



**HAL**  
open science

## L'appareil DFT (Dynamic Friction Tester) : première expérimentation française

Véronique Cerezo, Minh Tan Do, Patrick Maisonneuve, Mathias Liegeois,  
Pierre Pellegrino

► **To cite this version:**

Véronique Cerezo, Minh Tan Do, Patrick Maisonneuve, Mathias Liegeois, Pierre Pellegrino. L'appareil DFT (Dynamic Friction Tester) : première expérimentation française. *Revue générale des routes et des aérodromes*, 2013, 907, pp. 60-66, ill., tabl., ill. en coul., graphiques. hal-00851503

**HAL Id: hal-00851503**

**<https://hal.science/hal-00851503>**

Submitted on 14 Aug 2013

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# **L'appareil DFT (Dynamic Friction Tester) : première expérimentation française**

## **Véronique Cerezo**

Directrice Adjointe de l'Unité de Recherche Environnement, Aménagement, Sécurité, Eco-conception (UR EASE)  
Département Aménagement, Mobilité, Environnement  
Institut Français des Sciences et Technologies des Transports et des Réseaux (IFSTTAR)

## **Minh-Tan Do**

Responsable de l'équipe « infrastructure et risques »  
Département Aménagement, Mobilité, Environnement – UR EASE  
IFSTTAR

## **Patrick Maisonneuve**

Technicien d'essais  
Département Aménagement, Mobilité, Environnement – UR EASE  
IFSTTAR

## **Mathias Liegeois**

Technicien d'essais  
ERA 12 : « Qualité de service des infrastructures routières : adhérence, sécurité »  
Département Laboratoire de Lyon  
CETE de Lyon

## **Pierre Pellegrino**

Technicien d'essais  
ERA 12 : « Qualité de service des infrastructures routières : adhérence, sécurité »  
Département Laboratoire de Lyon  
CETE de Lyon

## **RESUME**

L'Institut Français des Sciences et Technologies des Transports, de l'Aménagement et des Réseaux (IFSTTAR) a acquis en 2009 un appareil de mesure ponctuelle de frottement longitudinal appelé DFT (Dynamic Friction Tester). Cet appareil mesure la courbe de freinage entre un patin de gomme et une chaussée mouillée. Il est utilisable aussi bien à l'extérieur (chantiers routiers, pistes d'essais) – hors circulation – qu'en laboratoire.

L'objet de cet article est de présenter la machine DFT et de comparer ces performances à celles d'autres appareils utilisés en France pour l'évaluation de l'adhérence des chaussées. Une expérimentation a été menée sur les pistes de l'IFSTTAR de Nantes et sur quelques routes circulées de Loire Atlantique. Les premiers résultats obtenus montrent une bonne corrélation entre les mesures DFT et celles obtenues avec des appareils comme le pendule SRT, le GRIPTESTER ou encore l'ADHERA. Le lien entre DFT et SCRIM nécessite quelques investigations complémentaires. L'utilisation du DFT pour le suivi de l'évolution de l'adhérence et la validation de l'essai de polissage Wehner/Schulze, évitant ainsi des prélèvements de carottes dans la chaussée, peut également être faite grâce à une bonne corrélation entre ces deux machines.

# 1 CONTEXTE

L'Institut Français des Sciences et Technologies des Transports, de l'Aménagement et des Réseaux (IFSTTAR) a acquis en 2009 un appareil de mesure ponctuelle de frottement appelé DFT (Dynamic Friction Tester). Financé dans le cadre d'un projet ANR (CLEAN – chaussées à longévité environnementale, adhérente et nettoyante [1]), l'appareil a été utilisé pour l'évaluation et le suivi de l'adhérence des chantiers expérimentaux du projet réalisés à l'aide d'un enduit hydraulique fibré gravillonné. Grâce à sa souplesse d'utilisation (transportabilité, mise en œuvre rapide), le DFT est largement utilisé aussi dans d'autres études et recherches de l'IFSTTAR. L'objet de cet article est de présenter cet appareil de mesure d'adhérence peu connu en France et pourtant couramment utilisé en Amérique du Nord, en Asie et en Océanie et de le situer par rapport aux autres appareils de mesure de coefficient de frottement rencontrés en France. L'article est articulé autour de deux aspects :

- description de l'appareil DFT et présentation de quelques exemples d'utilisation ;
- comparaison des valeurs de coefficients de frottement obtenus avec le DFT et avec les autres appareils disponibles en France.

## 2 L'APPAREIL DFT

### 2.1 Description

Le DFT (figure 1a) mesure le coefficient de frottement longitudinal généré entre un patin de gomme et la chaussée tout au long du freinage de celui-ci.

L'appareil est constitué d'un dispositif de mesure et d'un système d'acquisition intégré. Le dispositif de mesure est constitué d'un plateau rotatif circulaire (figure 1b) sur lequel sont disposés trois patins de mesure. La charge statique appliquée sur chaque patin lorsqu'il rentre en contact avec la surface du revêtement est de 11,8 N.

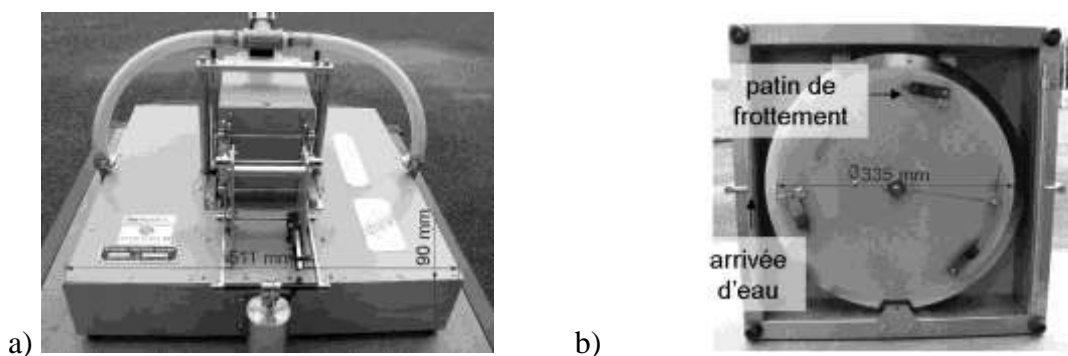


Figure 1 - Appareil DFT (a : vue générale ; b : vue de dessous)

Le patin de gomme permettant de mesurer le coefficient de frottement (figure 2) mesure 6 mm × 16 mm × 20 mm. Il est collé sur une lame en acier. La forme du patin permet d'obtenir une pression de contact de 0,15 MPa. Le patin est en glissement total sur la surface du revêtement en cours de mesure. Ce dispositif permet ainsi de simuler le comportement d'un pain de gomme de pneumatique, roue bloquée.

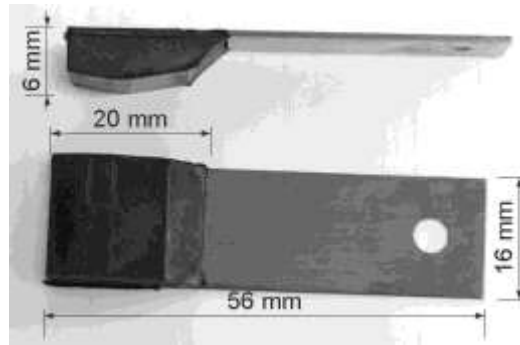


Figure 2 – *Patins de mesure du DFT*

## 2.2 Principe de mesure

La norme ASTM E 1911 [2] décrit les conditions de réalisation standards de cet essai. Le disque supportant les trois patins d'essais est accéléré jusqu'à la vitesse de 80 km/h, la surface à tester est mouillée puis le moteur est coupé et les patins sont mis en contact avec la surface à tester. La vitesse du disque décroît alors jusqu'à arrêt complet sous l'effet des forces de frottement générées à l'interface patins/revêtement.

Le système de mouillage comporte un réservoir situé à 0,6 m au-dessus de la machine et relié à la machine par des tuyaux souples (visible sur la figure 1a). Un débit de l'ordre de 3,6 L/min est maintenu constant en cours de mesure permettant d'obtenir une épaisseur de film d'eau de l'ordre de 1 mm en début de mesure (vitesse du plateau de 80 km/h).

L'évolution du coefficient de frottement tout au long du freinage patins/revêtement est ainsi mesurée (figure 3). Les valeurs typiques fournies par le logiciel de traitement (fourni avec l'appareil) sont DFT20, DFT40 et DFT60 qui correspondent aux valeurs de coefficient de frottement lorsque la vitesse du disque est de 20, 40 et 60 km/h. Il est quand même nécessaire de vérifier l'allure de la courbe de freinage, notamment vers les faibles vitesses où la valeur du DFT peut fluctuer fortement.

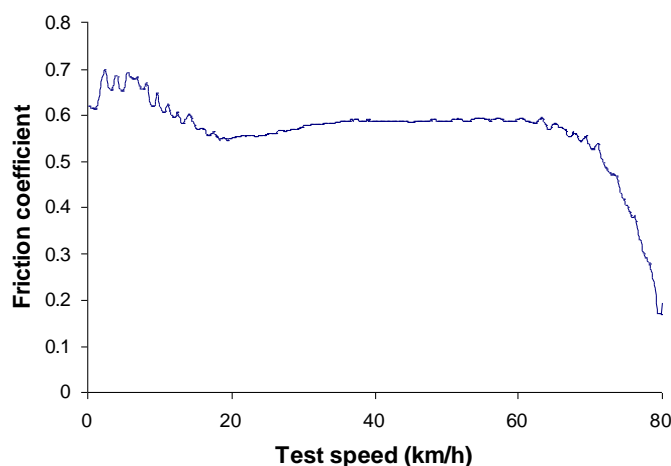


Figure 3 – *Courbe de freinage enregistrée lors d'un essai DFT (affichage sur l'appareil)*

Des essais de répétabilité ont montré que l'écart-type de mesure calculé sur huit essais successifs sur une même surface est de 0,044 à 30 km/h et 0,038 à 60 km/h.

### 3 EXEMPLES D'UTILISATION

#### 3.1 In situ : suivi de l'évolution de l'adhérence

Dans le cadre des recherches de l'IFSTTAR sur l'évolution de l'adhérence des chaussées, des mesures de coefficient de frottement DFT sont effectuées mensuellement sur la piste de référence à Nantes. La figure 4 présente la variation du coefficient de frottement mesuré par le DFT à 20 km/h sur différents enrobés (tableau 1) et celle de la température ambiante tout au long de la période de suivi. Cette variation sinusoïdale est très semblable à ce que l'on observe usuellement avec des mesures effectuées par des appareils d'auscultation comme le SCRIM.

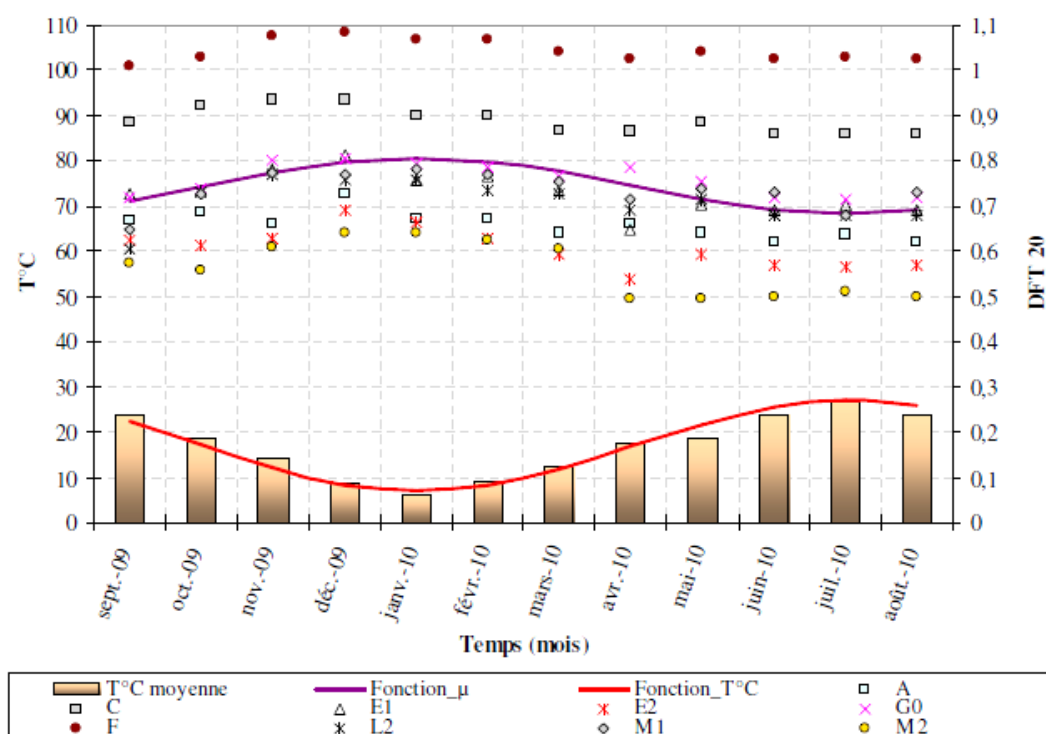


Figure 4 – Evolution de la température et de l'adhérence sur la piste de référence de l'IFSTTAR [3]

#### 3.2 En laboratoire : mesure du coefficient de frottement à différentes hauteurs d'eau

Le protocole de mesure standard est modifié afin d'étudier la variation du coefficient de frottement avec l'épaisseur du film d'eau sur la chaussée [4]. Ainsi, les surfaces sont mouillées par pulvérisations d'eau. La pesée avant/après pulvérisations permet de connaître le volume d'eau projetée et, divisant par la surface mouillée, d'en déduire une hauteur d'eau moyenne équivalente. Les échantillons sont des plaques rectangulaires de 400 mm × 600 mm fabriquées en laboratoire à l'aide du compacteur de plaques mlpc®. Les surfaces sont constituées d'enrobés bitumineux (BBTM et BBSG) ou de mosaïques de gravillons (fraction 7,2/10). Utilisant des gravillons roulés lisses et les soumettant à des cycles de sablage, il est possible de simuler différentes microtextures sur des mosaïques ayant la même macrotexture.

Un exemple de résultats de mesures est fourni sur la figure 5. On voit qu'il est possible de suivre l'évolution du coefficient du frottement depuis l'état sec jusqu'à des épaisseurs d'eau supérieures à 1 mm. L'influence de la microtexture peut également être vue : le coefficient de frottement de la surface sans microtexture (gravillons roulés lisses) est élevé à l'état sec mais chute rapidement dès que la surface est mouillée, tandis que la surface avec microtexture (gravillons sablés) permet de conserver un coefficient de frottement proche de celui à l'état sec jusqu'à ce que la hauteur d'eau atteigne une épaisseur critique (0,3 mm sur l'exemple de la figure 5). Cette hauteur d'eau critique correspond à la transition entre le régime de lubrification limite et le régime de lubrification mixte. Il peut être interprété comme le moment où l'épaisseur du film d'eau est suffisante pour masquer les micro-aspérités qui créaient le contact sec entre la gomme et le revêtement.

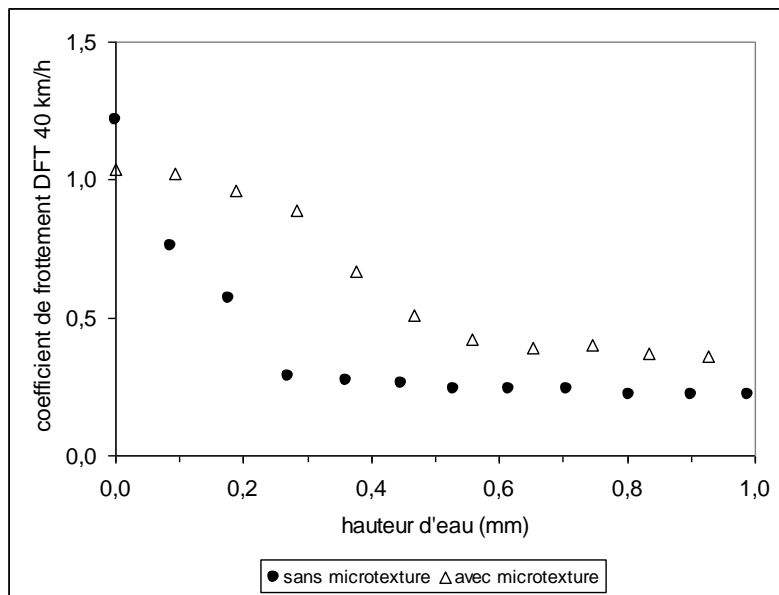


Figure 5 – Exemple de variation du coefficient de frottement avec la hauteur d'eau (extrait de [4])

Comme il est possible d'extraire des valeurs de coefficient de frottement à différentes vitesses, l'usage du DFT permet également d'étudier l'influence de la vitesse sur l'adhérence. Sur la figure 6, on observe clairement l'influence de la vitesse sur des mesures de coefficient de frottement à des hauteurs d'eau inférieures à 0,5 mm.

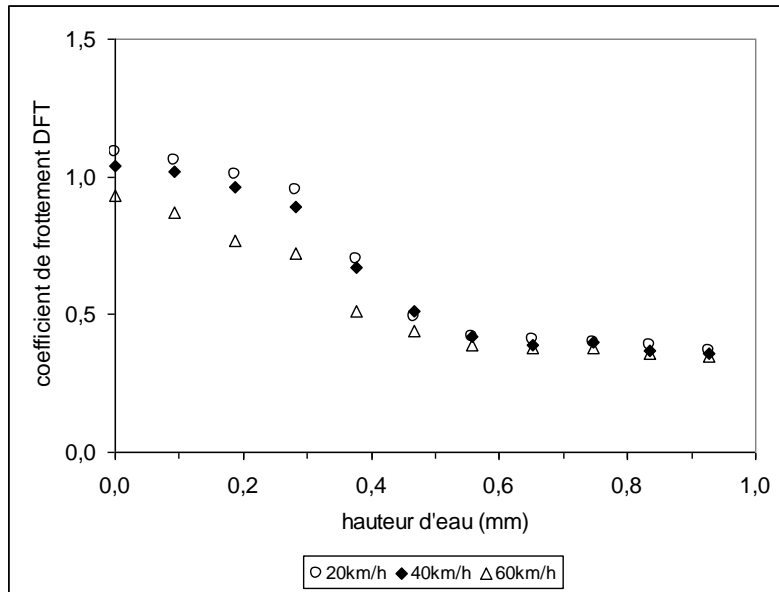


Figure 6 – Influence de la vitesse sur la relation adhérence/mouillage (extrait de [4])

### 3.3 Besoins de recherche

L'appareil DFT a également été utilisé pour le suivi de plusieurs sections routières expérimentales afin de valider l'essai de polissage Wehner/Schulze [5] (en cours de normalisation en Europe) en termes de prédiction des performances d'adhérence à long terme. En effet, des comparaisons sont effectuées entre la courbe coefficient de frottement- cycles de polissage générée par la machine Wehner/Schulze et l'évolution du coefficient de frottement avec le trafic des routes circulées. L'utilisation de la machine DFT évite des prélèvements de carottes – à des intervalles réguliers (6 mois ou 1 an) – dans la chaussée pour le suivi. Elle nécessite cependant d'étudier le lien entre les machines DFT et Wehner/Schulze afin de convertir les mesures obtenues respectivement avec ces machines.

De même, les deux exemples d'utilisation décrits dans le paragraphe précédent suscitent des questions sur le lien entre le DFT et des appareils de mesure dynamique comme le SCRIM (coefficient de frottement transversal ou CFT) ou l'ADHERA (coefficient de frottement longitudinal ou CFL). L'établissement de ces liens permettrait de transposer les résultats obtenus en laboratoire – variations saisonnières de l'adhérence, relation adhérence/mouillage – aux essais sur routes réelles.

De façon plus générale, l'introduction d'un nouvel appareil nécessite des comparaisons avec ceux en cours d'utilisation. L'IFSTTAR et le Département Laboratoire de Lyon (DLL) ont donc mené une vaste campagne d'essais de comparaison sur la piste de référence de l'IFSTTAR à Nantes et sur des sections routières soumises au trafic routier, localisées dans la région nantaise. Les premiers résultats de cette campagne sont présentés dans les paragraphes suivants.

## 4 COMPARAISON DU DFT AUX APPAREILS DE MESURE D'ADHERENCE EN FRANCE

### 4.1 Plan d'expérience

#### 4.1.1 Appareils d'essais

Les appareils considérés pour la comparaison avec le DFT appartiennent à deux familles distinctes :

- les appareils de mesure statique, utilisables en laboratoire ou in situ ;
- les appareils de mesure dynamique, utilisables uniquement in situ.

Pour la première famille, les appareils suivants ont été sélectionnés :

- SRT (Skid resistance tester) car il représente un appareil de référence au niveau européen, bien que réalisant une mesure ponctuelle ;
- machine Wehner/Schulze (WS, fonction mesure du frottement) dont l'usage se développe en France pour la prédiction des performances d'adhérence à long terme.

Pour la seconde famille, les appareils suivants ont été sélectionnés :

- GRIPTESTER [6] car il sert fréquemment dans des études de sécurité et pour l'auscultation de réseaux en milieu urbain ou inter-urbain ;
- ADHERA [7] car c'est un appareil mlpc<sup>®</sup> couramment utilisé en France, en particulier sur autoroute ;
- SCRIM (Sideway force coefficient routine investigation machine) [8] car il réalise de nombreuses campagnes d'auscultation sur le réseau routier français.

#### 4.1.2 Revêtements testés

L'expérimentation a été menée dans un premier temps sur les pistes de l'Ifsttar de Nantes et dans un second temps sur sept sections routières départementales situées autour de Nantes.

La piste de Nantes comporte une zone composée de planches d'essais rectilignes dont les dimensions varient entre 3 m et 3,5 m en largeur, et 50 m et 200 m de longueur (photo 1). Les revêtements de chaussée représentent ceux des routes circulées en France (enrobés bitumineux, enduits superficiels) ou des cas particuliers (surfaces très lisses ou à microtextures variables).









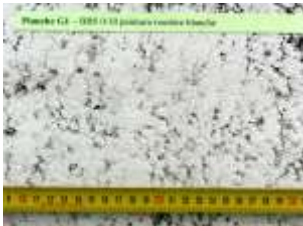





Photo 1 – Piste de référence de l'IFSTTAR (a : vue d'ensemble ; b : zone d'essais)

Le nom des planches d'essais, le type de revêtement ainsi que l'aspect visuel des revêtements sont présentés dans le tableau 1.

Tableau 1. Planches d'adhérence de la piste de l'Ifsttar à Nantes

Planche	Type de revêtement	Aspect visuel
A	béton bitumineux drainant 0/6	
C	enduit fin 0,8/1,5	
E1	béton bitumineux semi-grenu 0/10 dit « neuf »	
E2	béton bitumineux semi-grenu 0/10 dit « ancien »	
F	enduit superficiel composé d'un granulat très dur (bauxite calcinée réfractaire) de taille comprise entre 1 et 3 mm	
G0	béton bitumineux souple 0/10	

G1	béton bitumineux souple 0/10 (même macrotexture que G0) recouvert d'une peinture routière	
L1	Résine époxy	
L2	sable enrobé	
M1	béton bitumineux très mince 0/10	

A cette série de plaques d'essais a été ajouté un ensemble de sections localisées sur des routes circulées. Sept zones de 100 m de long environ, recouvertes d'enrobés de type BBTM et BBSG ont été sélectionnées. Ces sections présentaient des niveaux d'adhérence moyens à faibles (coefficient de frottement à faible vitesse de glissement variant entre 0,4 et 0,6), ce qui a permis de compléter les mesures effectuées sur les pistes de l'Ifsttar et de couvrir toute la gamme de valeurs de coefficient de frottement (0 à 1).

#### 4.1.3 Vitesses d'essais

Les vitesses d'essais sont des vitesses nominales de test de chaque appareil. Elles sont résumées dans le tableau 2.

Tableau 2. Vitesses d'essais et indicateurs d'adhérence

Famille d'appareils	Appareil	Vitesse (km/h)	Indicateur
Statique	SRT	15	VEP (Valeur équivalente au pendule)
	WS	20, 40 et 60	$\mu$ WS20, $\mu$ WS40, $\mu$ WS60

	DFT	20, 40 et 60	DFT20, DFT40, DFT60
Dynamique	GRIPTESTER	40	GN ou GripNumber
	ADHERA	40	CFL40
	SCRIM	60	CFT

#### 4.2 Variation du coefficient de frottement DFT en fonction du revêtement et de la vitesse

L'ensemble des mesures de coefficients de frottement avec l'appareil DFT sur les planches de la piste de Nantes est montré dans la figure 7. Les mesures ont été effectuées selon la norme ASTM (arrosage automatique par l'appareil).

Tout d'abord, on observe que le coefficient de frottement DFT varie avec la vitesse. Sur trois valeurs de vitesse, la variation du DFT est semblable à ce que l'on observe habituellement avec des mesures effectuées par des appareils dynamiques (décroissance exponentielle). Cependant, l'influence de la macrotexture des revêtements sur cette variation n'est pas aussi facilement interprétable qu'avec des mesures fournies par l'ADHERA ou le SCRIM. Prenant par exemple les planches A (PMT = 2,27 mm) et C (PMT = 0,87 mm), on n'observe pas de différence en termes de variation DFT-vitesse pour ces planches. A titre d'illustration, une régression linéaire sur les points expérimentaux donne les valeurs suivantes pour la pente (a) de la droite  $DFT = -a \cdot \text{Vitesse} + b$  : 0,002 (planche C) et 0,0023 (planche A). Ces valeurs ne traduisent donc pas la différence significative de macrotexture entre les deux revêtements.

La mesure de DFT permet donc d'évaluer l'influence de la vitesse de mesure sur les valeurs de coefficient de frottement. Cependant, des analyses plus approfondies sont nécessaires avant de pouvoir relier la macrotexture des revêtements à cette influence.

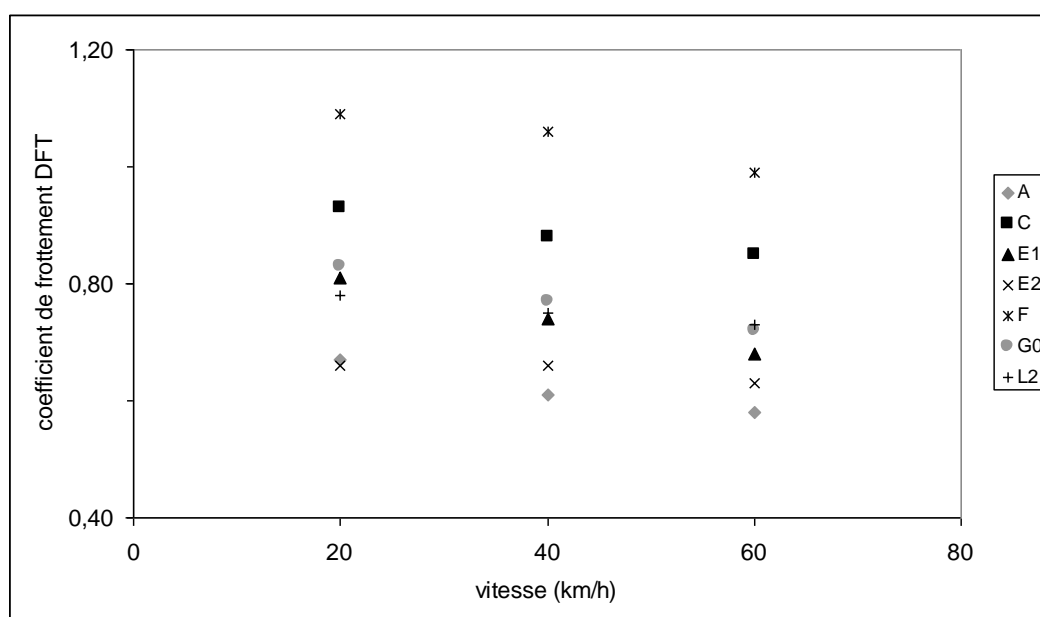


Figure 7 – Mesures de coefficients de frottement DFT sur la piste de Nantes

### 4.3 Comparaison des appareils

Les différents indicateurs d'adhérence mesurés par les appareils régulièrement utilisés en France sont comparés aux valeurs fournies par le DFT. Les relations linéaires obtenues sont présentées ci-après.

#### 4.3.1 DFT et SRT

Les mesures au pendule SRT ont été effectuées selon la norme EN 13036-4 [9]. Même si la vitesse de 20 km/h du DFT est la plus proche de la vitesse d'essai du SRT (15 km/h), l'allure de la courbe de freinage du DFT (figure 3) montre que les mesures sont plus stables dans l'intervalle de 40 km/h à 60 km/h. La comparaison est donc effectuée entre le DFT40 et la VEP mesurée au pendule SRT (figure 8). Les mesures ont été effectuées dans les traces de roulement droite et gauche de chaque planche d'essais. Elles ont été réalisées en trois points successifs (ou PR) distants deux à deux de 10 m.

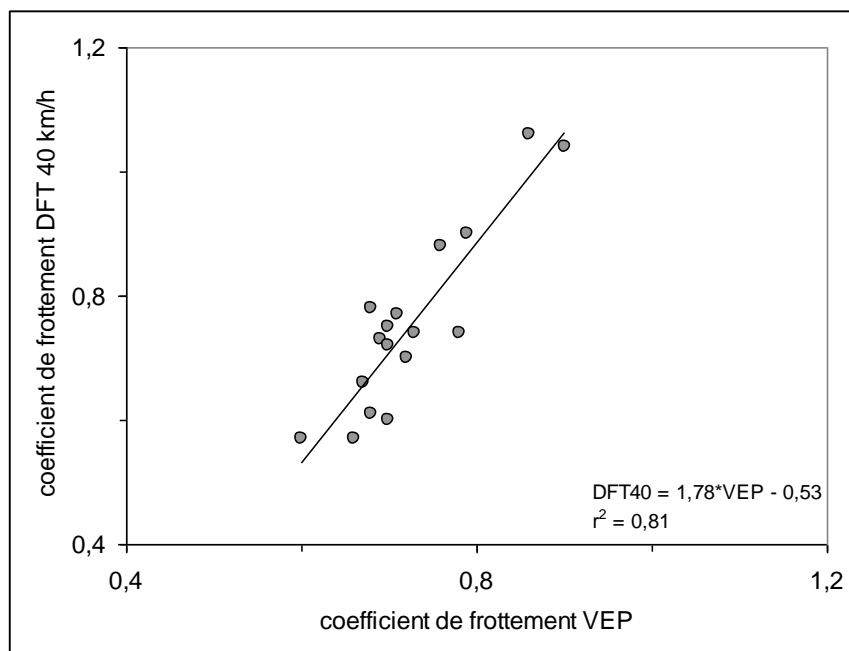


Figure 8 – Comparaison des mesures DFT/SRT

Malgré une certaine dispersion, les mesures de DFT et la VEP sont liées. Une régression linéaire sur les valeurs disponibles donne la relation suivante :

$$(1) \quad DFT40 = 1,65 * SRT - 0,48 \quad (r^2 = 0,80)$$

#### 4.3.2 DFT et WS

La mesure du coefficient de frottement réalisée avec la machine Wehner/Schulze est effectuée sur des carottes prélevées in situ. Comme la mesure de base de la machine Wehner/Schulze est une courbe de freinage semblable à celle du DFT, il est également possible d'en extraire des valeurs de coefficient de frottement à diverses vitesses. De nouveau comme la zone de vitesses inférieures à 20 km/h comporte des fluctuations, seules les valeurs à 40 km/h et 60 km/h sont utilisées pour des comparaisons.

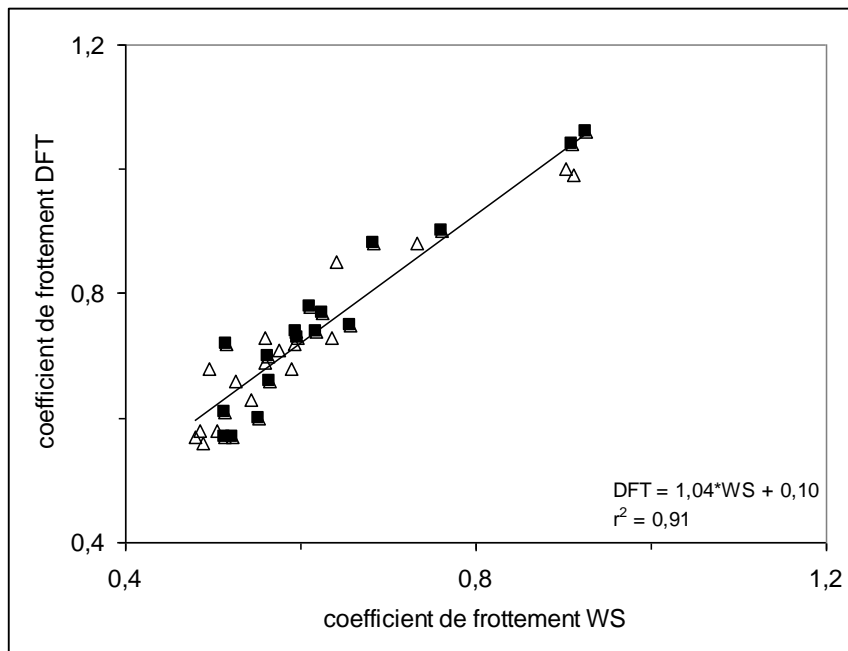


Figure 9 – Comparaison des mesures DFT/WS

La figure 9 montre que les points (■) (WS40, DFT40) et (△) (WS60, DFT60) sont groupés. Une régression linéaire est donc effectuée sur l'ensemble de ces points, donnant la relation suivante :

$$(2) \quad DFT = 1,04*WS + 0,10 \quad (r^2 = 0,91)$$

Une régression par vitesse aurait donné :  $DFT40 = 1,10*WS40 + 0,06$  et  $DFT60 = 0,98*WS60 + 0,13$

La valeur élevée du coefficient de corrélation montre qu'il est possible de convertir des mesures de DFT en mesures équivalentes de WS.

#### 4.3.3 DFT et GRIPTESTER

La relation entre DFT40 et GN (mesures effectuées à 40 km/h) est décrite dans la figure 10. La dispersion est du même ordre de grandeur que celle de la relation DFT/VEP. Une régression linéaire donne :

$$(3) \quad DFT40 = 0,75*GN + 0,16 \quad (r^2 = 0,81)$$

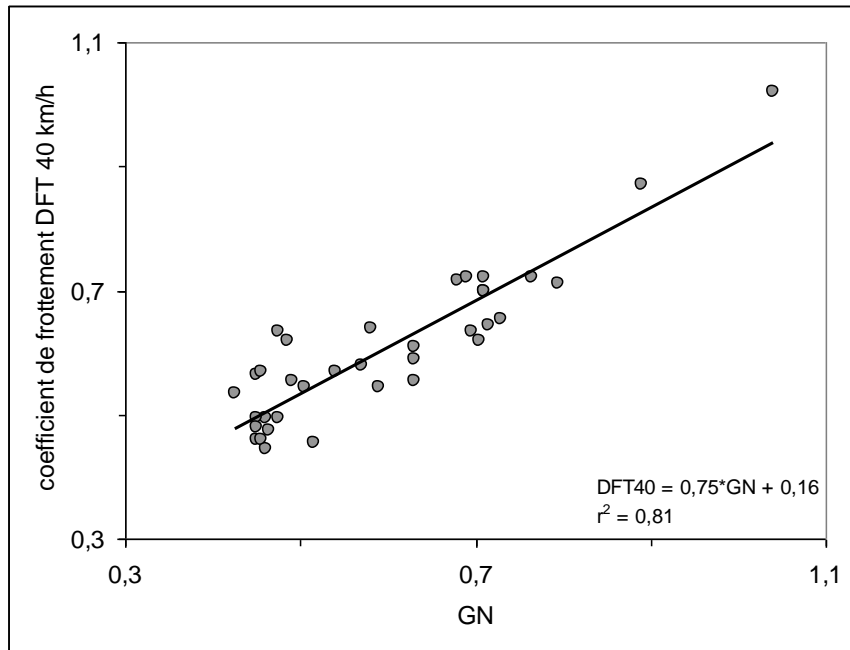


Figure 10 – *Comparaison des mesures DFT/GN*

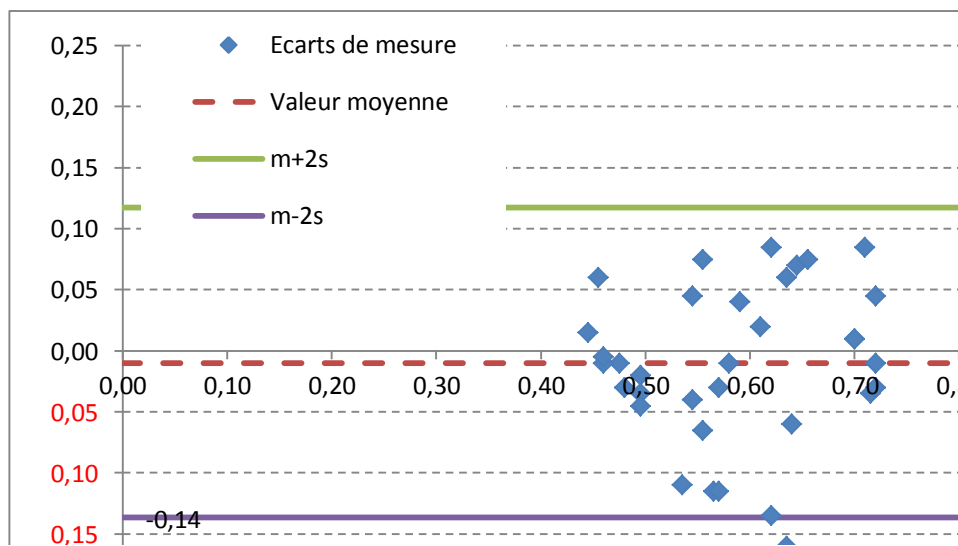


Figure 11 – *Ecart de mesure DFT/GN*

On vérifie que l'écart de mesure entre les valeurs de DFT et de GN est compris dans l'intervalle  $[m-2\sigma ; m+2\sigma]$  avec  $m$  : valeur moyenne des écarts et  $\sigma$  : écart-type (figure 11). Une seule valeur sort de cet intervalle. Ceci confirme le bon niveau de corrélation entre les données.

#### 4.3.4 DFT et ADHERA

Les seules mesures disponibles de CFL par l'appareil ADHERA sont celles effectuées à 40 km/h. La comparaison entre le DFT et l'ADHERA se limite donc à ce stade à une seule vitesse (figure 12). Une régression linéaire sur les données disponibles donne :

(4)  $DFT_{40} = 0,97 * CFL_{40} + 0,09$

$(r^2 = 0,90)$

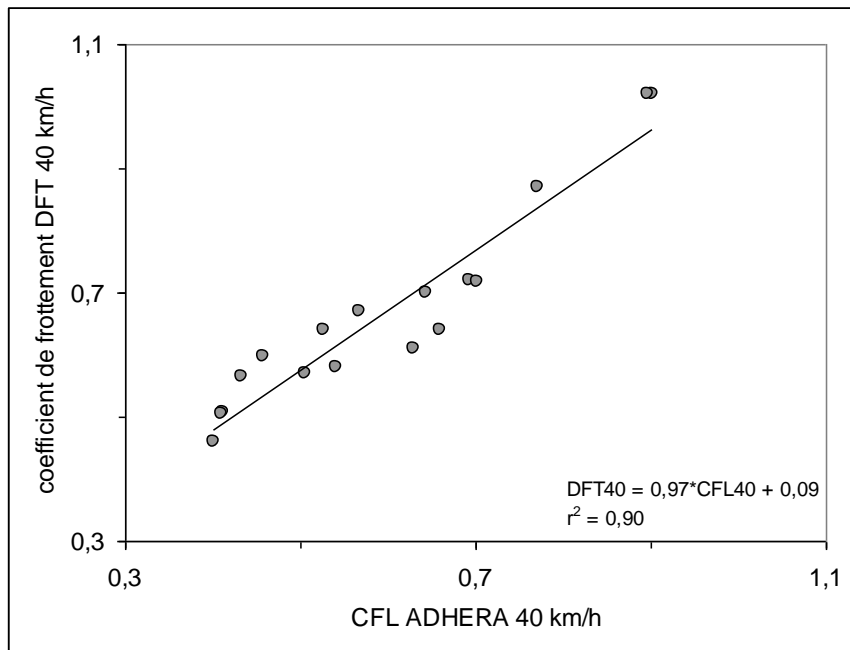


Figure 12 – Comparaison des mesures DFT/CFL

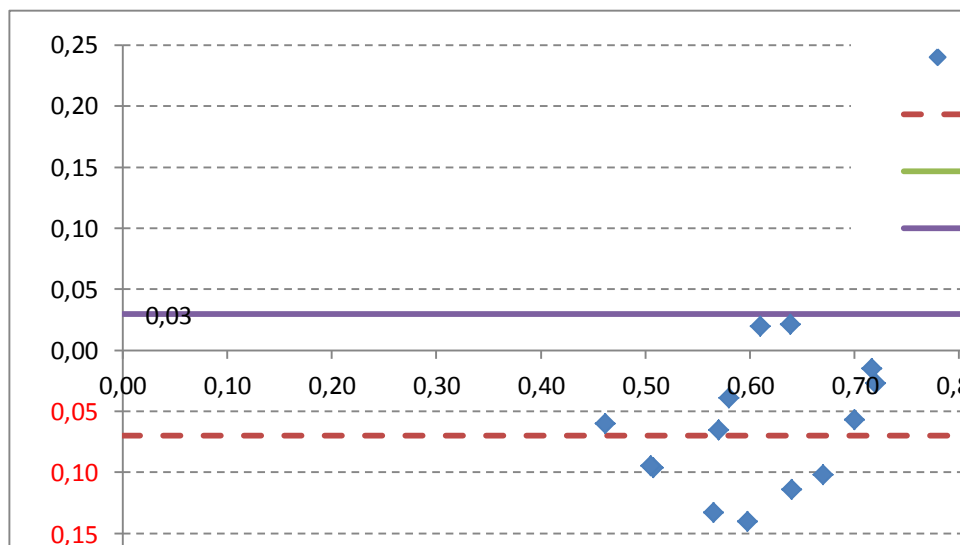


Figure 13 – Erreur de mesure entre DFT et CFL

On vérifie que l'écart de mesure entre les valeurs de DFT et de CFL est compris dans l'intervalle  $[m-2\sigma ; m+2\sigma]$  avec  $m$  : valeur moyenne des écarts et  $\sigma$  : écart-type (figure 13). Cela confirme le bon niveau de corrélation entre les données.

#### 4.3.5 DFT et SCRIM

La relation entre DFT60 et CFT (mesures SCRIM effectuées à 60 km/h) est présentée dans la figure 14. Deux points jugés anormaux (planche F, voir tableau 1) ont été élevés du graphe. La dispersion reste importante par rapport aux résultats obtenus avec les autres appareils de mesure :

$$(5) \quad \text{DFT60} = 0,96 * \text{CFT} - 0,10 \quad (r^2 = 0,59)$$

Des investigations complémentaires, notamment en réalisant davantage de comparaisons, sont nécessaires pour consolider la relation (5).

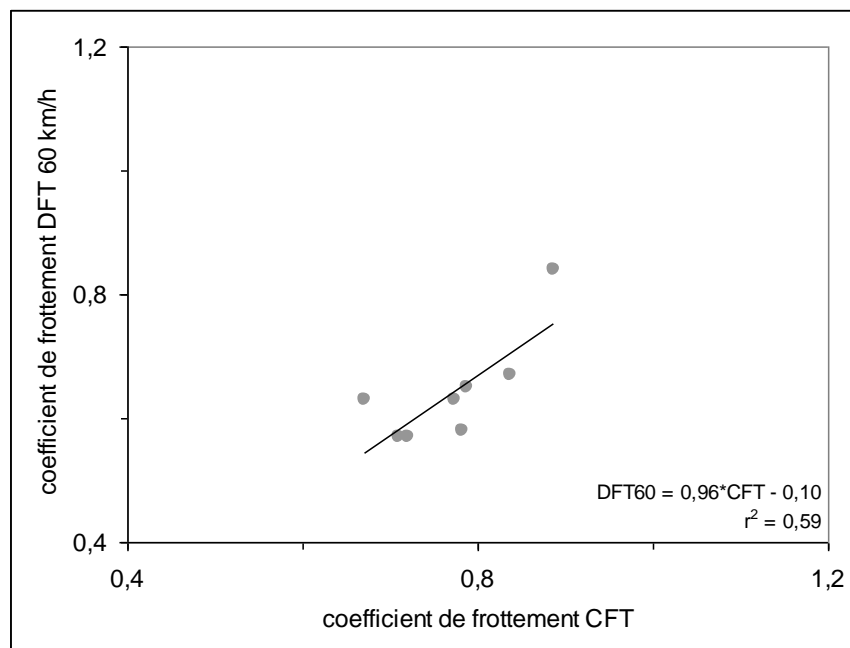


Figure 14 – Comparaison des mesures DFT/CFT

## 5 CONCLUSIONS

L'objet de cet article est de présenter la machine DFT (Dynamic Friction Tester), avec des exemples opérationnels ou de la recherche, et de la comparer aux appareils utilisés en France pour l'évaluation de l'adhérence des chaussées.

La machine DFT est transportable, facile d'utilisation et fournit des résultats (coefficient de frottement-vitesse de mesure) plus riches qu'une mesure ponctuelle de coefficient de frottement. Ces qualités permettent donc une utilisation aussi bien à l'extérieur (chantiers routiers, pistes d'essais) – hors circulation – qu'en laboratoire.

Les premiers résultats obtenus sur la piste de référence de l'Ifsttar à Nantes et sur quelques routes circulées montrent que le DFT peut être corrélé avec des appareils comme le pendule SRT, le GRIPTESTER ou encore l'ADHERA. Le lien avec le SCRIM nécessite quelques investigations complémentaires. L'utilisation du DFT pour le suivi de l'évolution de l'adhérence et la validation de l'essai de polissage Wehner/Schulze, évitant ainsi des



prélèvements de carottes dans la chaussée, peut être faite grâce à une bonne corrélation entre ces deux machines.

Après trois années d'utilisation du DFT, les sont donc assez prometteurs pour envisager d'autres applications pour cette machine, notamment dans des espaces réduits comme le milieu urbain (chaussée, trottoir, etc.) ne permettant pas le passage des véhicules encombrants (camions ou véhicules tractant une remorque) pour l'auscultation de la voirie.

## 6 BIBLIOGRAPHIE

- [1] [http://www.pole-geniecivil-ecoconstruction.fr/download\\_assets/13](http://www.pole-geniecivil-ecoconstruction.fr/download_assets/13)
- [2] ASTM E1911, Standard Test Method for Measuring Paved Surface Frictional Properties Using the Dynamic Friction Tester, 2009.
- [3] Zhao, D. Evolution de l'adhérence des chaussées : influence des matériaux, du vieillissement et du trafic, variations saisonnières, Thèse de doctorat, IFSTTAR, 2011.
- [4] Beautru, Y. Effet des films d'eau minces sur l'adhérence des chaussées, Thèse de doctorat, IFSTTAR, 2012.
- [5] Do, M.-T., Kane, M., de Larrard, F., Tang, Z. Essai de polissage Wehner et Schulze, Revue Générale des routes et des aéroports (RGRA), vol. 875, p.79-84, avril 2009.
- [6] CEN/TS 15901-7 (2009) Procedure for determining the skid resistance of a pavement surface using a device with longitudinal fixed slip ratio (LFCG): the Griptest.
- [7] CEN/TS 15901-3, (2009) Procedure for determining the skid resistance of a pavement surface using a device with longitudinal controlled slip (LFCA): the ADHERA.
- [8] CEN/TS 15901-6 (2009) Procedure for determining the skid resistance of a pavement surface by measurement of the sideways force coefficient (SFCS): the SCRIM.
- [9] NF EN 13036-4, Caractéristiques de surface des routes et aéroports - Caractéristiques de surface des routes et aéroports - Méthode d'essai - Partie 4 : méthode d'essai pour mesurer l'adhérence d'une surface : l'essai au pendule, Mars 2012.