

LabINRS

**Mesures en laboratoire du coefficient
de frottement dynamique
de revêtements de sol**

NS 316

NOTE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE

LabINRS

Mesures en laboratoire 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 316
janvier 2014

Résumé :

Le LabINRS est un banc d'essai de laboratoire destiné à mesurer le coefficient de frottement dynamique (μ_d) d'un revêtement de sol.

Ce document décrit le protocole de mesures avec le LabINRS et les résultats de mesures effectuées 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 LabINRS présente une sensibilité élevée 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 LabINRS sont corrélées avec le ressenti de la glissance par les sujets d'essais.

Abstract:

LabINRS is a laboratory test bench intended to measure the dynamic friction coefficient (μ_d) of a floor covering.

This document gives the measurement protocol with the LabINRS 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).

LabINRS presents a high 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 LabINRS are correlated to the slipperiness feeling by the trial subjects.

Sommaire

1. Introduction	3
2. Matériel et méthode	3
2.1. LabINRS	3
2.2. Revêtements de sol	4
2.3. Polluants	4
2.4. Evaluation psychophysique	5
3. Résultats	5
3.1. Mesures au LabINRS	5
3.2. Répétabilité	7
3.3. Validation du LabINRS	7
3.3.1. Polluant : huile	7
3.3.2. Polluant : solution d'eau	8
4. Conclusion	10
5. Bibliographie	10
Annexe : Identification et description des revêtements de sol mesurés	11

1. Introduction

Le LabINRS est un banc d'essai de laboratoire destiné à mesurer le coefficient de frottement dynamique (μ_d) d'un revêtement de sol.

Ce document décrit le protocole de mesure à l'aide du LabINRS. Il présente les essais en laboratoire sur des revêtements de sol différents (matériaux, états de surface) 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].

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 (PFT) utilisé par l'INRS.

2. Matériel et méthode

2.1. LabINRS

Dans le cadre de ses travaux sur la prévention des chutes par glissade, l'INRS a mis au point et utilise une méthode de mesure de laboratoire permettant d'évaluer la résistance au glissement d'un revêtement de sol. Cette méthode est inspirée de la mesure de l'adhérence des chaussures de sécurité [3].

L'indice de frottement retenu pour caractériser la performance antidérapante d'un revêtement de sol est le coefficient de frottement dynamique (μ_d) : rapport du module de la force de frottement F_t , qui s'oppose au mouvement, et de celui de la force F_n normale au plan de friction [$\mu_d = F_t / F_n$].

Cette méthode utilise l'appareil LabINRS [4] (cf. figures 1, 2 et 3). L'essai est réalisé en présence d'un polluant (huile ou solution d'eau additionnée de sulfate de lauryl).

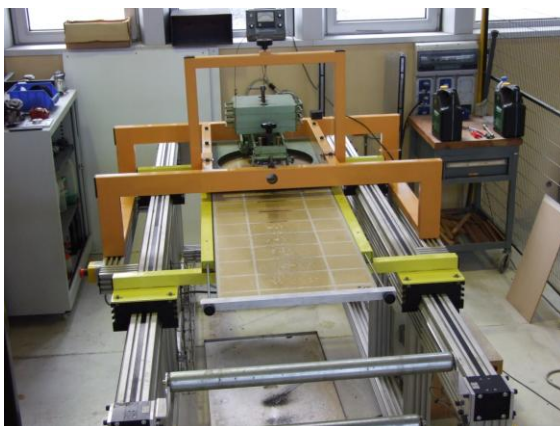


Figure 1. LabINRS

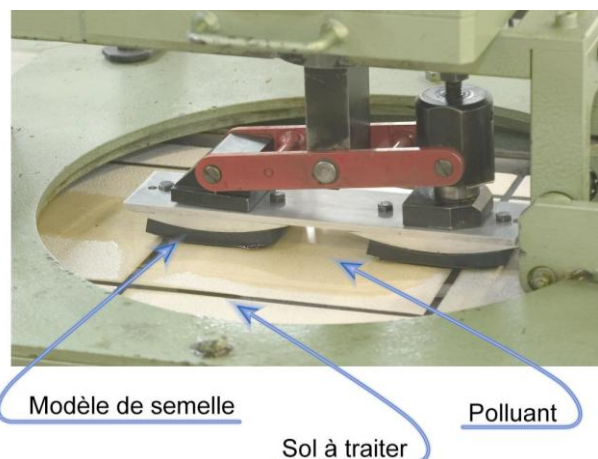


Figure 2. Élément de mesure du LabINRS

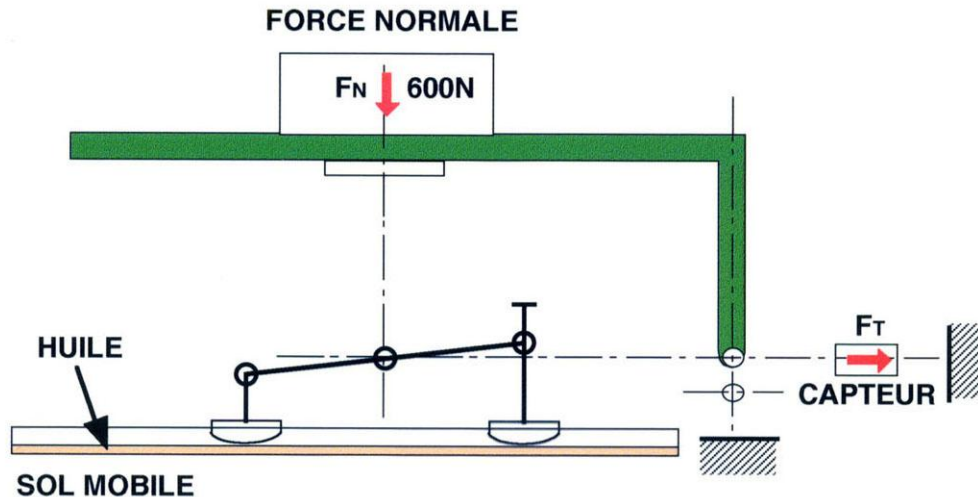


Figure 3. Schéma de principe du LabINRS

L'essai est effectué entre un échantillon du revêtement de sol à tester et un modèle de semelle posé à plat et comportant deux patins en élastomère lisse (polychloroprène de formulation identique à celle d'une semelle de chaussure de sécurité) de dureté 80 ± 5 degrés shore. La forme semi-cylindrique des patins d'élastomère facilite la pénétration du polluant à l'interface des corps en contact et évite les arcs-boutements de l'élastomère sur les reliefs des revêtements de sol (cf. figure 3). L'élastomère vulcanisé 2C920 est fourni par le LRCCP¹.

Le modèle de semelle supporte une charge de 600 N, l'éprouvette de sol à tester, recouverte de polluant, est animée d'un mouvement rectiligne alternatif dont la vitesse évolue en créneau par rapport au temps. La force de frottement dynamique F_t est mesurée à l'instant où la vitesse est stabilisée à 0,2 m/s.

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 [4, 5, 6].

Les mesures sont effectuées à la température de 23 ± 5 °C.

Tous les revêtements de sol sont évalués cinq fois par polluant. Entre chaque mesure, l'échantillon est enlevé du banc. 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 :

¹ Laboratoire de Recherches et de Contrôle du Caoutchouc et des Plastiques

- 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 ont été 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.

3. Résultats

3.1. Mesures au LabINRS

Les tableaux 1 et 2 donnent les résultats des mesures au LabINRS 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.

Référence du sol	Mesure 1	Mesure 2	Mesure 3	Mesure 4	Mesure 5	Coef μ d	Ecart-type	(Ecart-type /coef) %
A	0,44	0,42	0,44	0,41	0,41	0,42	0,015	3,61
B	0,37	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,004	1,18
C	0,18	0,18	0,18	0,19	0,19	0,19	0,005	2,88
D	0,08	0,10	0,10	0,09	0,08	0,09	0,010	11,11
E	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,008	0	0
H	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0	0
I	0,03	0,03	0,04	0,03	0,03	0,03	0,004	14,90
K	0,26	0,27	0,26	0,27	0,29	0,27	0,012	4,53
L	0,52	0,53	0,53	0,52	0,54	0,53	0,008	1,58
M	0	0	0	0	0	0	0	0
N	0,36	0,36	0,36	0,35	0,36	0,36	0,004	1,24
R	0,34	0,33	0,35	0,34	0,33	0,34	0,008	2,46
S	0,32	0,30	0,30	0,31	0,32	0,31	0,010	3,22
U	0	0	0	0	0	0	0	0
X	0,53	0,54	0,52	0,52	0,52	0,53	0,009	1,69

Tableau 1. Résultats des mesures du coefficient de frottement au LabINRS avec l'huile

Référence du sol	Mesure 1	Mesure 2	Mesure 3	Mesure 4	Mesure 5	Coef μ d	Ecart-type	(Ecart-type /coef) %
A	0,78	0,78	0,76	0,78	0,77	0,77	0,009	1,16
B	0,68	0,66	0,66	0,66	0,68	0,67	0,011	1,63
C	0,64	0,61	0,58	0,56	0,56	0,59	0,034	5,87
D	0,51	0,47	0,51	0,52	0,48	0,5	0,022	4,33
E	0,36	0,33	0,31	0,31	0,31	0,33	0,022	6,64
H	0,11	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,004	3,72
I	0,34	0,31	0,33	0,31	0,32	0,32	0,013	4,07
K	0,43	0,44	0,45	0,46	0,48	0,45	0,019	4,27
L	1,27	0,95	1	0,92	/	1,03	0,160	15,47
M	0,11	0,11	0,09	0,10	0,10	0,11	0,008	8,36
N	0,74	0,75	0,70	0,75	0,71	0,73	0,023	3,21
R	0,61	0,55	0,55	0,54	0,54	0,56	0,029	5,26
S	0,56	0,55	0,55	0,47	0,47	0,52	0,045	8,81
U	0,23	0,21	0,20	0,21	0,21	0,21	0,011	5,21
X	0,97	1	0,98	0,93	/	0,97	0,029	3,03

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

3.2. Répétabilité

L'analyse des écarts-types (cf. tableaux 1 et 2) permet d'évaluer la qualité de mesure du banc d'essais LabINRS.

Avec l'huile, les écarts-types montrent une bonne répétabilité. En relatif, ils sont tous inférieurs à 5 % sauf deux échantillons (D, I). Leurs coefficients de frottement sont très faibles (inférieurs à 0,10) et n'ont pas de signification vis-à-vis de la mesure.

Avec la solution d'eau, les écarts-types montrent une bonne répétabilité. En relatif, ils sont compris entre 1 et 9 % sauf un. L'échantillon L donne un écart relatif à 15,5 %. Ce revêtement de sol est un carrelage très adhérent. Son coefficient de frottement est égal à 1 et lors de la mesure, des vibrations importantes se produisent dans l'ensemble du banc d'essai. Cela entraîne un signal perturbé par un bruit important qui rend l'analyse difficile. Malgré un écart-type élevé, la valeur du coefficient de frottement est très supérieure à la valeur limite de 0,3 et permet de conclure aisément que le revêtement de sol est très adhérent.

Les écarts-types sont faibles et montrent une bonne répétabilité de la mesure avec les deux polluants étudiés.

3.3. Validation du LabINRS

Pour valider les mesures avec le LabINRS, 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	LabINRS Huile	Psychophysique Huile
	[μ d]	[score]
M	0	2
U	0	20,5
H	0,01	23,5
I	0,03	37,5
E	0,008	43
C	0,19	69,5
D	0,09	71,5
S	0,31	93,5
R	0,34	97
K	0,27	98
N	0,36	121
B	0,38	128,5
A	0,42	135,5
X	0,49	155
L	0,53	165

Tableau 3. Résultats des mesures de glissance en présence d'huile

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

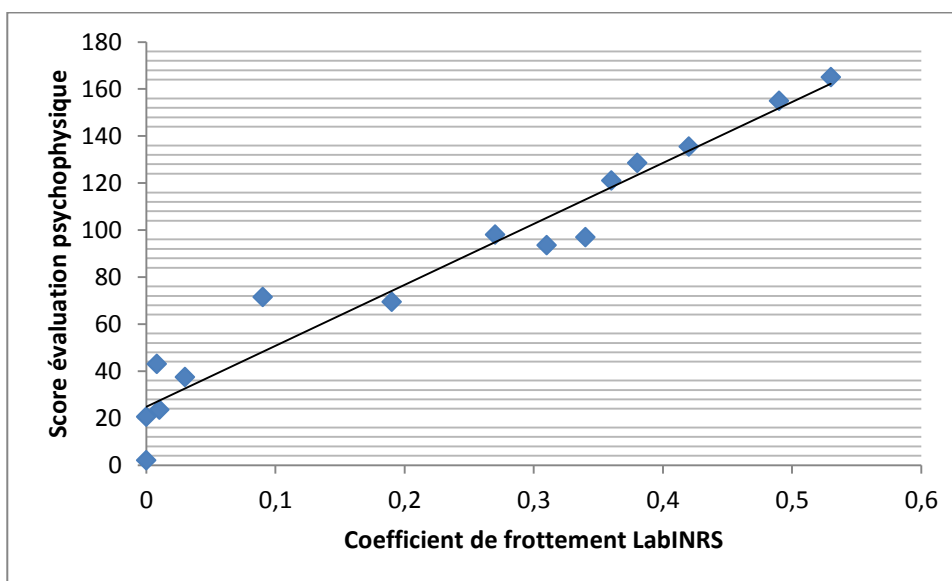


Figure 4. Comparaison des mesures obtenues au LabINRS avec les évaluations psychophysiques - Mesures en présence d'huile.

Avec l'huile, le graphique présente une liaison linéaire. Le coefficient de corrélation des rangs de Spearman entre le classement obtenu avec la méthode psychophysique et celui avec le LabINRS vaut 0,88.

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

3.3.2. Polluant : solution d'eau

Le tableau 4 présente les résultats des 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	LabINRS Eau	Psychophysique Eau
	[μ d]	[Score]
M	0,11	0,5
U	0,21	19,5
I	0,32	20,5
E	0,33	51,5
R	0,56	53
H	0,12	60
S	0,52	73
K	0,45	79
C	0,59	88
D	0,50	106
B	0,67	122
A	0,77	126,5
N	0,73	143
L	1,03	155,5
X	0,97	162

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

A partir du tableau 4, la figure 5 permet de comparer le classement des revêtements de sol obtenus avec chacune des méthodes.

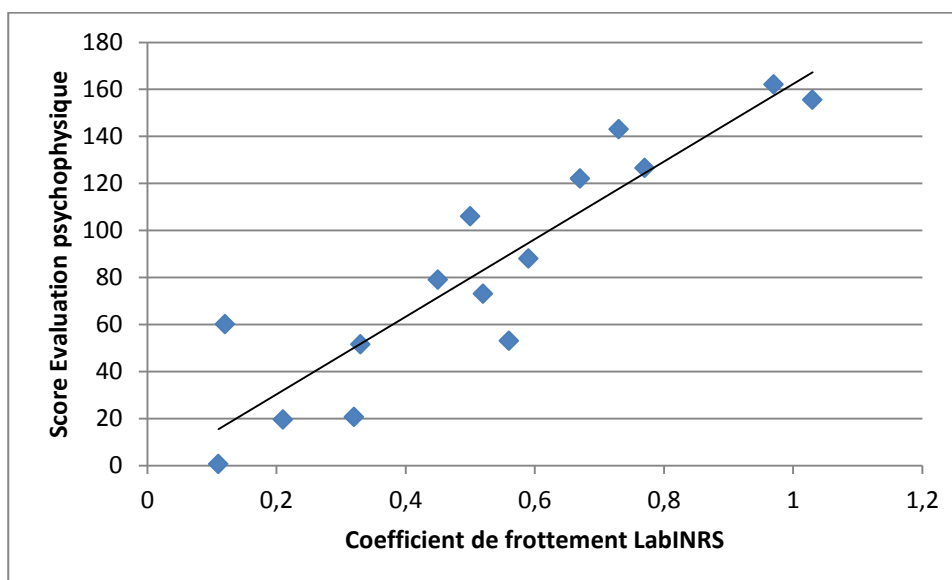


Figure 5. Comparaison des mesures obtenues au LabINRS avec les évaluations psychophysiques - Mesures en présence de la solution d'eau

Avec la solution d'eau, le graphique présente une liaison linéaire. Le coefficient de corrélation des rangs de Spearman entre le classement obtenu avec la méthode psychophysique et celui avec le LabINRS vaut 0,90. Au niveau de confiance de 99 %, le LabINRS est corrélé avec la méthode d'évaluation psychophysique.

4. Conclusion

Ce document décrit le protocole de mesure du coefficient de frottement dynamique (μ_d) avec le LabINRS. Le principe du banc d'essai LabINRS permet une mesure qui ne dépend pas de l'opérateur car celui-ci n'intervient pas dans la mesure. En revanche, seules les mesures en laboratoire, donc sur échantillons, sont possibles.

Il présente les mesures en laboratoire sur un panel de 15 échantillons des revêtements de sol ayant des caractéristiques différentes (matériaux, états de surface) avec les deux polluants représentatifs de la majorité des situations (huile et solution d'eau).

L'analyse montre que le LabINRS 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 LabINRS présentent une liaison linéaire avec les évaluations du ressenti de la glissance par les sujets d'essais. Le coefficient de corrélation de Spearman vaut 0,88 avec l'huile et 0,90 avec la solution d'eau. Ces résultats permettent de conclure que le LabINRS 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.

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] TISSERAND M., GROSDÉMANGE J.P. - Adhérence statique et dynamique des chaussures de sécurité. Chaussures montantes type brodequin. Rapport N°011/RE/A, janvier 1972, 42 p.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] 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 5. Liste des revêtements de sol