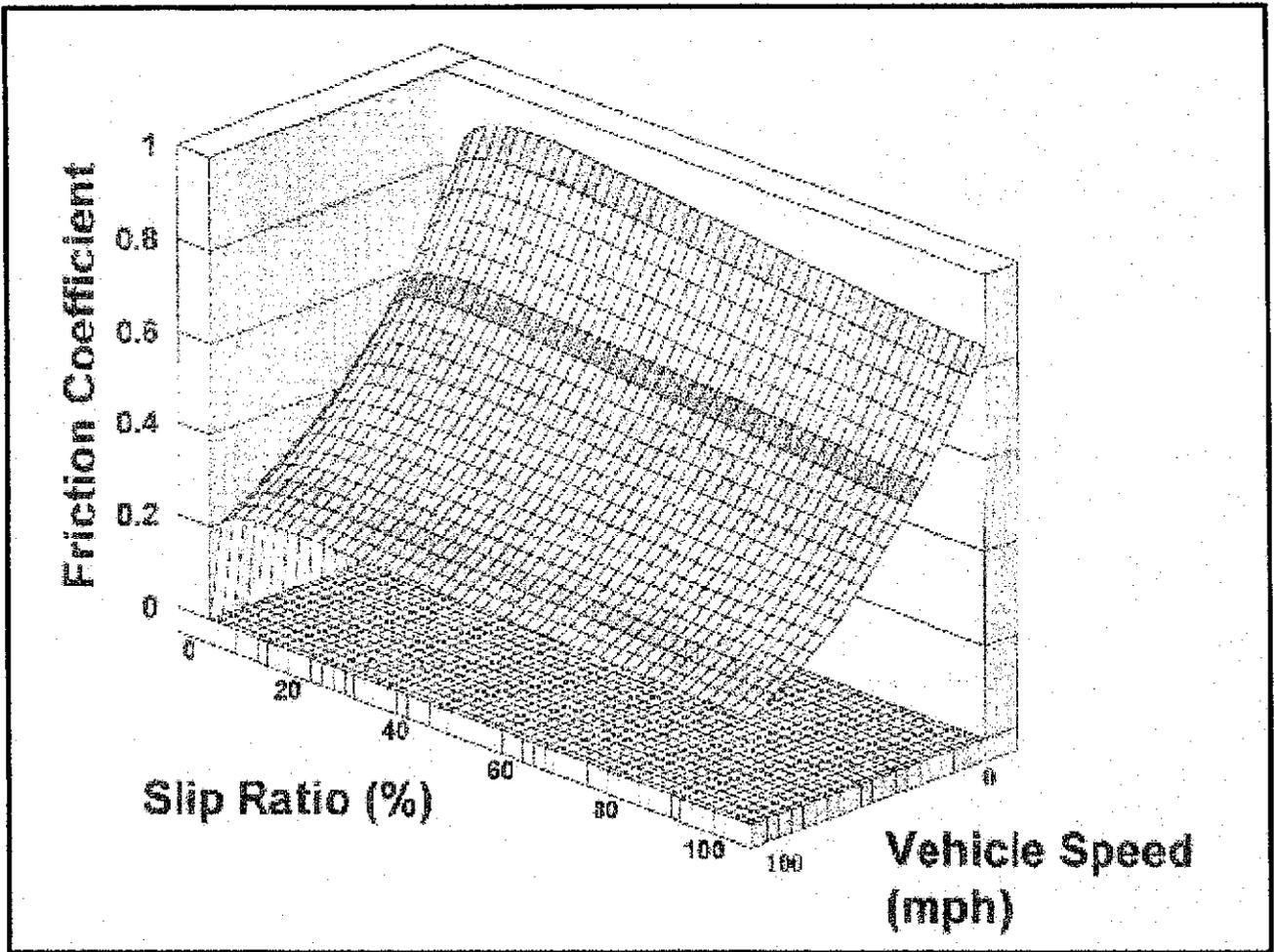


Figure 19 - Représentation tridimensionnelle du modèle général.

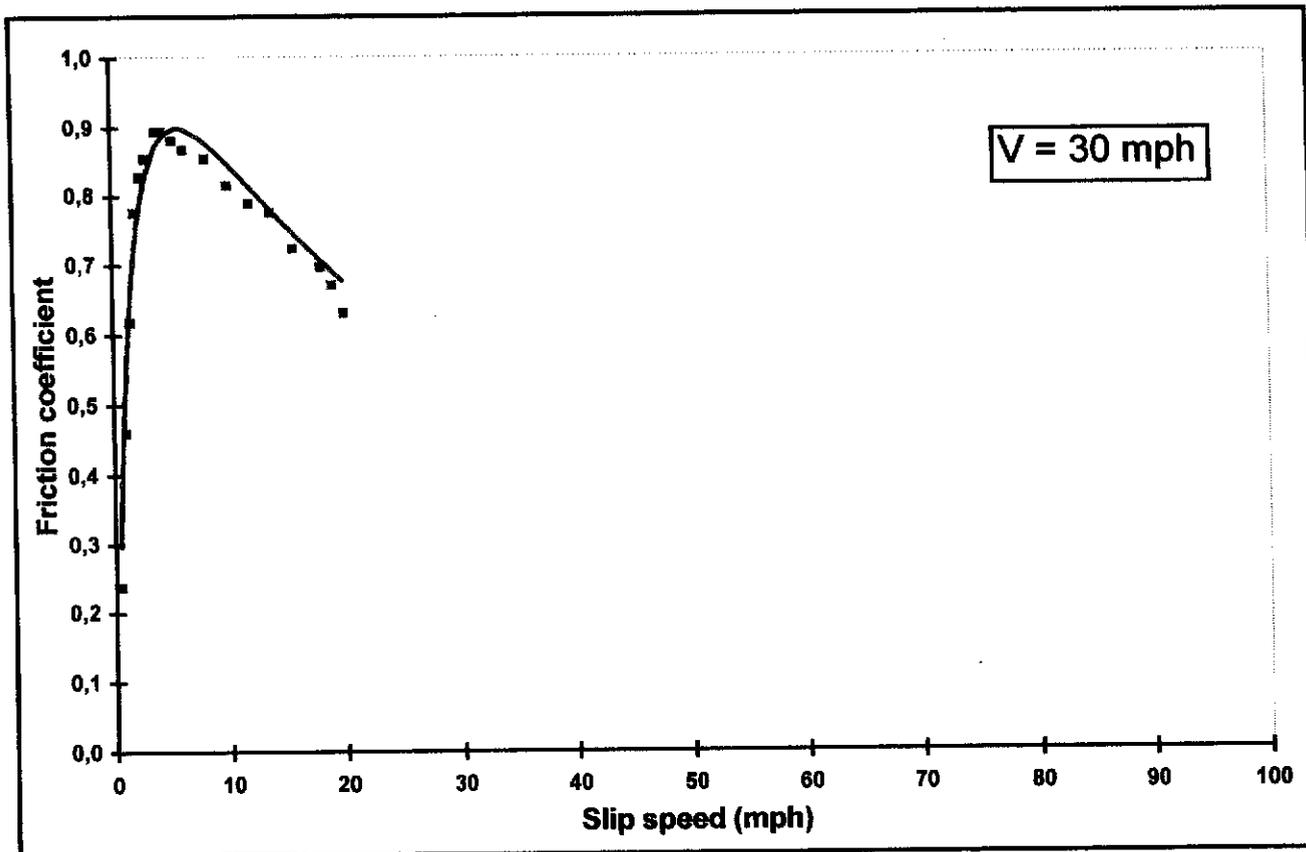


Figure 20 - Voir légende Figure 22.

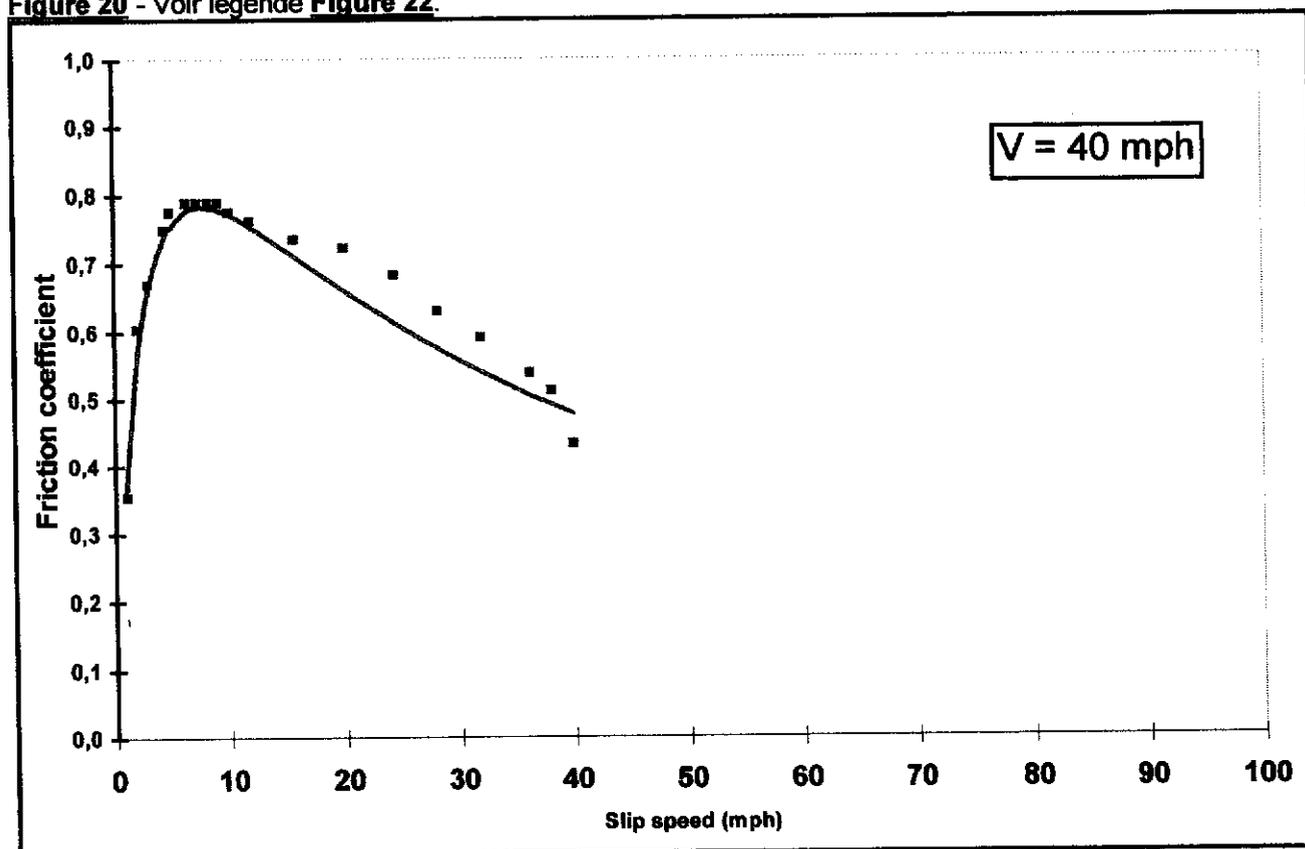


Figure 21 - Voir légende Figure 22.

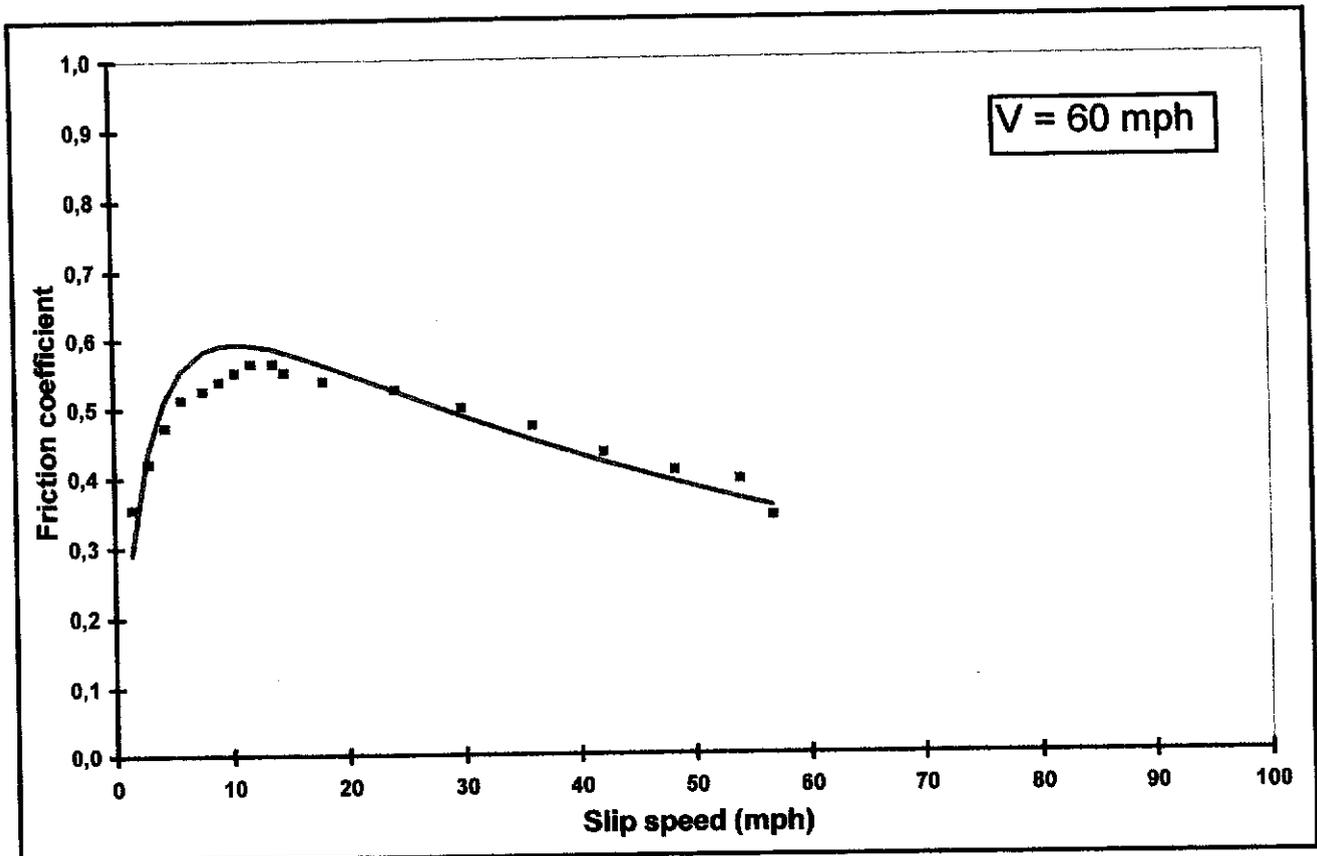


Figure 22 - Application du modèle général aux données de la Figure 17.

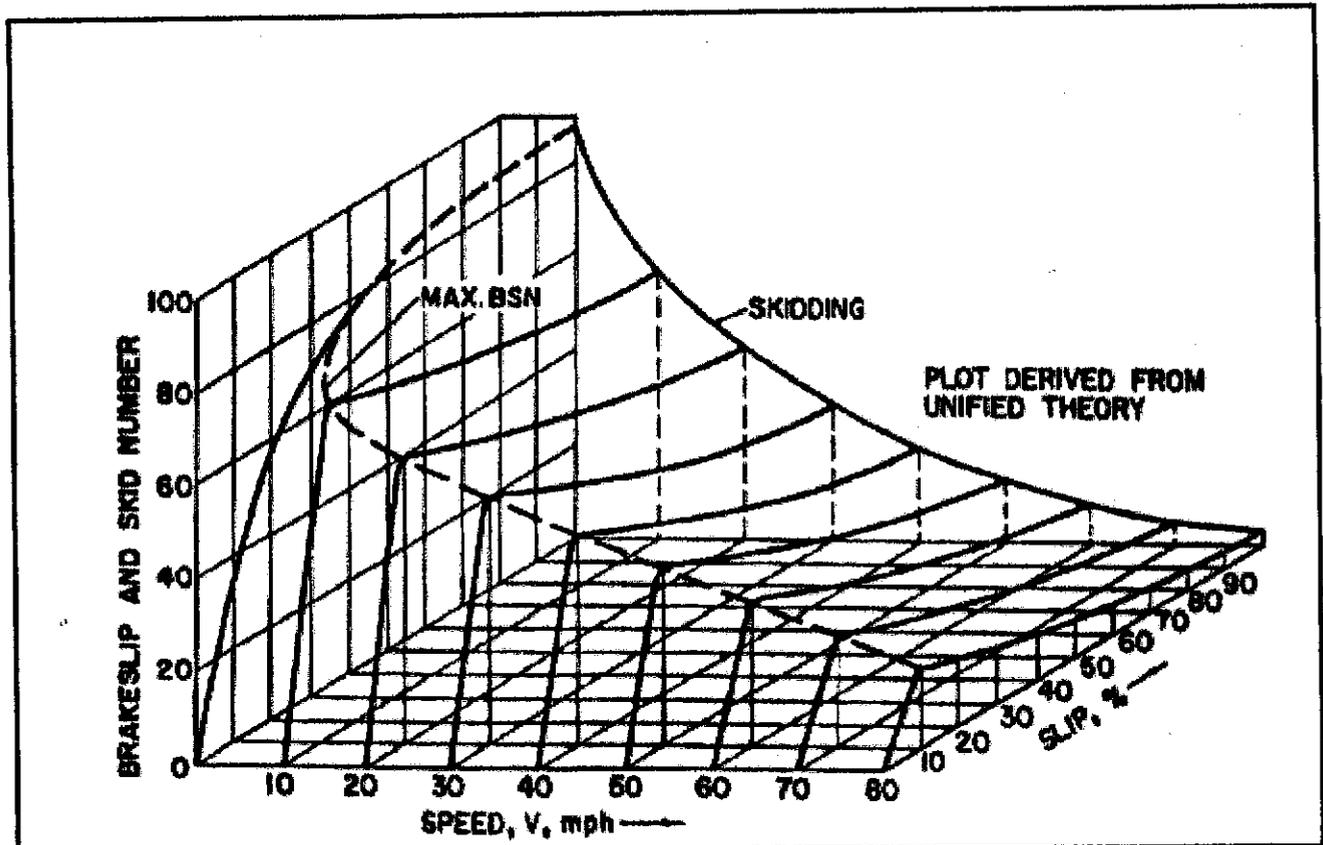


Figure 23 - Représentation proposée par H.W.Kummer en 1966 (d'après [réf. 4]).

Comparison between Scrim 1997/1992

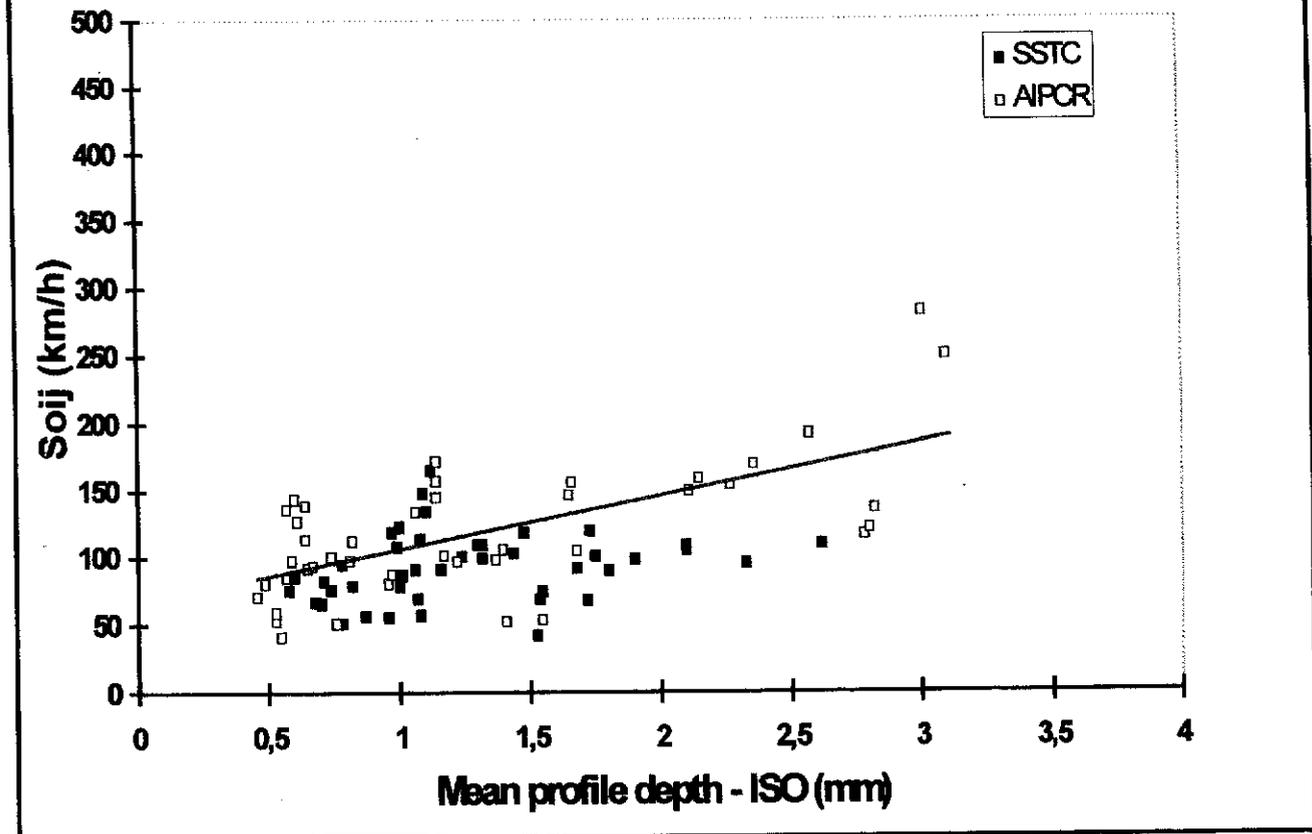


Figure 24 - Comparaison des diagrammes S_{oij} vs. T_{ISO} obtenus sur les sites AIPCR et SSTC d'après les mesures du SCRIM.

Comparison between Odoliograph 1997/1992

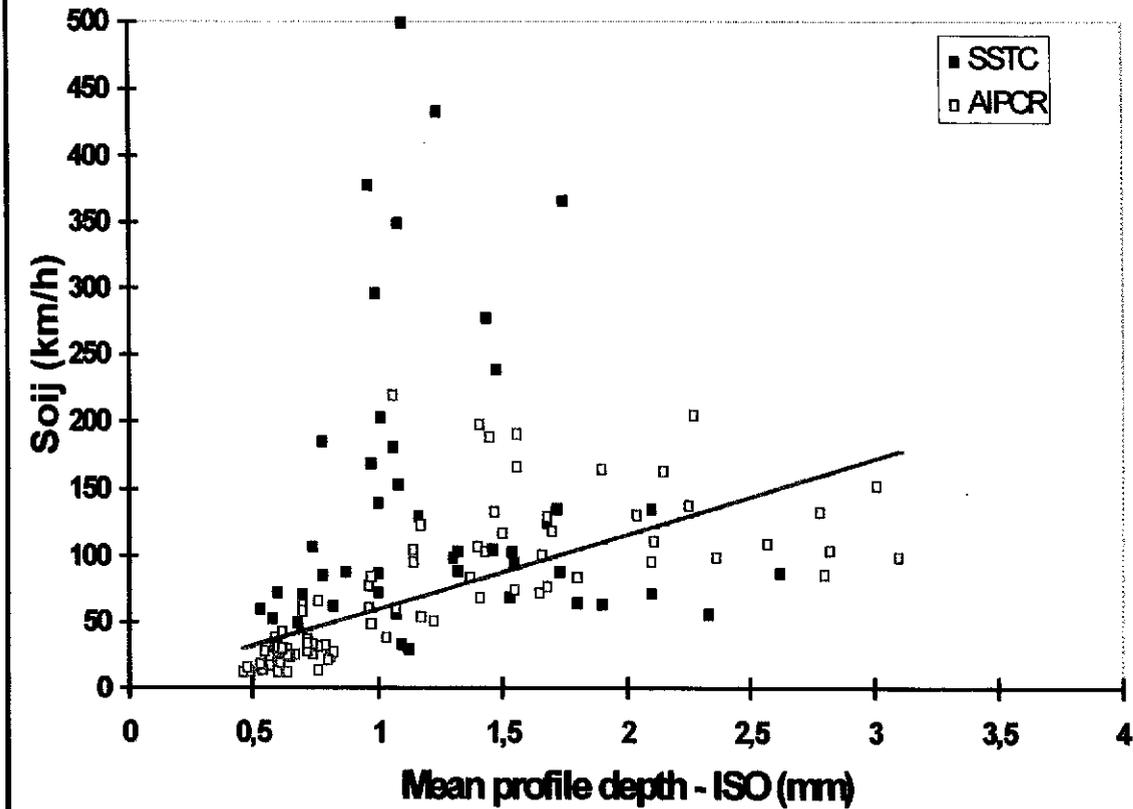


Figure 25 - Comparaison des diagrammes S_{oij} vs. T_{ISO} obtenus sur les sites AIPCR et SSTC d'après les mesures de l'Odoliographe.

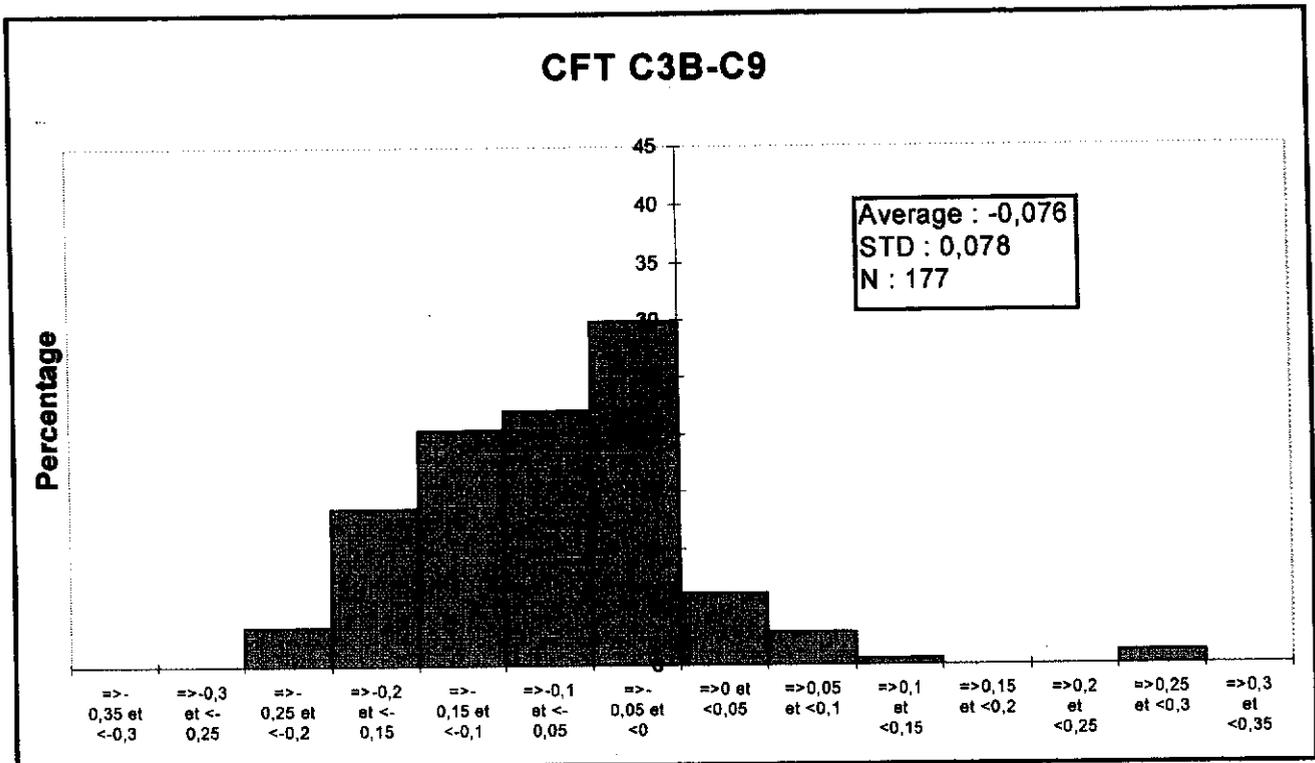


Figure 26 - Distribution des différences de valeurs de CFT mesurées sur un même demi-site et à une même vitesse par le SCRIM et par l'Odoligraphe dans l'expérience AIPCR.

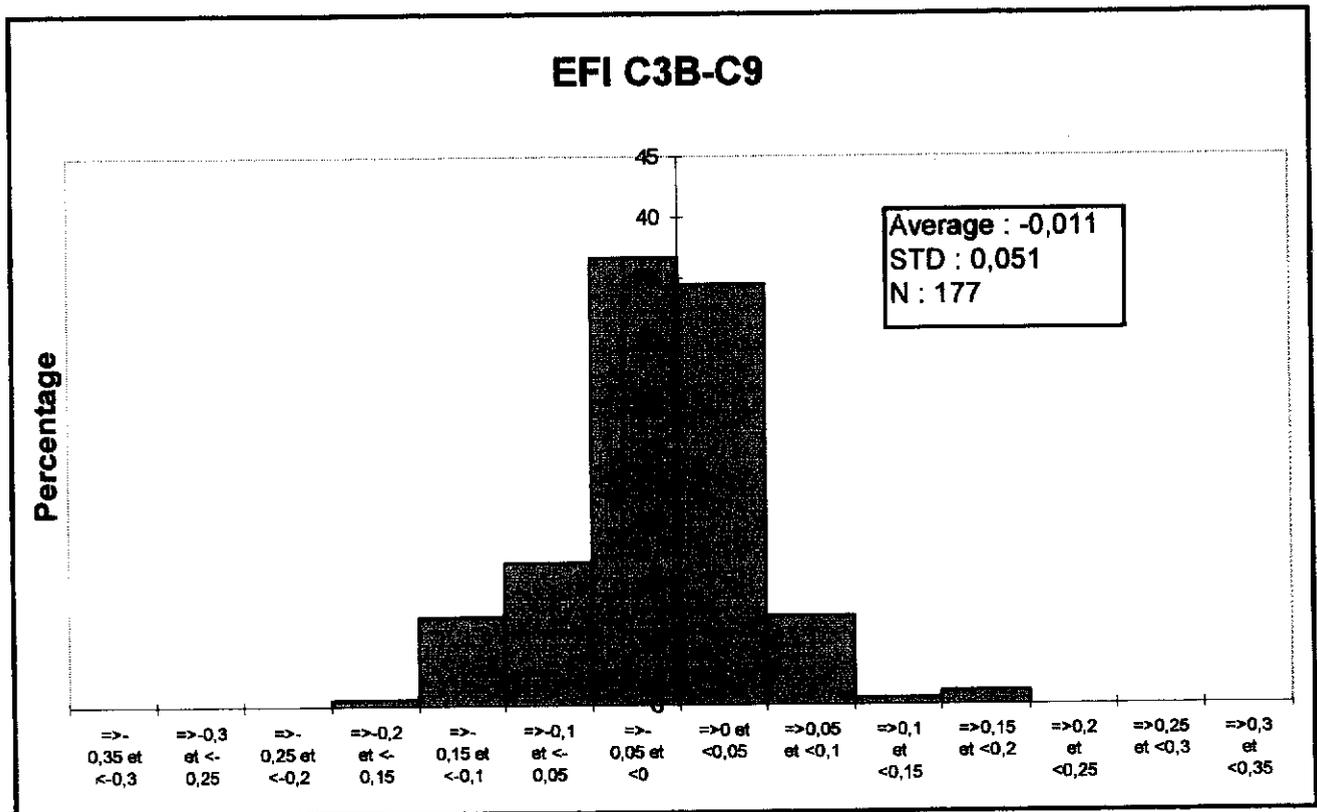


Figure 27 - Distribution des écarts entre mesures converties en EFI du SCRIM et de l'Odoligraphe dans l'expérience AIPCR.

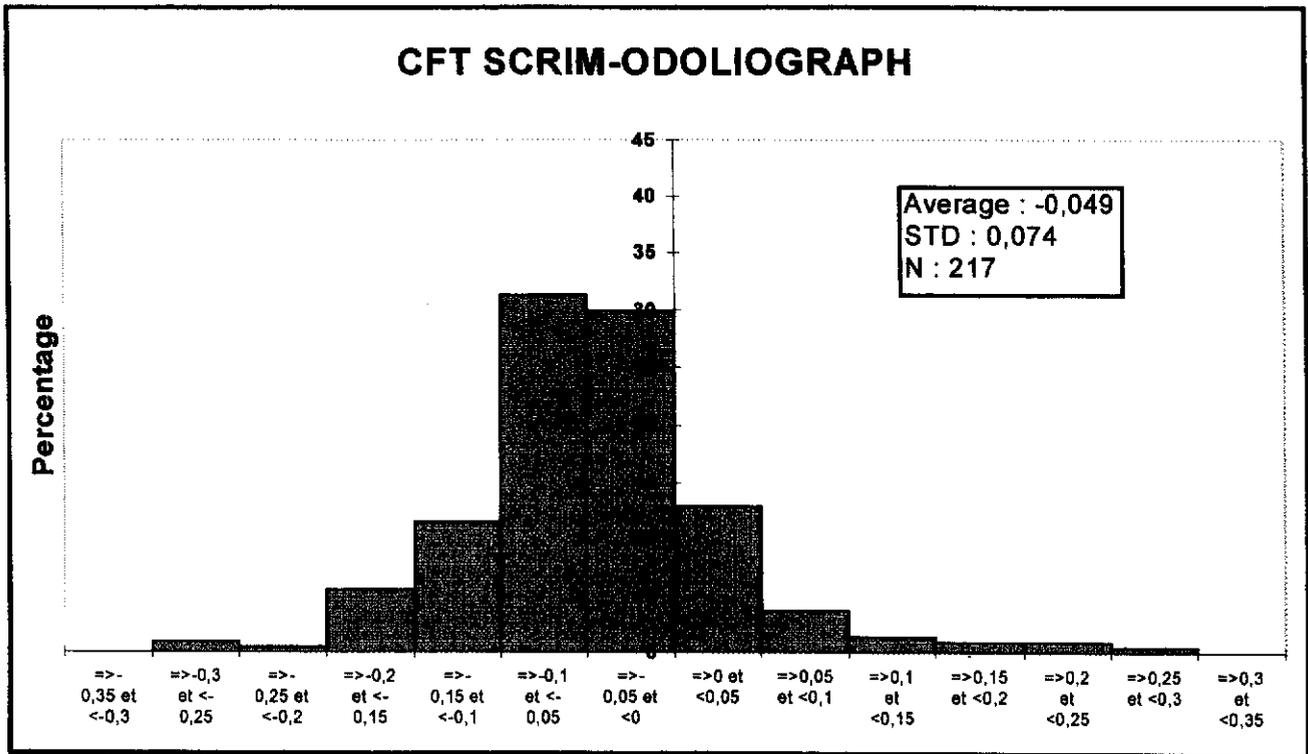


Figure 28 - Distribution des écarts entre valeurs de CFT mesurées par le SCRIM et l'Odoliographe dans la campagne de 1997 sur un même demi-site et à une même vitesse.

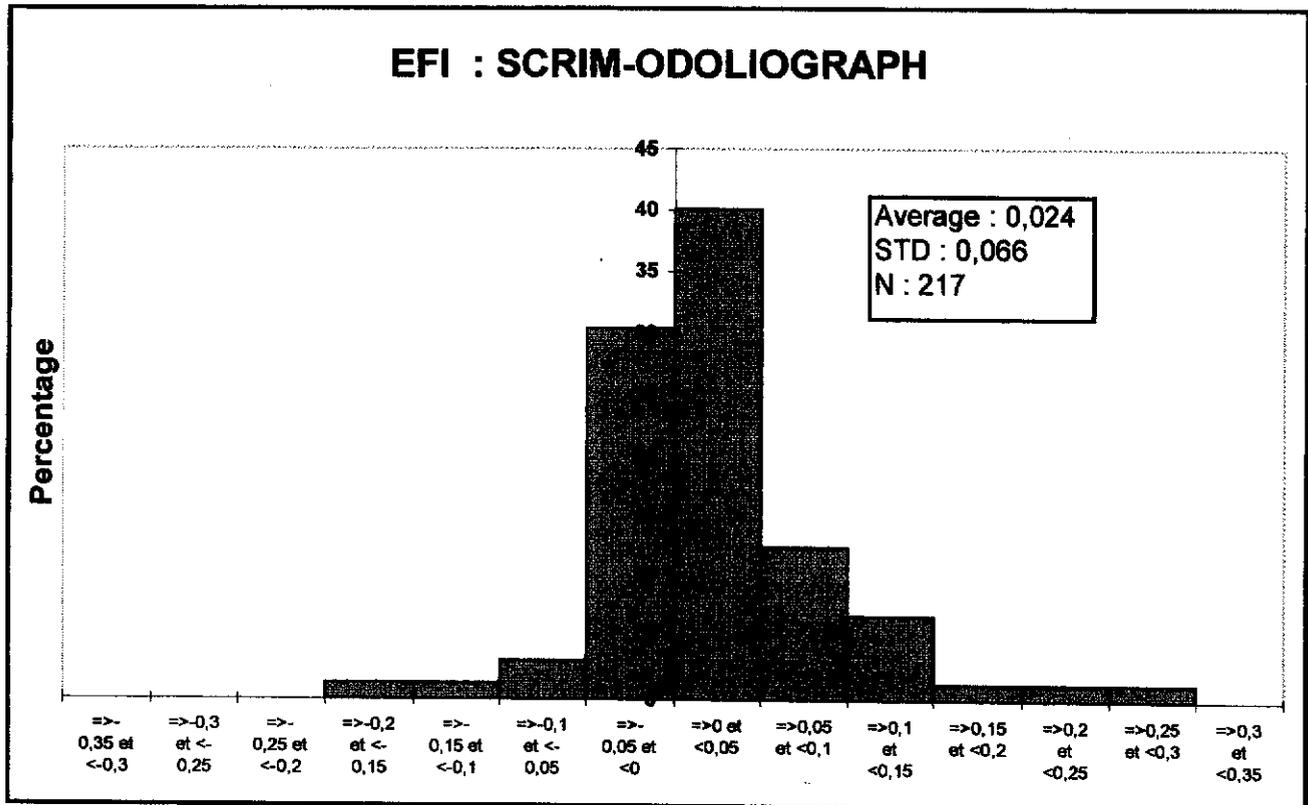


Figure 29 - Distribution des écarts entre valeurs de EFI données par le SCRIM et l'Odoliographe dans la campagne de mesures de 1997.

XIV. Références

1. J.C.WAMBOLD et al., « International PIARC Experiment to Compare and Harmonize Texture and Skid Resistance Measurements », PIARC publication n°10.04.T, Paris, 1995.
2. « Characterization of Pavement Texture Utilizing Surface Profiles - Part 1: Determination of Mean Profile Depth, International Standard ISO 13473-1, 1996.
3. Zoltan RADO, « A Study of Road Surface Texture and its Relationship to Friction ». Ph.D. Thesis. The Pennsylvania State University, 1994.
4. H.W.KUMMER, "Unified Theory of Rubber and Tire Friction". Pennsylvania State University, Engineering Research Bulletin B-94, 1966.
5. "Precision of test methods - Determination of repeatability and reproducibility by inter-laboratory tests". International Standard ISO 5725, 1985.