



**Portable Tester Friction (PFT)
Mesures du coefficient de frottement
dynamique de revêtements de sol**

Portable Tester Friction (PFT) Mesures du coefficient de frottement dynamique de revêtements de sol

Patrice Marchal
Michel Jacques

Département Ingénierie des équipements de travail
Laboratoire Prévention technique des équipements
de protection individuelle

NS 317
janvier 2014

Résumé :

Le Portable Tester Friction (PFT) est un appareil destiné à mesurer le coefficient de frottement dynamique (μ_d) d'un revêtement de sol en laboratoire et sur site.

Ce document décrit le protocole de mesure avec le PFT et les résultats de mesures effectués sur un panel de quinze revêtements de sol de caractéristiques différentes (matériaux, états de surface) réalisées en présence de deux polluants (huile et solution d'eau).

Le PFT présente une très bonne sensibilité et une très bonne répétabilité.

Ces résultats ont été comparés avec une évaluation psychophysique de la glissance des revêtements de sol. La comparaison montre que les mesures du coefficient de frottement dynamique avec le PFT sont corrélées avec le ressenti de la glissance par les sujets d'essais.

En outre, le PFT a été comparées avec un PFT ancienne génération en présence d'huile. Ils donnent des résultats proches.

Abstract:

Portable Friction Tester (PFT) is a device test bench intended to measure, in laboratory and on site, the dynamic friction coefficient (μ_d) of a floor covering.

This document gives the measurement protocol with the PFT and the results of measurements performed on a panel of fifteen floor coverings having different characteristics (materials, states of surface), realized in the presence of two pollutants (oil and solution of water).

PFT presents a very good sensibility and a very good repeatability.

These results were compared with a psychophysical evaluation of the floor covering slip resistance. The comparison shows that the measurements of the dynamic friction coefficient with PFT are correlated to the slipperiness feeling by the trial subjects.

In addition, PFT was compared with an older generation PFT in presence of oil. They give close results.

Sommaire

1. Introduction	3
2. Matériel et analyse	3
2.1. Portable Tester Friction (PFT)	3
2.2. Revêtements de sol	4
2.3. Polluants	4
2.4. Evaluation psychophysique	4
2.5. Comparaison du PFT avec un PFT ancienne génération	5
3. Résultats	5
3.1. Mesures PFT	5
3.2. Répétabilité	6
3.3. Validation du PFT	6
3.3.1. Polluant : huile	6
3.3.2. Polluant : solution d'eau	8
3.4. Comparaison du PFT avec un PFT ancienne génération	9
4. Conclusion	10
5. Bibliographie	11
Annexe : Identification et description des revêtements de sol mesurés	12

1. Introduction

Le Portable Tester Friction (PFT) est un appareil destiné à mesurer le coefficient de frottement dynamique (μ_d) d'un revêtement de sol (cf. figure 1). Il a été mis au point par le VTI (Swedish Road and Traffic Research Institute) en Suède dans les années 1980.

Ce document décrit le protocole de mesure du coefficient de frottement dynamique (μ_d) avec le PFT. Il présente les essais en laboratoire sur des revêtements de sol différents (matériaux, états de surface), avec les deux polluants et l'analyse des mesures. Les résultats ont été comparés avec des évaluations psychophysiques afin d'en vérifier la corrélation avec le ressenti des personnes [1]. Deux PFT de générations différentes ont été comparés.

Il fait suite à l'étude intitulée : « Comparaison de méthodes de mesure du coefficient de frottement de revêtements de sol » [2] qui avait pour objectif de comparer quatre méthodes de mesure de la glissance des revêtements de sol. Les méthodes retenues pour cette étude étaient :

- le plan incliné issu de la norme DIN 51130,
- le pendule SRT développé en Grande-Bretagne décrit dans la norme EN 13036-4,
- le LabINRS développé par l'INRS,
- le Portable Tester Friction utilisé par l'INRS.

2. Matériel et analyse

2.1. Portable Tester Friction (PFT)

Le Portable Tester Friction (cf. figure 1) utilise le principe de la roue freinée. Lorsque l'appareil est en mouvement, les deux roues arrière entraînent un réducteur par l'intermédiaire d'une chaîne. Ce réducteur implique une vitesse de rotation inférieure à la roue test avant, générant ainsi une force de résistance au glissement entre le sol et la roue test. Cette force active un capteur délivrant un signal électrique proportionnel à la résistance au glissement. La roue test "INRS" est recouverte d'une bande d'élastomère lisse de formulation identique à celle d'une semelle de chaussure de sécurité, dont la dureté est de 80 ± 5 degrés shore. Un réservoir de polluant (huile ou solution d'eau) situé au-dessus de la roue test assure la lubrification entre celle-ci et le revêtement de sol. Un interrupteur placé sur la barre de poussée permet de sélectionner la longueur de mesurage.

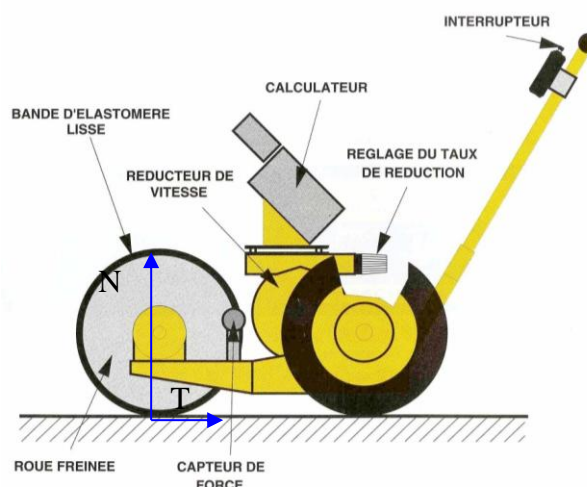


Figure 1. Représentation schématique du PFT

Le coefficient de frottement dynamique μ_d est mesuré à vitesse stabilisée. Il est égal au rapport du module de la force horizontale F_t de résistance au glissement sur le module de la force verticale de réaction du sol F_n au point de contact de la roue test : $\mu_d = F_t / F_n$.

Dans ces conditions (formulation et géométrie de l'élastomère, charge verticale, vitesse de frottement, viscosité du lubrifiant), la valeur du coefficient de frottement recommandée pour assurer une bonne sécurité lors des déplacements piétonniers doit être égale ou supérieure à 0,30 [3, 4, 5].

Les mesures sont effectuées à la température ambiante du local, les revêtements de sol étant nettoyés avant les essais.

Trois passages minimum sont effectués sans mesure, afin de lubrifier uniformément la zone de mesurage. Cinq mesures minimum sont réalisées sur chaque revêtement de sol. L'appareil est poussé à vitesse constante de 0,4 m/s contrôlée sur le tachymètre. Le résultat pris en compte est la moyenne arithmétique calculée sur les cinq mesures.

2.2 Revêtements de sol

Un panel de quinze revêtements de sol différents a été défini afin de couvrir une gamme de coefficients de frottement suffisamment étendue et de matériaux différents. La description des revêtements de sol se trouve en annexe.

La dimension des échantillons utilisés était de 1,5 x 0,46 m.

2.3. Polluants

Les revêtements de sol peuvent être glissants si un polluant est présent entre la chaussure ou le pied nu et le revêtement de sol. Deux polluants ont été choisis pour représenter une majorité de situations rencontrées en entreprises :

- huile minérale, de viscosité SAE 10W30. Ce polluant est représentatif des situations où l'on rencontre des sols recouverts de salissures grasses,
- solution d'eau contenant 1 g/l d'agent mouillant neutre (dodécylsulfate de sodium - ou sulfate de lauryl à 98 %). Ce polluant est représentatif des situations où l'on rencontre des sols recouverts d'eau souillée ou savonneuse.

Les mesures ont été effectuées successivement avec les deux polluants, les revêtements de sol étant dégraissés et nettoyés avant les essais.

2.4. Evaluation psychophysique

La méthode d'évaluation psychophysique de la glissance [1] des revêtements de sol permet d'établir un classement subjectif de référence des échantillons. Développée par l'INRS, elle est dérivée de la méthode de Thurstone, méthode dite de comparaison par paires.

Les évaluateurs comparent deux à deux les revêtements de sol. Ils évoluent sur les différents revêtements et génèrent des accélérations et des arrêts brutaux selon le protocole établi. Pour chaque comparaison, ils donnent un avis sur le ressenti de la glissance entre les deux revêtements de sol : ils désignent le plus glissant ou indiquent s'ils les considèrent équivalents. Douze évaluateurs ont réalisé les essais psychophysiques.

Les revêtements de sol sont évalués en présence d'un polluant successivement dans les deux configurations suivantes :

- avec l'huile minérale, les évaluateurs étaient équipés de chaussures de sécurité spécifiques : New 1000 de marque « Gaston Mille ». Le coefficient de frottement de toutes les chaussures a été mesuré dès réception selon la norme EN 13287 afin de vérifier leurs caractéristiques d'adhérence,
- avec la solution d'eau, les évaluateurs étaient pieds nus.

Pour comparer deux revêtements de sol et permettre aux évaluateurs de réaliser les évolutions demandées et de se déplacer naturellement, chaque revêtement était posé dans deux bacs inox de dimension 1,5 x 0,46 m. Ainsi la longueur d'essai par échantillon était de 3 m et la longueur totale d'évolution de 6 m.

2.5. Comparaison du PFT avec un PFT ancienne génération

Cette étude a permis de comparer le PFT avec un PFT ancienne génération acheté dans les années 1990. Ils sont très proches techniquement l'un de l'autre. La différence principale entre les deux appareils se trouve au niveau du réducteur réglable permettant de faire varier la différence de vitesse entre la roue avant et les roues arrière. Sur le PFT le taux de réduction est fixé à 25 %, sur le PFT ancienne génération, il est réglable. Dans le cadre de cette étude, il a été réglé à 25 %.

3. Résultats

3.1. Mesures PFT

Les tableaux 1 et 2 donnent les résultats des mesures avec le PFT du coefficient de frottement des quinze revêtements de sol avec les deux polluants huile et solution d'eau. Pour chaque revêtement de sol, ils présentent les résultats des cinq mesures consécutives, le coefficient retenu (moyenne des cinq mesures) et l'écart-type en valeur absolue et en relative.

Pour chaque appareil, l'ordre dans lequel les revêtements de sol ont été mesurés est le même. Les roues tests sont neuves au départ de la série de mesures.

Référence échantillon	Mesure 1	Mesure 2	Mesure 3	Mesure 4	Mesure 5	Moyenne	Ecart-type	(Ecart-type /coef) %
A	0,46	0,46	0,47	0,47	0,46	0,46	0,005	1,18
B	0,46	0,46	0,44	0,45	0,44	0,45	0,010	2,22
C	0,11	0,09	0,09	0,09	0,10	0,10	0,015	8,54
D	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,00
K	0,21	0,2	0,2	0,21	0,18	0,20	0,012	6,12
I	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,00
H	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,00
E	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,00
R	0,29	0,3	0,29	0,3	0,29	0,29	0,005	1,86
N	0,33	0,29	0,32	0,32	0,29	0,31	0,019	6,03
M	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,00
L	0,52	0,5	0,44	0,52	0,51	0,50	0,033	6,72
X	0,49	0,54	0,49	0,49	0,49	0,50	0,022	4,47
U	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,00
S	0,23	0,25	0,24	0,23	0,24	0,24	0,008	3,52

Tableau 1. Résultats des mesures du coefficient de frottement avec le PFT avec l'huile

Référence échantillon	Mesure 1	Mesure 2	Mesure 3	Mesure 4	Mesure 5	Moyenne	Ecart-type	(Ecart-type /coef) %
A	0,63	0,61	0,61	0,62	0,62	0,62	0,008	1,36
B	0,56	0,52	0,55	0,54	0,54	0,54	0,015	2,73
C	0,55	0,58	0,55	0,56	0,55	0,56	0,013	2,34
D	0,53	0,53	0,53	0,52	0,52	0,53	0,005	1,04
K	0,55	0,55	0,55	0,57	0,54	0,55	0,011	1,98
I	0,36	0,34	0,35	0,35	0,35	0,35	0,007	2,02
H	0,15	0,17	0,17	0,18	0,18	0,17	0,012	7,20
E	0,33	0,34	0,34	0,34	0,33	0,34	0,005	1,63
R	0,59	0,59	0,58	0,58	0,59	0,59	0,005	0,93
N	0,69	0,69	0,68	0,69	0,69	0,69	0,004	0,65
M	0,14	0,11	0,11	0,11	0,10	0,11	0,015	13,58
L	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,000	0,00
X	0,83	0,83	0,84	0,85	0,82	0,83	0,011	1,37
U	0,20	0,20	0,19	0,2	0,18	0,19	0,009	4,61
S	0,44	0,43	0,42	0,42	0,40	0,42	0,015	3,51

Tableau 2. Résultats des mesures du coefficient de frottement avec le PFT avec la solution d'eau

3.2. Répétabilité

Avec l'huile, les écarts-types montrent une bonne répétabilité. En relatif, ils sont tous inférieurs à 6 % sauf pour l'échantillon C pour lequel il est égal à 8,5 %. Son coefficient de frottement étant très faible, la valeur relative n'a pas de sens et n'est pas significative vis-à-vis de la mesure.

Avec la solution d'eau, les écarts-types montrent une bonne répétabilité. En relatif, ils sont tous inférieurs à 5 % sauf pour les échantillons H et M pour lesquels ils sont respectivement égaux à 7,2 % et 13,6 %. Leurs coefficients de frottement étant très faibles, leurs valeurs relatives n'ont pas de sens et ne sont pas significatives vis-à-vis de la mesure.

3.3. Validation du PFT

Pour valider les mesures avec le PFT, les résultats de mesures du coefficient de frottement des revêtements de sol sont comparés avec ceux des évaluations psychophysiques.

3.3.1. Polluant : huile

Le tableau 3 présente les résultats de mesures du coefficient de frottement et des évaluations du ressenti de la glissance des revêtements de sol en présence d'huile.

La référence [1] définit la notion de « score » associé à l'évaluation du ressenti de la glissance par les sujets.

Réf. échantillon	PFT Huile	Psychophysique Huile
	[μ d]	[score]
M	0	2
U	0	20,5
H	0	23,5
I	0	37,5
E	0	43
C	0,1	69,5
D	0	71,5
S	0,24	93,5
R	0,29	97
K	0,2	98
N	0,31	121
B	0,45	128,5
A	0,46	135,5
X	0,5	155
L	0,5	165

Tableau 3. Résultats des mesures de glissance avec l'huile

A partir du tableau 3, la figure 2 permet de comparer les classements des revêtements de sol obtenus avec chacune des méthodes.

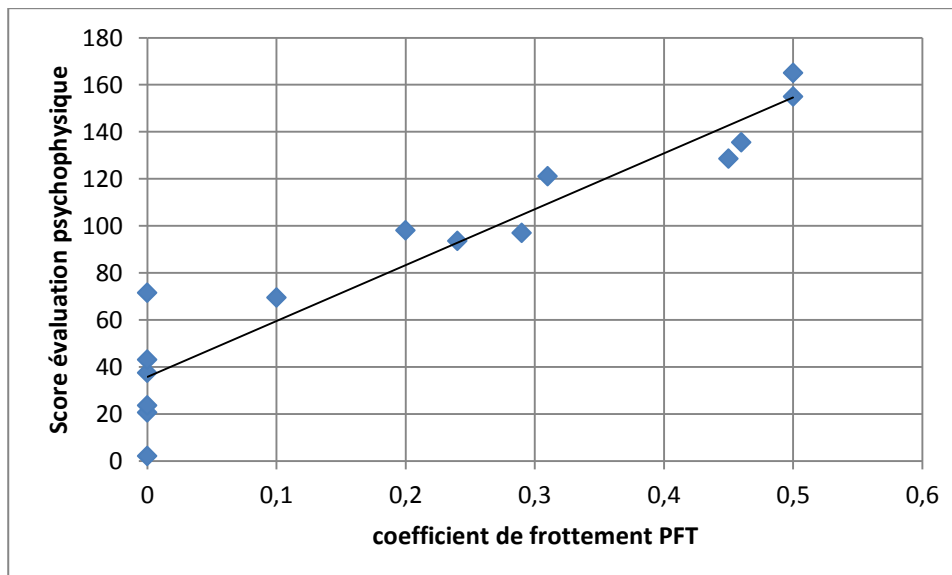


Figure 2. Comparaison des mesures de glissance avec la solution d'eau

Avec l'huile, si l'on ne tient pas compte des mesures à 0 avec le PFT, les points montrent une liaison linéaire. Le coefficient de corrélation des rangs de Spearman entre le classement obtenu avec la méthode psychophysique et celui avec le PFT vaut 0,82.

Au niveau de confiance de 99 %, le PFT est corrélé avec la méthode d'évaluation psychophysique.

3.3.2. Polluant : solution d'eau

Le tableau 4 présente les résultats de mesures du coefficient de frottement et des évaluations du ressenti de la glissance des revêtements de sol en présence de la solution d'eau. La référence [1] définit la notion de « score » associé à l'évaluation du ressenti de la glissance par les sujets.

Réf. échantillon	PFT Eau	Psychophysique Eau
	[μ d]	[Score]
M	0,11	0,5
U	0,19	19,5
I	0,35	20,5
E	0,34	51,5
R	0,59	53
H	0,17	60
S	0,42	73
K	0,55	79
C	0,56	88
D	0,53	106
B	0,54	122
A	0,62	126,5
N	0,69	143
L	0,93	155,5
X	0,83	162

Tableau 4. Résultats des mesures de glissance avec la solution d'eau

A partir du tableau 4, la figure 3 permet de comparer les classements des revêtements de sol obtenus avec chacune des méthodes.

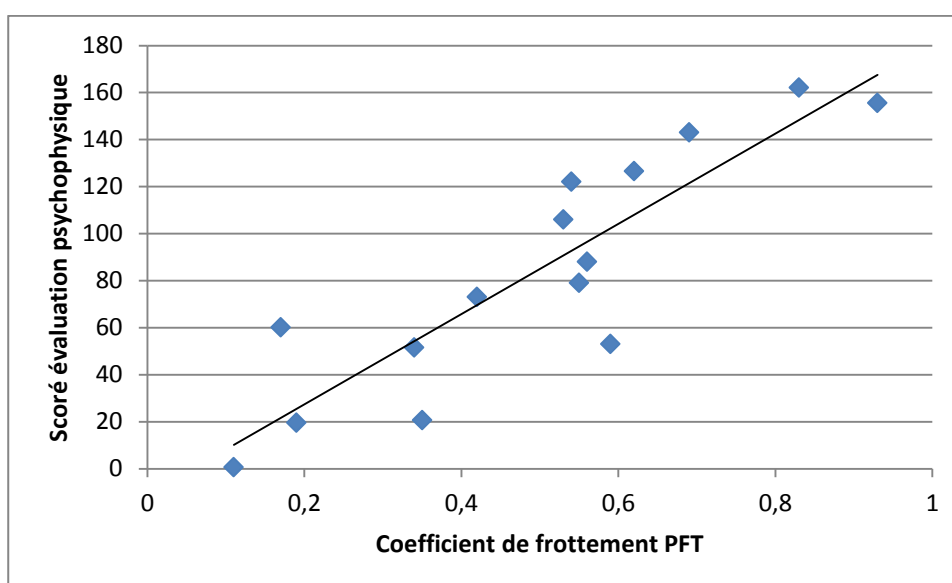


Figure 3. Comparaison des mesures de glissance en présence de la solution d'eau

Avec la solution d'eau, les points montrent une liaison linéaire. Le coefficient de corrélation des rangs de Spearman entre le classement obtenu avec la méthode psychophysique et celui avec le PFT vaut 0,86.

Au niveau de confiance de 99 %, le PFT est corrélé avec la méthode d'évaluation psychophysique.

3.4. Comparaison du PFT avec un PFT ancienne génération

Une étude statistique a été réalisée afin de déterminer si les mesures du coefficient de frottement obtenues avec le PFT ancienne génération sont corrélées à celles obtenues avec le PFT pour le polluant huile. Le tableau 5 donne les résultats des mesures avec le PFT ancienne génération du coefficient de frottement des quinze revêtements de sol avec l'huile.

Référence échantillon	Mesure 1	Mesure 2	Mesure 3	Mesure 4	Mesure 5	Moyenne	Ecart-type	(Ecart-type /coef) %
A	0,41	0,41	0,40	0,41	0,38	0,41	0,014	3,50
B	0,41	0,40	0,40	0,41	0,40	0,41	0,006	1,46
C	0,10	0,10	0,10	0,11	0,10	0,10	0,005	4,86
D	0,03	0,03	0,04	0,05	0,03	0,04	0,010	24,85
K	0,17	0,17	0,17	0,17	0,21	0,18	0,015	8,08
I	0,03	0,03	0,03	0,02	0,03	0,03	0,005	15,97
H	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,000	0,00
E	0,03	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,005	13,98
R	0,24	0,25	0,25	0,26	0,26	0,25	0,009	3,61
N	0,29	0,33	0,29	0,31	0,31	0,31	0,013	4,37
M	0,02	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,006	39,12
L	0,49	0,50	0,44	0,48	0,49	0,48	0,026	5,33
X	0,55	0,52	0,53	0,53	0,52	0,53	0,009	1,71
U	0,03	0,05	0,04	0,04	0,05	0,05	0,009	19,92
S	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,000	0,00

Tableau 5. Résultats des mesures du coefficient de frottement avec le PFT ancienne génération avec l'huile

Les coefficients de frottements inférieurs à 0,05 sont éliminés de l'analyse car ils sont considérés comme des points extrêmes : ils sont dans la limite de sensibilité des PFT, le PFT les arrondit à 0 et le PFT ancienne génération donne des valeurs variant de 0,02 à 0,05.

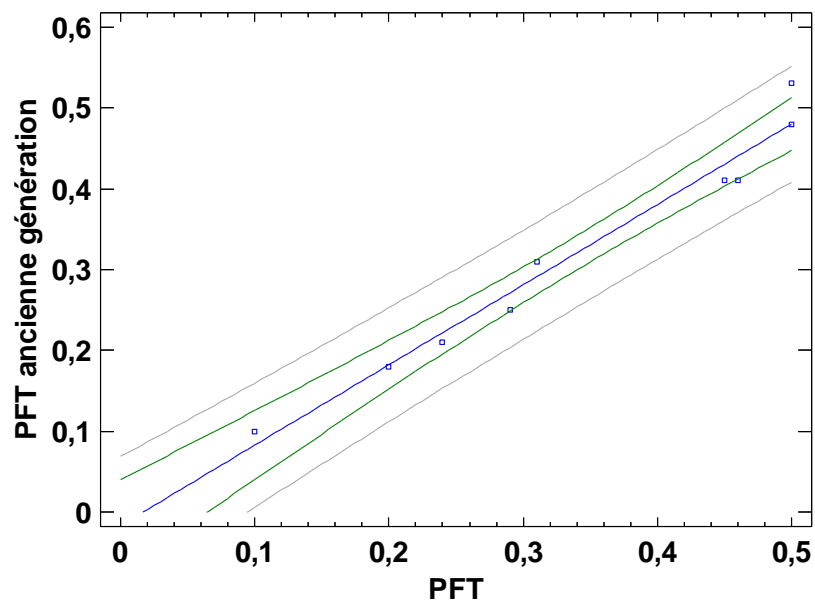


Figure 4. Comparaison du PFT en fonction du PFT ancienne génération en présence d'huile

Les résultats statistiques donnent :

- coefficient de corrélation de Pearson : 0,98
- coefficient de corrélation de Spearman : 0,99
- R-carré : 97 %
- estimation de l'écart-type du résidu : 0,027

La figure 4 montre une liaison linéaire entre les mesures du PFT et celles du PFT ancienne génération.

L'équation du modèle ajusté est : $PFT = 0,026 + 0,98 * PFT \text{ ancienne génération}$.

La statistique de R-carré indique que le modèle ajusté explique 97 % de la variabilité du PFT.

Le coefficient de corrélation de Spearman vaut 0,99, ce qui indique une relation forte entre les variables. L'erreur-type d'estimation indique que l'écart-type des résidus est de 0,027. Cette valeur peut être utilisée pour construire des limites de prévision pour de nouvelles observations.

4. Conclusion

Ce document décrit le protocole de mesure du coefficient de frottement dynamique (μ_d) avec le PFT. Le PFT permet d'effectuer des mesures en laboratoire et sur site.

Il présente les mesures en laboratoire sur un panel de 15 échantillons des revêtements de sol avec les deux polluants représentatifs de la majorité des situations (huile et solution d'eau). L'analyse montre que le PFT a une sensibilité élevée et une très bonne répétabilité et qu'il permet de discriminer les coefficients de frottement compris entre 0,1 à 0,8, c'est-à-dire autour de la spécification de l'INRS de 0,3, qui définit la limite à partir de laquelle un revêtement de sol est considéré comme glissant ou non glissant.

Ces résultats ont été comparés avec une évaluation psychophysique de la glissance des revêtements de sol. Les mesures du coefficient de frottement dynamique avec le PFT présentent une liaison linéaire avec les évaluations du ressenti de la glissance par les sujets d'essais. Le coefficient de corrélation de Spearman vaut 0,82 avec l'huile et 0,86 avec la solution d'eau. Ces résultats permettent de conclure que le PFT classe les revêtements de sol comme les évaluateurs par rapport au ressenti de la glissance, en présence d'huile ou de la solution d'eau.

En outre, le PFT a été comparé avec un PFT ancienne génération en présence d'huile. Ils donnent des résultats proches.

5. Bibliographie

- [1] MARCHAL P., JACQUES M. – Evaluations psychophysiques en laboratoire de la glissance de revêtements de sol. Hygiène et sécurité du travail, ND 2374, 1er trimestre 2013, 230, pp. 29-35.
- [2] MARCHAL P., JACQUES M., SIGARI A. – Comparaison des méthodes de mesures du coefficient de frottement des revêtements de sol. Cahier 3738, e-cahiers du CSTB, juillet 2013, 22 p.
- [3] LECLERCQ S., TISSERAND M., SAULNIER H. - Sols antidérapants. Critères d'évaluation de la résistance au glissement. Application aux sols des industries de l'alimentation. Cahiers de Notes Documentaires, ND 1853-145-91, pp.671-678.
- [4] TISSERAND M., LECLERCQ S., SAULNIER H. - Exigences pour une norme de mesure de la glissance des sols. Etude documentaire et discussion. Cahiers de Notes Documentaires, ND 1987-159-95, pp. 191-199.
- [5] Guide des revêtements de sol répondant aux critères « Hygiène - Sécurité - Aptitude à l'utilisation » pour les locaux de fabrication de produits alimentaires. CNAMTS (1998) 38 p.

Annexe : Identification et description des revêtements de sol mesurés

Identification	Description
A	Grès cérame non émaillé, surface structurée grain de riz, format 20 x 20 cm
B	Grès cérame non émaillé, surface structurée pointe de diamant, format 20 x 20 cm
C	Grès cérame non émaillé, surface structurée, format 50 x 50 cm
D	Grès cérame non émaillé, surface lisse, format 20 x 10 cm
E	Grès cérame non émaillé, surface lisse, format 40 x 40 cm
H	Pierre reconstituée à base de résine et minéraux, surface lisse finition adoucie, format 60 x 60 cm
I	Revêtement de sol résilient en PVC compact, surface légèrement granuleuse
K	Revêtement de sol résilient en PVC compact, surface lisse avec inclusion de particules minérales
L	Grès cérame non émaillé, surface rugueuse, format 20 x 20 cm
R	Système de revêtement de sol à base de résines avec des charges minérales de 0,3 - 0,7mm, surface rugueuse
M	Système de revêtement de sol auto-nivelant à base de résines, surface lisse
N	Système de revêtement de sol en mortier de résines, surface rugueuse
X	Système de revêtement de sol en mortier de résines, surface rugueuse
S	Grès cérame non émaillé, surface rugueuse, format 20 x 20 cm
U	Grès cérame non émaillé, surface lisse, format 60 x 60 cm.

Tableau 6. Liste des revêtements de sol