

2000

Conditions optimales d'utilisation des nettoyants à plancher : huile à moteur et hydraulique sur le béton

François Quirion

QI Recherche et Développement Technologique inc.

Philippe L'Homme

QI Recherche et Développement Technologique inc.

Suivez ce contenu et d'autres travaux à l'adresse suivante: <https://pharesst.irsst.qc.ca/rapports-scientifique>

Citation recommandée

Quirion, F. et L'Homme, P. (2000). *Conditions optimales d'utilisation des nettoyants à plancher : huile à moteur et hydraulique sur le béton* (Rapport n° R-249). IRSST.

Ce document vous est proposé en libre accès et gratuitement par PhareSST. Il a été accepté pour inclusion dans Rapports de recherche scientifique par un administrateur autorisé de PhareSST. Pour plus d'informations, veuillez contacter pharesst@irsst.qc.ca.

**Conditions optimales
d'utilisation des nettoyants
à plancher : huile à moteur
et hydraulique sur le béton**



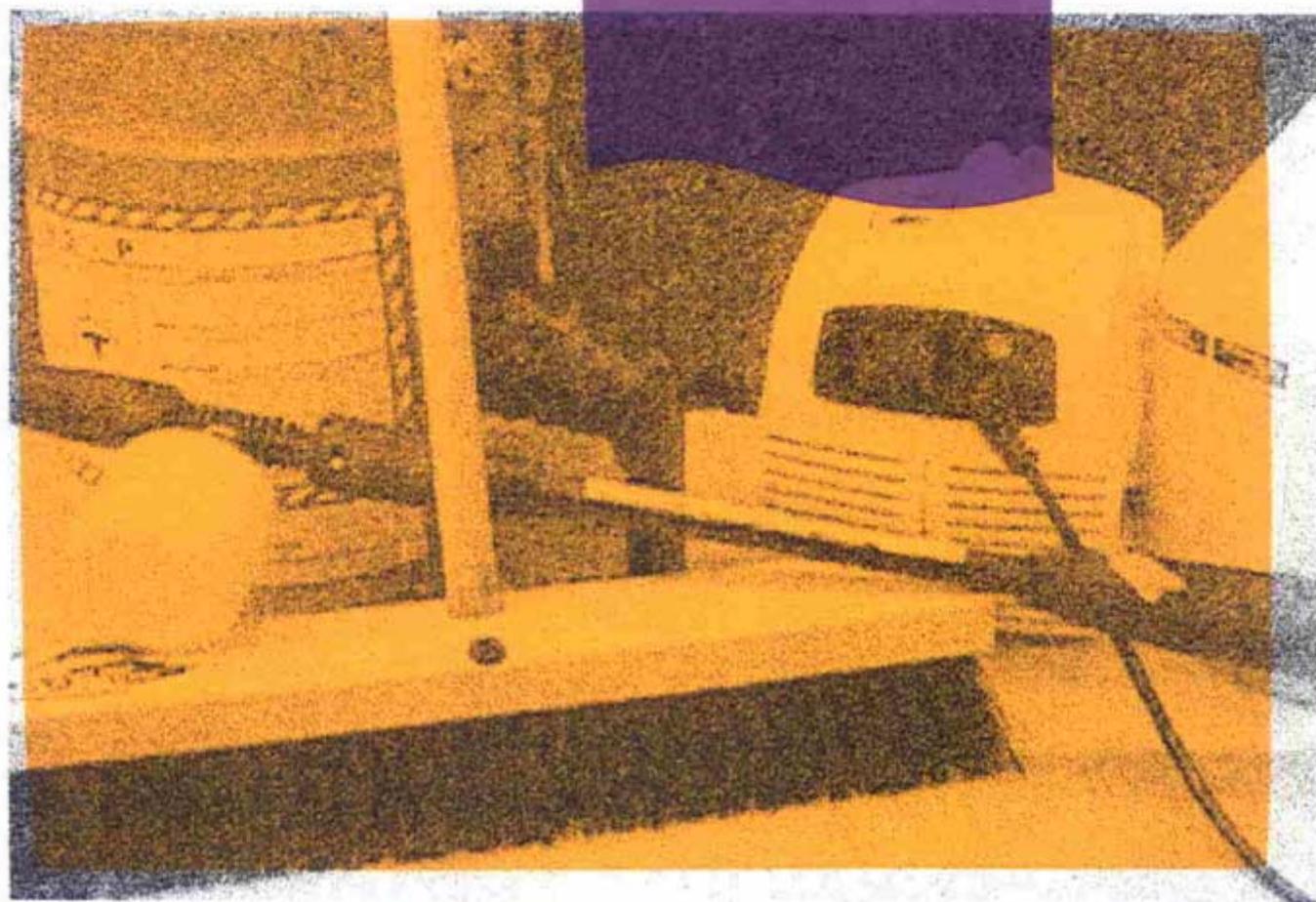
**ÉTUDES ET
RECHERCHES**

François Quirion
Philippe L'Homme

août 2000

R-249

RAPPORT



IRSST
Institut de recherche
en santé et en sécurité
du travail du Québec

La recherche, pour mieux comprendre

L'Institut de recherche en santé et en sécurité du travail du Québec (IRSST) est un organisme de recherche scientifique voué à l'identification et à l'élimination à la source des dangers professionnels, et à la réadaptation des travailleurs qui en sont victimes. Financé par la CSST, l'Institut réalise et finance, par subvention ou contrats, des recherches qui visent à réduire les coûts humains et financiers occasionnés par les accidents de travail et les maladies professionnelles.

Pour tout connaître de l'actualité de la recherche menée ou financée par l'IRSST, abonnez-vous gratuitement au magazine *Prévention au travail*, publié conjointement par la CSST et l'Institut.

Les résultats des travaux de l'Institut sont présentés dans une série de publications, disponibles sur demande à la Direction des communications.

Il est possible de se procurer le catalogue des publications de l'Institut et de s'abonner à *Prévention au travail* en écrivant à l'adresse au bas de cette page.

ATTENTION

Cette version numérique vous est offerte à titre d'information seulement. Bien que tout ait été mis en œuvre pour préserver la qualité des documents lors du transfert numérique, il se peut que certains caractères aient été omis, altérés ou effacés. Les données contenues dans les tableaux et graphiques doivent être vérifiées à l'aide de la version papier avant utilisation.

Dépôt légal
Bibliothèque nationale du Québec

IRSST - Direction des communications
505, boul. de Maisonneuve Ouest
Montréal (Québec)
H3A 3C2
Téléphone : (514) 288-1 551
Télécopieur: (514) 288-7636
Site internet : www.irsst.qc.ca
© Institut de recherche en santé
et en sécurité du travail du Québec,

Conditions optimales d'utilisation des nettoyants à plancher : huile à moteur et hydraulique sur le béton

François Quirion et Philippe L'Homme
QI Recherche et Développement Technologique inc.

ÉTUDES ET RECHERCHES

RAPPORT

Cliquez recherche
www.irsst.qc.ca



Cette publication est disponible
en version PDF
sur le site internet de l'IRSST.

Cette étude a été financée par l'IRSST. Les conclusions et recommandations sont celles des auteurs.

SOMMAIRE

Cette activité s'inscrit dans le cadre des efforts de la CSST pour développer des outils d'information visant à réduire l'incidence des lésions professionnelles causées par les chutes et glissades. Plus précisément, elle porte sur l'utilisation optimale des nettoyeurs industriels pour l'entretien des planchers de béton recouverts d'huile à moteur et d'huile hydraulique. Les secteurs visés sont les services automobiles, l'industrie manufacturière et les entrepôts et aires de stationnement.

Quelques tests réalisés sur le béton poli (flatté), sablé (sans revêtement) et scellé indiquent que le coefficient de friction dynamique intrinsèque du béton chute approximativement de 30% en présence d'huile à moteur usée et qu'un simple essuyage avec un linge sec, quoique efficace pour récupérer une bonne partie de l'huile à la surface, n'est pas suffisant pour régénérer les coefficients de friction dynamique intrinsèque qui prévalaient avant le déversement de l'huile. D'où l'importance de bien nettoyer les planchers de béton pour éliminer les accumulations d'huile à la surface.

L'approche expérimentale consistait à mesurer la réflectivité des surfaces de béton avant et après leur nettoyage afin d'évaluer la concentration résiduelle d'huile à la surface. Les surfaces du béton scellé (recouvert d'un scellant couleur mat) et du béton sablé ont été souillées avec de l'huile à moteur usée ou de l'huile à transmission automatique et nettoyées à la brosse ou au jet d'eau pressurisé avec l'eau et quatre nettoyeurs industriels. La composition des nettoyeurs industriels est très variable de sorte qu'il est difficile de définir des catégories. Pour tenir compte de cette variété, nous avons choisi un nettoyeur en poudre, un nettoyeur à base de glycols et deux nettoyeurs à base d'hydrocarbures.

Le béton sablé et le béton scellé se comportent très différemment. Ainsi, les huiles peuvent pénétrer dans le béton sablé et sont donc très difficile à déloger. Le béton sablé, et les bétons poreux en général, sont donc très difficile à entretenir en terme d'élimination des accumulations d'huile. L'huile à transmission automatique pénètre plus rapidement dans les bétons poreux à cause de sa viscosité plus faible que celle des huiles à moteur.

L'huile à moteur usée contient des résidus de carbone ainsi que de fines particules solides qui bloquent les pores du béton sablé lors de la pénétration. Il en résulte une couche résineuse qui demeure à la surface du béton sablé et ralentit la pénétration des déversements subséquents. Cette couche réduit aussi le coefficient de friction intrinsèque du béton sablé. L'absence d'entretien du béton sablé rend donc les planchers potentiellement glissant sur une période de temps qui augmente avec le niveau de souillure emprisonnée dans le béton et à sa surface.

Lorsque le béton est scellé, les huiles pénètrent peu et demeurent à la surface d'où elles peuvent être délogées facilement à l'aide d'un nettoyant industriel combiné à l'action mécanique du balai-brosse ou du jet d'eau pressurisé. L'entretien des bétons scellés est donc très facile, dans la mesure où l'action mécanique est suffisante. Par exemple, le nettoyage à la moppe ne semble pas suffisamment agressif puisqu'il s'est avéré inefficace pour nettoyer le béton scellé recouvert d'huile à moteur usée.

Les résultats des lavages ne permettent pas de distinguer entre les nettoyants utilisés. Pour le béton scellé, l'efficacité du nettoyage dépend beaucoup plus de la méthode de lavage que des ingrédients chimiques retrouvés dans les nettoyants.

Les nettoyants en poudre contiennent souvent une partie non soluble qui peut s'incruster dans les pores du béton sablé ou dans le scellant du béton scellé. L'utilisation de ce type de nettoyant requiert donc un bon rinçage pour éliminer ces particules qui peuvent contenir des ingrédients qui, mélangés à l'eau, rendront le plancher glissant. Les nettoyants industriels contiennent des ingrédients qui, à la longue, peuvent détériorer les scellants appliqués sur le béton. Il faut donc limiter le temps d'exposition des planchers scellés à ce type de nettoyants et prévoir un bon rinçage pour éliminer les traces d'hydrocarbures et d'éthers de glycols qui auraient pu pénétrer le scellant.

TABLE DES MATIÈRES

SOMMAIRE	3
TABLE DES MATIÈRES	5
LISTE DES FIGURES ET DES TABLEAUX	7
GLOSSAIRE	8
PROBLÉMATIQUE.....	9
PARAMÈTRES DE L'ÉTUDE.....	10
LES MÉTHODES DE LAVAGE DU BÉTON	10
LES ÉCHANTILLONS DE BÉTON.....	11
Béton poli	11
Béton sablé	11
Béton scellé.....	12
LES NETTOYANTS POUR PLANCHERS DE BÉTON	13
Nettoyants sélectionnés pour l'étude.....	14
LES AGENTS GLISSANTS : Huile à moteur et huile à transmission.....	15
PARTIE EXPÉRIMENTALE POUR LES ÉTUDES EN LABORATOIRE.....	16
Réflectivité.....	16
Couvance résiduelle sur le béton scellé.....	16
Tension interfaciale, angle de contact et adhérence des huiles.....	18
Coefficient de friction dynamique intrinsèque.....	19
PÉNÉTRATION DES HUILES DANS LE BÉTON POLI OU SABLÉ	21
Pénétration et coefficient de friction sur le béton poli.....	21
Pénétration et coefficient de friction sur le béton sablé.....	23
Noirceur du béton sablé en présence d'huile	27
PROCÉDURE POUR LE NETTOYAGE DES ÉCHANTILLONS DE BÉTON	28
NETTOYAGE DU BÉTON SCELLÉ	29
Adhérence des huiles au béton scellé.....	29
Impact des nettoyants sur l'intégrité du scellant couleur.....	30

Nettoyage à la brosse et au jet d'eau pressurisé du béton scellé	31
Résidus de lavage sur le béton scellé	32
Nettoyage à la moppe du béton scellé	33
NETTOYAGE DU BÉTON SABLÉ	35
Nettoyage normal à la brosse et au jet d'eau pressurisé du béton sablé	35
Nettoyage agressif du béton sablé	36
Résidus d'huile et de nettoyants sur le béton sablé et lavé.....	36
CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS.....	38
REMERCIEMENTS.....	39

LISTE DES FIGURES ET DES TABLEAUX

Figure 1 : Couvrance de l'huile sur le béton scellé	p : 17
Figure 2 : Pénétration des huiles sur le béton sablé	p : 23
Figure 3 : Pénétration et coefficient de friction lors de l'application d'huile à moteur usée sur le béton sablé propre et souillé	p : 24
Figure 4 : Corrélation entre la réflectivité et le coefficient de friction du béton sablé recouvert d'huile à moteur usée	p : 25
Figure 5 : Réflectivité du béton sablé selon le niveau de souillure.	p : 26
Figure 6 : Impact des nettoyeurs sur l'intégrité du scellant couleur	p : 30
Figure 7 : Couvrance résiduelle de l'huile sur le béton scellé	p : 31
Figure 8 : Angle de contact de l'eau sur le béton scellé après le lavage des huiles avec les nettoyeurs indiqués	p : 32
Figure 9 : Couvrance résiduelle sur le béton scellé après le nettoyage à la moppe	p : 33
Figure 10 : Coefficient de friction sur le béton scellé lavé à la moppe	p : 34
Figure 11 : Noirceur du béton sablé et souillé après un lavage avec les nettoyeurs indiqués	p : 35
Figure 12 : Angle de contact de l'eau sur le béton sablé et souillé après le lavage des huiles avec les nettoyeurs indiqués	p : 36
Tableau 1 : Sommaire des principaux paramètres de l'étude	p : 10
Tableau 2 : Composition du béton	p : 11
Tableau 3 : Ingrédients des nettoyeurs et leur famille	p : 13
Tableau 4 : Principaux ingrédients des nettoyeurs sélectionnés	p : 14
Tableau 5 : Propriétés physico-chimiques des nettoyeurs	p : 14
Tableau 6 : Propriétés physico-chimiques des huiles	p : 15
Tableau 7 : Coefficient de friction intrinsèque des bétons	p : 20
Tableau 8 : Coefficient de friction du béton poli propre et souillé	p : 22
Tableau 9 : Paramètres de lavage à la brosse et au jet d'eau	p : 28
Tableau 10 : Tension interfaciale entre les solutions de lavage et les huiles usées	p : 29
Tableau 11 : Angle de contact, Ad_{60} et W_a sur le béton scellé	p : 29

GLOSSAIRE

Béton poli	Le béton poli est obtenu par le polissage ou le flottage du béton alors qu'il est fraîchement coulé. Cette opération génère une surface lisse et lustrée riche en ciment.
Béton sablé	Dans cette étude, le béton sablé a été obtenu en sablant les échantillons de béton poli pour obtenir une surface poreuse.
Béton scellé	Béton sablé traité à l'acide muriatique et recouvert d'un scellant couleur.
Scellant couleur	Scellant pour maçonnerie et béton de TechniSeal, à base d'eau, d'acrylique et d'époxyde, ayant une couleur beige.
Protecteur	Scellant protecteur incolore de TechniSeal (clear) à base d'acrylique et d'uréthane recommandé pour la protection du scellant couleur.
Pénétration	Dans cette étude, la pénétration est associée au transfert des huiles de la surface vers l'intérieur du béton via les pores et les fissures.
Souillure	Représente les huiles qui sont emprisonnées dans le béton. Le niveau de souillure est exprimé en pourcentage de la capacité d'absorption d'huile par le béton.
Nettoyant (DG, DH et P)	Les nettoyants industriels combinent des tensioactifs à des éthers de glycols (DG) et/ou des hydrocarbures (DH). Ils sont souvent en poudres (P).
Agent glissant	Dans cette étude les agents glissants sont l'huile à moteur 10W30 neuve de Castrol, HMN, l'huile à moteur usée, HMU, et l'huile à transmission automatique usée, HTAU, provenant d'un service d'entretien automobile.
Glissance	Dans cette étude, la glissance exprime le risque de glisser sur un plancher.
Coefficient De friction dynamique intrinsèque (CDFD)	Coefficient de friction dynamique spécifique au plancher obtenu par le déplacement horizontal d'un chariot monté sur des pointes arrondies d'acier inoxydable. Dans cette étude, la pression d'appui est de 131 kPa et la vitesse horizontale est de 1.8 m/min. Les valeurs du CDFD intrinsèque sont comparées les unes aux autres pour identifier les conditions qui prévalent à la surface des échantillons testés.
Réflectivité (R)	Qualité d'une surface à réfléchir la lumière la frappant à un angle de 45°. La réflectivité d'une surface initialement matte, R_0 , augmente quand on y étale une couche d'huile. Lorsque la surface est saturée, la réflectivité atteint un plateau, R_p , et ne change plus. Représente la fraction de la surface recouverte par l'agent glissant. Elle est calculée à partir de la réflectivité, R , avec $C = (R - R_0) / (R_p - R_0)$. Une couvrance de 100% signifie que la surface est saturée, $R = R_p$. La couvrance est utilisée pour évaluer la saturation en mesurant R en fonction de la concentration de surface de l'agent glissant.
Couvrance (C)	La couvrance résiduelle caractérise la quantité d'agent glissant toujours présent à la surface d'un échantillon après qu'il est été lavé. Pour ce faire, on sursature un échantillon avec l'agent glissant et on le lave. La réflectivité de l'échantillon lavé, R_L , est utilisée pour calculer la couvrance résiduelle à partir des valeurs de réflectivité initiale, R_0 , et saturée, R_p , préalablement mesurées : $CR = (R_L - R_0) / (R_p - R_0)$.
Couvrance résiduelle (CR)	Paramètre similaire à la couvrance utilisé pour évaluer la quantité d'huile qui demeure emprisonnée dans le béton sablé après un lavage. Elle est calculée avec la réflectivité de l'échantillon propre, R_0 , souillé, R_B , et lavé, R_L , avec $N = (R_L - R_B) / (R_0 - R_B)$.
Noirceur (N)	Lorsqu'on immerge une surface sur laquelle une goutte d'huile est étalée, la goutte se retire partiellement pour laisser la solution mouiller la surface. À l'équilibre, 60 min, l'angle de contact de la goutte d'huile, θ_H , en équilibre avec la solution est utilisé pour calculer le paramètre d'adhérence, $Ad_{60} = \frac{1}{2} [1 + \cos(\theta_H)]$. Si la goutte adhère peu alors $\theta_H < 90^\circ$ et Ad_{60} est $< \frac{1}{2}$. Si l'huile adhère bien alors $\theta_H > 90^\circ$ et $Ad_{60} > \frac{1}{2}$.
Adhérence de l'huile (Ad_{60})	Angle que fait une goutte d'eau lorsqu'elle est déposée sur une surface. Dans cette étude, l'angle de contact de l'eau est utilisé pour identifier la présence de résidus de nettoyants ou d'huile à la surface des bétons lavés. Plus $\theta < 90^\circ$ et meilleur est la mouillabilité. Quand $\theta = 0^\circ$, le liquide s'étale spontanément sur la surface.
Angle de contact de l'eau (θ)	

PROBLÉMATIQUE

Cette activité s'inscrit dans le cadre des efforts de la CSST pour développer des outils d'information visant à réduire l'incidence des lésions professionnelles causées par les chutes et glissades. Au Québec seulement, la CSST recense annuellement plus de 7,000 cas de lésions professionnelles attribuables aux chutes et glissades. Outre les secteurs les plus affectés (restauration, administration publique et centres hospitaliers) on dénote plusieurs cas dans l'industrie du camionnage et des concessionnaires automobiles. Les agents glissants (huile à moteur, huile hydraulique) et les planchers (béton) associés à ces secteurs présentent une problématique particulière qui a fait l'objet de la présente activité de recherche.

La problématique des chutes et glissades est très complexes puisqu'elle implique plusieurs niveaux d'intervention dont : la sensibilisation au risque de chute et glissade ; l'installation de revêtement ou de plancher antidérapant ; l'incitation à porter des chaussures munies de semelles antidérapantes ; et l'entretien des planchers. Notre groupe préconise, sans exclure les autres, l'approche de l'entretien optimal des planchers afin d'éliminer les accumulations d'agents glissant pouvant causer les chutes et glissades.

Cette approche a été utilisée avec succès pour optimiser l'élimination des gras animaux et végétaux des planchers de vinyle et de grès (Rapport R-210 de l'IRSST¹). Cette activité de recherche supportée par l'IRSST a été très bien reçue par les intervenants de la CSST provenant des secteurs : restauration ; administration publique ; centres d'accueil et commerces de détail aliments et boissons.

La présente activité vise à étendre notre approche à l'utilisation optimale des nettoyeurs industriels pour l'entretien des planchers de béton recouverts d'huile à moteur et d'huile hydraulique. Ces agents glissants sont couramment rencontrés dans le secteur des services automobiles, des entrepôts, des stationnements intérieurs et des industries manufacturières.

¹ Le rapport R-210 résume les travaux réalisés par QInc pour l'IRSST dans le cadre de l'activité # 97-068 . Conditions optimales d'utilisation des nettoyeurs à plancher : Gras animaux et végétaux sur vinyle et grès. P. L'Homme, S. Lamoureux, F. Quirion, Décembre 1998.

Disponible en format pdf à l'adresse internet de l'IRSST : : http://www.irsst.qc.ca/html/fr/3_0_7.htm .

PARAMÈTRES DE L'ÉTUDE

La première étape de cette étude consistait à identifier les paramètres qui permettent de bien cerner la problématique du nettoyage des planchers de béton dans une perspective de réduction des chutes et glissades. Ces paramètres, décrits au **Tableau 1**, sont associés au type de béton, d'huile, de nettoyant à plancher et de lavage. Ils ont été choisis suite à des discussions avec des intervenants de la Commission de la santé et de la sécurité du travail et de l'Association sectorielle services automobiles.

Tableau 1 : Sommaire des paramètres testés dans cette activité

Béton	Huile	Nettoyant	Méthode de lavage
Béton poli	Huile à moteur neuve et usée	Eau DG1	Jet d'eau pressurisé
Béton sablé	Huile à transmission usée	DH1 DH2	Balai-brosse
Béton scellé		P3	

La combinaison de ces paramètres définit les expériences réalisées dans le cadre de cette étude. Par exemple : Nettoyage à la brosse du béton scellé recouvert d'huile à transmission automatique usée à l'aide d'un dégraisseur à base de glycols. La définition de ces paramètres est résumée dans le **glossaire** au début du rapport et détaillée dans les sections qui suivent.

LES MÉTHODES DE LAVAGE DU BÉTON

La méthode de travail utilisée pour nettoyer un plancher est probablement le paramètre le plus important et aussi le plus difficile à reproduire en laboratoire. On peut supposer que les travailleurs développent leur méthode de travail selon les outils et le temps mis à leur disposition pour l'entretien des planchers.

Les aires de service des concessionnaires automobiles et plusieurs planchers industriels ne se prêtent pas au nettoyage à la machine soit par leur petitesse ou par leur encombrement. Dans ces conditions, les travailleurs doivent utiliser une approche manuelle. Dans cette étude, le nettoyage des planchers de béton est reproduit avec deux méthodes manuelles qui semblent être courantes chez les travailleurs.

- 1- **Nettoyage à la brosse** : Immerger le plancher de la solution de lavage, frotter à l'aide d'une brosse et rincer à l'eau.
- 2- **Nettoyage au jet d'eau à haute pression** : Nettoyer le plancher à l'aide d'un jet d'eau pressurisé combiné à une solution de lavage et rincer à l'eau.

LES ÉCHANTILLONS DE BÉTON

Dans sa forme la plus simple, le béton est un mélange d'eau, d'agrégats, de sable et de ciment. La rugosité et la porosité de la surface varie selon la quantité de sable, le polissage et le type de scellant utilisé. Les échantillons de béton ont été préparés en laboratoire dans un moule de bois avec la composition décrite au **Tableau 2**.

Tableau 2 : Composition du béton

Ingrédients	Composition (% v/v)
Eau	25
Agrégats 6 mm	15
Ciment Portland #10	60

Pour obtenir un fini lustré, on procède au polissage du béton. Cette étape consiste à flatter le béton à l'aide d'une truelle d'acier inoxydable. Ces étapes font remonter à la surface un mélange riche en ciment et en eau communément appelé la «crème».

Une fois coulé, le béton a été «flatté» après 3, 4 et 5 heures avec une truelle d'acier inoxydable. Pendant le séchage (7 jours), le béton était humidifié pour limiter la propagation de fissures. Une fois démoulés, les échantillons font 58 cm² avec un poids autour de 140 g.

Béton poli

Ce type de béton a une surface peu poreuse et relativement lustrée. Toutefois, il s'est avéré difficile, du moins pour nous, d'obtenir des échantillons ayant un fini homogène ayant une réflectivité uniforme d'un endroit à l'autre et d'un échantillon à l'autre. Quelques essais ont été réalisés avec le béton poli mais il n'a pas été retenu pour l'étude systématique.

Béton sablé

Les échantillons de béton poreux ont été préparés par le sablage mécanique du béton poli pour éliminer les zones lustrées et homogénéiser la réflectivité des échantillons. Ce type de béton présente une surface plus rugueuse et plus poreuse que le béton poli, ce qui facilite la pénétration de la saleté, surtout si elle est liquide, et rend l'entretien plus difficile.

On retrouve ce type de béton dans les espaces industriels, les entrepôts, les garages et les stationnements et il a été retenu pour l'étude systématique.

Béton scellé

L'application d'un scellant vise à réduire la pénétration des substances liquides dans le béton. Il existe plusieurs types de scellant. Pour cette étude, le choix a porté sur l'application d'un scellant couleur à base d'eau (acrylique thermoplastique et époxyde de Techni-Seal) ayant un fini mat pour faciliter la détection d'huile à l'aide de la réflectivité. Le fabricant recommande l'application d'un protecteur (« clear »). Cette option n'a pas été retenue pour des considérations purement expérimentales.

La première étape avant l'application du revêtement est le traitement à l'acide muriatique (HCl 10% pendant 5 minutes) pour dissoudre la silice et générer de la rugosité qui améliore l'adhérence du revêtement. Ce traitement s'attaque à la partie lustrée du béton poli parce qu'elle est à la surface et qu'elle est riche en silice. Après le traitement, le béton a été abondamment rincé à l'eau et séché pendant 24 heures. Le scellant couleur a été appliqué en trois couches successives avec 24 heures entre chaque couche.

Nous considérons que ce béton scellé est représentatif des planchers scellés ou peints et il a été retenu pour l'étude systématique.

LES NETTOYANTS POUR PLANCHERS DE BÉTON

Dans cette étude, les nettoyants recommandés pour l'entretien des planchers de béton ont été identifiés en demandant à quelques fabricants de suggérer un produit pour le nettoyage d'une surface de béton souillée par de l'huile à moteur usée. Les fabricants ont été identifiés à partir du Répertoire des produits fabriqués au Québec (CRIQ, édition 1996) à la section 3761.018 correspondant aux fabricants de «Nettoyants pour le béton, la céramique ou autres revêtements».

Cette approche nous a permis de recueillir 11 produits dont 8 sont des liquides et 3 des poudres. Il existe plus de produits, en particulier sous la forme de poudre, mais nous croyons que les 11 produits recueillis sont représentatifs des nettoyants couramment utilisés pour l'entretien des planchers de béton.

Les nettoyants industriels pour les planchers de béton sont développés avec beaucoup moins de contraintes toxicologiques que les nettoyants pour usage institutionnel. Ceci se traduit par une plus grande variété dans les ingrédients actifs. Le **Tableau 3** présente quelques ingrédients types et la famille à laquelle ils appartiennent. Cette liste découle des informations recueillies dans les fiches signalétiques des produits que nous avons utilisés et elle ne saurait être exhaustive.

Tableau 3 : Ingrédients des nettoyants et leur famille

Famille d'ingrédients	Ingrédients types
Agents de pH	Métasilicate de sodium ou potassium Hydroxyde de sodium ou potassium Carbonate de sodium
Tensioactifs	Éthoxylate d'alkylphénol Dioctylsulfosuccinate de sodium Dodécylbenzènesulfonate de sodium
Solvants (cosolvants)	Glycol et polyglycol monoalkyle éther Éthanolamine et Cyclohexanol
Hydrocarbures	Limonène Hydrocarbures aromatiques

Nettoyants sélectionnés pour l'étude

Quatre produits commerciaux ont été retenus pour l'étude et leur composition, telle que déclarée dans les fiches signalétiques, est présentée au **Tableau 4**. Quelques propriétés physico-chimiques sont rapportées au **Tableau 5**. Les marques de commerce ne sont pas mentionnées pour éviter les comparaisons. Les appellations **DG**, **DH** et **P** font référence à *dégraisseur liquide à base de glycol*, *dégraisseur liquide à base d'hydrocarbure* et de *nettoyant en poudre*.

Tableau 4 : Principaux ingrédients des nettoyants sélectionnés pour l'étude 98-025

	Tensioactif	Éther de Glycol	D-Limonène	Agent de pH séquestrants	État
DG1	Non-inscrit	Oui	Non	STPP	Liquide
DH1	Non-ionique	Non	Oui		Liquide
DH2	Anionique	Oui	Oui	EDTA	Liquide
P3	Non-inscrit	Non	Non	Carbonate, métasilicate de sodium	Poudre

Tableau 5 : Propriétés physico-chimiques des nettoyants à la concentration recommandée en matière active

Nettoyant	Concentration en matière active (%) ¹	Tension de surface (mN/m)	Densité (kg/m ³)	pH
DG1	0.5	32	1000	9.9
DH1	0.5	28	998	9.4
DH2	2	29	1001	4.8
P3	3	28	1019	12.7

¹ La concentration en matière active est calculée en utilisant la dilution recommandée et la quantité de matière non volatile après une heure à 95°C.

La concentration recommandée pour le **DH1** est quatre fois inférieure à celle recommandée pour le **DH2**. Ceci pourrait être attribuable à la présence d'éthers de glycol dans le **DH2** qui sont parfois considérés comme des co-solvants plutôt que des co-tensioactifs. On note aussi que le **DH2** a un pH légèrement acide alors que le **DH1** est alcalin. Finalement, le **DH1** semble formulé avec un tensioactif non-ionique alors que le **DH2** est formulé avec un anionique. Ces différences nous ont amené à sélectionner deux dégraisseurs à base d'hydrocarbure.

LES AGENTS GLISSANTS : Huile à moteur et huile à transmission

Cette étude porte sur les agents glissants couramment déversés sur les planchers de béton des services automobiles et des industries manufacturières. Parmi les fluides les plus communs à ces secteurs, mentionnons l'huile à moteur et l'huile à transmission (huile hydraulique). Le **Tableau 6** résume les propriétés de deux de ces huiles à l'état neuf et usé. Les huiles usées proviennent de garages d'entretien automobile de la région de Varennes. Ces échantillons ont été centrifugés et le surnageant a été filtré (Whatman #41) pour éliminer la présence de particules et de grenailles métalliques. Cette procédure n'élimine pas les résidus de combustion de l'huile à moteur usée.

Tableau 6 : Propriétés physico-chimiques des huiles (23°C)

Huile (abréviation)	Type	Densité (kg/m ³)	Viscosité (cP)	Tension de Surface (mN/m)	Perte par évaporation (24 h)
Moteur Neuve (HMN)	Castrol	861	144	32	0.0%
Moteur Usée (HMU)	10W30	869	110	31	1.0%
Trans. Auto. Neuve (HTAN)	Dextron II	861	57	31	1.4%
Trans. Auto. Usée (HTAU)	Mélange	865	52	31	0.0%

On note que l'huile à moteur usée est moins visqueuse que la neuve ce qui confirme la perte de viscosité des huiles à moteur avec l'usure. L'huile à moteur usée a une opacité beaucoup plus grande que l'huile neuve due à l'accumulation de fines particules de métal et de résidus de carbone provenant de la dégradation du moteur et de la combustion incomplète. Ceci pourrait expliquer une densité légèrement supérieure pour l'huile usée.

L'usure ne semble pas affecter significativement les propriétés de l'huile à transmission. Même la coloration de l'huile à transmission usée n'est pas très affectée par l'usure. L'huile à transmission automatique a une viscosité de deux à trois fois plus petite que celle de l'huile à moteur.

On note aussi que tous les échantillons d'huile ont une faible volatilité à la température de la pièce et que leur tension de surface est autour de 31 mN/m, une valeur type pour les liquides organiques non-polaires.

PARTIE EXPÉRIMENTALE POUR LES ÉTUDES EN LABORATOIRE

Cette section traite de l'approche expérimentale utilisée pour générer les paramètres investigués dans le cadre de cette étude. Comme décrit précédemment dans le rapport **R-210 de l'IRSST**, la **réflectivité** des surfaces a été utilisée pour identifier la présence d'huile résiduelle après les lavages. La réflectivité a aussi été utilisée pour évaluer la pénétration des huiles dans les bétons. Le **coefficient de friction dynamique intrinsèque** a servi à évaluer l'impact de divers traitement sur la glissance des surfaces. La **tension interfaciale** et l'**angle de contact** ont été mesurés pour déterminer le paramètre d'adhérence des huiles aux planchers de béton scellé.

Réflectivité

La réflectivité, **R**, est la mesure de l'intensité de la lumière réfléchiée par une surface, **I_r**, relative à l'intensité incidente, **I₀**.

$$[1] \quad R = I_r / I_0 = (I_r / I_{ref}) / (I_0 / I_{ref})$$

La mesure de l'intensité lumineuse est obtenue par le biais d'une référence arbitraire, **I_{ref}**. L'hypothèse de travail derrière cette méthode suggère que la présence d'huile à la surface d'un matériau en augmente la réflectivité. Pour optimiser cet effet, on utilise des surfaces initialement mates comme le béton sablé ou le béton recouvert d'un scellant couleur et on utilise une référence dont la réflectivité est élevée.

Pour le béton sablé, la référence consiste en un échantillon de béton sablé recouvert de plusieurs couches de protecteur. Le protecteur est incolore et donne un aspect lustré et brillant aux surfaces. Pour le béton scellé, la référence est un échantillon de béton scellé (scellant couleur) recouvert de plusieurs couches de protecteur générant des surfaces lustrées (réfléchissantes).

Couvrance résiduelle sur le béton scellé

La réflectivité des surfaces du béton scellé peut être utilisée pour évaluer la couvrance résiduelle après un lavage. La quantité d'huile requise pour saturer une surface est déterminée en mesurant la réflectivité de cette surface en fonction de la concentration en huile qui y est appliquée. Cette réflectivité est comparée à la valeur initiale de la réflectivité de la surface, **R₀ ~ 60 %**, et à la valeur de la réflectivité au plateau, **R_p ~ 100 %**, correspondant à une surface saturée en huile. On obtient ainsi la couvrance en huile sur la surface, **C**.

$$[2] \quad C = (R - R_0) / (R_p - R_0)$$

La même approche est utilisée pour déterminer l'efficacité des lavages. Cette fois, on mesure la réflectivité après le nettoyage, R_L , d'un échantillon recouvert d'huile. Comme R_L est associé à la quantité d'huile restante après le lavage, l'équation [2] devient la couvrance résiduelle, CR . La notion de couvrance ne fait pas appel à la quantité initiale d'agent glissant. C'est une mesure relative à la concentration de saturation de la surface.

Ceci est illustré à la **Figure 1** où la réflectivité du béton scellé a été utilisée pour calculer la couvrance (équation [2]) en fonction de la concentration de surface en huile.

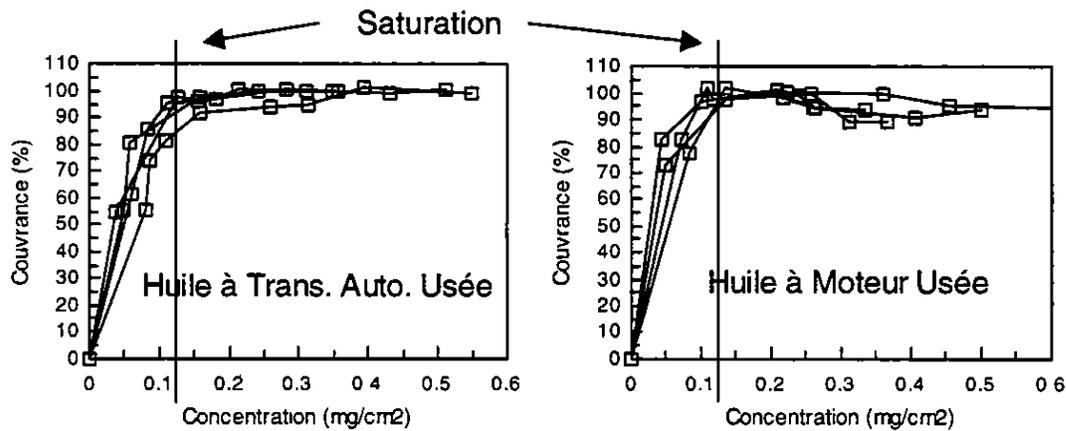


Figure 1 : Couvrance de l'huile sur le béton scellé selon la concentration de surface en huile.

La saturation en huile des surfaces de béton scellé se produit à des concentrations autour de 0.12 mg/cm^2 pour les deux huiles usées. La réflectivité des surfaces de béton scellé enduites d'huile demeure stable pour une période de plus de 6 heures. Ceci indique que le scellant couleur utilisé prévient la pénétration des huiles dans le béton.

Pour les tests de nettoyage sur le béton scellé, la concentration d'huile appliquée à la surface se situe autour de 0.8 mg/cm^2 , soit une concentration très en excès de la saturation. Une concentration de 0.8 mg/cm^2 correspond au déversement d'un litre d'huile sur une surface de 100 m^2 ($\sim 1000 \text{ pi}^2$).

Tension interfaciale, angle de contact et adhérence des huiles

La tension interfaciale et l'angle de contact sont utilisés pour caractériser l'adhérence des huiles à la surface du béton scellé. Cette approche ne se prête pas au béton sablé à cause de la pénétration. La tension interfaciale, σ , a été déterminée à la température de la pièce à l'aide d'un tensiomètre à goutte tournante pour une goutte d'huile en équilibre avec la solution de lavage. L'angle de contact, θ , est déterminé pour une goutte de 10 μl d'huile déposée sur le béton scellé et équilibré dans la solution de lavage.

Les paramètres θ et σ sont dynamiques, i.e. qu'ils évoluent dans le temps. Le temps requis pour atteindre l'équilibre ainsi que la valeur à l'équilibre dépendent aussi de la concentration en matière active dans la solution de lavage. La concentration est fixée à la valeur recommandée par le fabricant et elle peut différer d'un produit à l'autre. Le temps d'équilibre est de 15 minutes pour la tension interfaciale et 60 minutes pour l'angle de contact.

Ces deux propriétés sont utilisées pour calculer le paramètre d'adhérence, Ad_{60} , et le travail d'adhérence de l'huile au béton scellé, W_a .

$$[3] \quad \text{Ad}_{60} = \frac{1}{2}(1 + \cos(\theta))$$

$$[4] \quad \text{W}_a = 2 \cdot \text{Ad}_{60} \cdot \sigma$$

En principe, plus un nettoyant diminue l'adhérence de l'huile au béton scellé, plus il devrait être efficace pour déloger l'huile de la surface lors du nettoyage.

L'angle de contact peut aussi servir à identifier la présence de résidus de lavage sur une surface. Par exemple, les nettoyants favorisent généralement l'étalement de l'eau. On peut donc en détecter la présence en comparant l'angle de contact de l'eau après un lavage avec l'angle de contact de l'eau sur une surface non-souillée et sans résidus de lavage.

Coefficient de friction dynamique intrinsèque

Les coefficients de friction (statique et dynamique) constituent, à priori, de bons indicateurs de la glissance des planchers. Il faut cependant comprendre que la glissance est un phénomène complexe associé aux interactions du système [**plancher - agent glissant - semelle**]. Si on change un de ces éléments, on affecte les coefficients de friction. Pour homogénéiser les résultats, il faudra s'assurer que les mesures sont réalisées dans des conditions similaires, c'est à dire qu'il faudra identifier des standards pour les planchers, les semelles et les agents glissants. Pour ajouter à la complexité, il existe plusieurs méthodes pour déterminer les coefficients de friction et ces méthodes génèrent souvent des résultats différents. Il est donc très difficile d'identifier une valeur correspondant au seuil entre un plancher glissant et un plancher sécuritaire à moins d'identifier aussi la méthode, les planchers et les semelles à utiliser pour le test.

Dans le cadre de cette étude, nous nous intéressons au coefficient de friction dynamique intrinsèque des planchers de béton sans se préoccuper du type de semelle ou de la démarche des travailleurs. En d'autres termes, nous découplons le plancher du phénomène de la glissance pour le caractériser physiquement à travers son coefficient de friction dynamique intrinsèque, **CDFD**. Cette approche est simple et facile à reproduire pour plusieurs types de plancher.

Le coefficient de friction dynamique intrinsèque d'une surface est mesuré lors du déplacement horizontal d'un chariot sur cette surface. Le chariot a une masse de 126 g et il est supporté par des pointes arrondies (rayon de courbure de 5 mm avec une zone de contact circulaire de 2 mm) en acier inoxydable générant une pression de 131 kPa. Le déplacement se fait à une vitesse constante de 1.8 mètre par minute.

La surface du béton, poli ou sablé, est composée de particules dont la dureté peut être équivalente ou même supérieure à celle de l'acier. Toutefois, la cohésion entre ces particules est inférieure à celle de l'acier. On peut donc considérer que le déplacement des pointes d'acier brise l'organisation des particules à la surface. En ce sens, la friction dynamique provient surtout de la déformation du béton poli ou sablé, d'où l'appellation de coefficient de friction dynamique intrinsèque. Lorsque le béton est scellé, la structure du béton n'est pas nécessairement brisée et c'est le film de polymère du scellant couleur qui se déforme pour générer de la friction.

Dans cette étude, on définit le coefficient de friction dynamique, **CDFD**, comme le rapport de la force horizontale, **F_H**, nécessaire pour maintenir un objet à une vitesse constante sur le poids de cet objet, **F_g**.

[5]
$$\text{CDFD} = F_H / F_g$$

Le **Tableau 7** compare le CDFD intrinsèque des planchers de béton étudiés dans cette étude.

Tableau 7 : Coefficient de friction dynamique intrinsèque des bétons propres.

Béton Propre	CDFD intrinsèque
Poli	0.35 ± 0.04
Sablé	0.43 ± 0.02
Sablé + Scellant couleur (7.7 mg/cm ²)	0.44 ± 0.02
Sablé + Scellant couleur + Protecteur	0.51 ± 0.03

Il ressort que le coefficient de friction intrinsèque du béton scellé est plus grand que celui du béton poli et similaire à celui du béton sablé. L'application d'un protecteur (« clear ») augmente donc la brillance et la friction intrinsèque du béton scellé.

Ces résultats indiquent qu'un plancher luisant n'est pas nécessairement plus glissant. Ceci avait aussi été observé pour le coefficient de friction dynamique intrinsèque des planchers de vinyle ciré (Rapport R-210 de l'IRSST).

PÉNÉTRATION DES HUILES DANS LE BÉTON POLI OU SABLÉ

Lors d'un déversement, l'huile pénétrera plus ou moins rapidement dans le plancher selon sa porosité et sa capacité à absorber des liquides. Après l'application du scellant couleur, les pores et les fissures du béton sablé sont bouchés de sorte que la pénétration de l'huile est très lente.

Le cas des bétons sur lesquels on n'applique aucun revêtement est plus complexe. La surface du béton peut avoir été flattée (béton poli) ou non (béton sablé). Les huiles peuvent pénétrer ces bétons via leurs pores et leurs fissures et y rester emprisonnées. Comme la structure du béton ne peut accepter qu'une quantité finie d'huile, la vitesse à laquelle l'huile pénétrera dépendra de la quantité d'huile déjà présente dans le béton.

Les particules solides présentes dans les huiles usées, particulièrement l'huile à moteur, demeurent en partie à la surface où elles obstruent les pores du béton poli ou sablé. En plus d'être glissant, ce film résineux ralentit la pénétration des huiles lors des déversements subséquents.

Dans cette étude, on appelle **béton sablé et propre**, un béton sablé qui n'a jamais été en contact avec des huiles avant le test auquel il est soumis. On appelle **béton sablé et souillé** un béton ayant absorbé une certaine quantité d'huile par sa surface avant le test auquel il est soumis. Dans ce cas, on quantifie le degré de souillure en terme du pourcentage de la capacité totale d'absorption d'huile par le béton. Par exemple, **béton souillé (20%)**, signifie que le béton contient une quantité d'huile correspondant à 20% de sa capacité d'absorption.

Pénétration et coefficient de friction sur le béton poli

Le béton poli propre a une surface dont la porosité est intermédiaire entre celle du béton scellé et celle du béton sablé propre. La pénétration dans le béton poli dépendra aussi de l'homogénéité du polissage de la surface.

Une couche d'huile à moteur usée, équivalente à un litre sur 120 pieds carrés, a été étendue sur un échantillon de béton poli propre. Après un équilibre de 24 heures, il restait ~ 25% de la quantité d'huile à la surface. Cet excès a été essuyé avec un linge sec et le coefficient de friction dynamique intrinsèque a été mesuré. À cause de la pénétration de l'huile à moteur usée, l'échantillon correspond maintenant à un béton poli souillé à 3.5%.

Une seconde couche d'huile à moteur usée a été étendue sur cet échantillon souillé. Après un équilibre de 24 heures, 85% de cette huile était encore à la surface. Cet excès a été essuyé avec un linge sec et le coefficient de friction dynamique intrinsèque a été mesuré. Le **Tableau 8** compare ces résultats au coefficient de friction dynamique intrinsèque de

l'échantillon de béton poli propre.

Tableau 8 : Coefficient de friction dynamique intrinsèque du béton poli propre et souillé.

Échantillon	CDFD initial	HMU appliquée (mg/cm ²)	Excès HMU après 24 h	CDFD essuyé
Propre	0.38±0.03	8.3	26 %	0.20±0.01
Souillé (3.5%)	0.20±0.01	6.0	85 %	0.19±0.01

On note que la pénétration de l'huile à moteur usée est relativement lente dans le béton poli propre. À titre comparatif, mentionnons que 3 heures après l'application de 10 mg/cm² d'huile à moteur usée sur le béton sablé propre, l'excès de surface était inférieur à 0.5 %. La pénétration de l'huile à moteur usée lors de la deuxième application sur le béton poli souillé est encore moins importante, en accord avec un ralentissement de la pénétration des huiles lorsque les planchers de béton poli sont souillés.

L'enlèvement de l'huile excédentaire avec un linge sec laisse un film d'huile à la surface qui est suffisant pour réduire significativement le coefficient de friction dynamique intrinsèque de 0.38 à 0.20. Ceci est vrai autant pour l'essuyage du premier déversement que pour l'essuyage du second.

Rappelons que le béton poli et la friction n'était pas au cœur de cette étude de sorte que ces quelques résultats ne s'appliquent qu'à l'échantillon de béton testé. Ces résultats confirment toutefois que l'accumulation d'huile dans le béton poli ralentit la pénétration lors des déversements subséquents. De plus, ils montrent que le ramassage de l'excédent d'huile à la surface laisse un film capable de réduire significativement la friction sur le béton.

Pénétration et coefficient de friction sur le béton sablé

La pénétration des huiles dans le béton sablé a été étudiée plus en détail puisque ce type de béton est au cœur de cette étude. Le béton sablé propre est relativement mat et il réfléchit peu la lumière comme l'indique sa réflectivité initiale, $R_0 \sim 35$ à 45% . Lorsqu'on applique une couche d'huile sur le béton sablé et propre, elle pénètre rapidement via les pores et les fissures. La vitesse de pénétration dépendra de la porosité et de la viscosité des huiles.

Ceci est montré à la **Figure 2** où la réflectivité du béton sablé et propre a été mesurée en fonction du temps après l'application de 10 mg/cm^2 d'huile. Lorsque l'huile demeure à la surface, elle agit comme un miroir et la réflectivité est élevée. Lorsque l'huile quitte la surface pour pénétrer dans le béton sablé, la réflectivité décroît jusqu'à une valeur inférieure à la réflectivité initiale à cause de l'assombrissement du béton sablé par l'huile. Cette valeur est appelée la réflectivité de base, R_B .

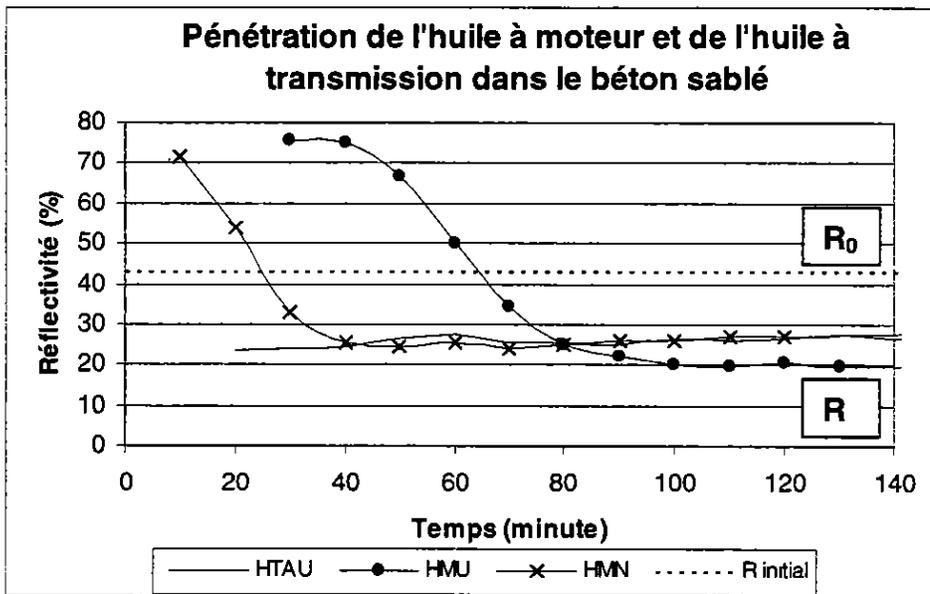


Figure 2 : Évolution de la réflectivité de la surface du béton sablé propre après l'application d'huile à moteur neuve (HMN) et usée (HMU) et d'huile à transmission automatique usée (HTAU).

Toutes les huiles testées assombrissent la surface du béton sablé et propre conduisant à des valeurs de R_B inférieures à celle de R_0 . Il est à noter que l'eau assombrisse aussi le béton sablé, ce qui semble être une caractéristique du béton « mouillé » par un liquide et non une conséquence de la coloration des huiles.

L'huile la moins visqueuse (HTAU $\sim 52 \text{ cP}$), est celle qui pénètre le plus rapidement le béton sablé et propre. Malgré sa viscosité plus élevée (144 cP), l'huile à moteur neuve

semble pénétrer plus rapidement que l'huile à moteur usée (110 à 120 cP). Ceci pourrait être dû à la présence de particules solides (résidus de combustion et métalliques) dans l'huile usée qui, en bouchant les pores, ralentiraient la pénétration dans le béton sablé et propre.

Selon cette hypothèse, les pores d'un béton sablé se boucheraient lors de déversements successifs et l'huile y pénétrerait de plus en plus lentement. Cette hypothèse a été vérifiée en comparant le béton sablé et propre avec le béton sablé et souillé. Le béton sablé et souillé a été préparé en appliquant l'équivalent de 20% de sa capacité d'absorption en huile à moteur usée. L'application s'est faite en 4 étapes sur une période de 8 jours.

Quatre heures après la quatrième application d'huile à moteur usée, plus de 50% de l'huile était encore accessible avec un linge sec, suggérant que le béton était partiellement bouché par l'accumulation de résidus à la surface. L'excédent d'huile à la surface a été essuyé avec un linge sec et l'huile ayant pénétré le béton correspondait à 20 % de la capacité d'absorption en huile à moteur usée, soit 0.067 g d'huile par g de béton. Ces échantillons ont été équilibrés à l'air libre pendant un mois avant d'être utilisés pour tester le taux de pénétration de l'huile à moteur usée dans le béton sablé et souillé.

Le test consistait à mesurer la réflectivité et le coefficient de friction dynamique intrinsèque du béton sablé et souillé en fonction du temps après l'application de 8.9 mg/cm² d'huile à moteur usée. La **Figure 3** compare ces résultats à ceux d'un béton sablé et propre sur lequel on a appliqué 10 mg/cm² d'huile à moteur usée.

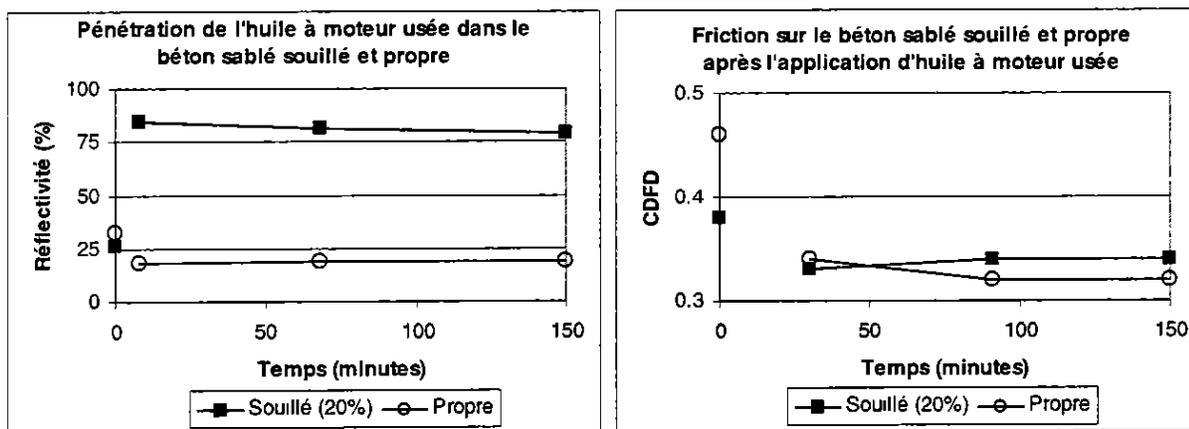


Figure 3 : Pénétration et coefficient de friction dynamique intrinsèque du béton sablé après l'application d'huile à moteur usée. Les ordonnées montrent la réflectivité et le CDFD intrinsèque des surfaces de béton sablé, souillé (■) et propre (O), avant l'application de l'huile à moteur

Après l'application de l'huile à moteur sur le béton sablé et souillé, la réflectivité demeure

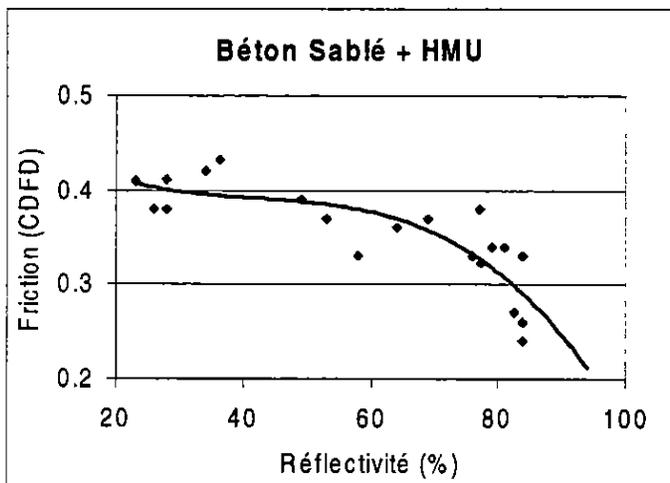
élevée pendant au moins trois heures. À l'opposé, la réflectivité du béton sablé et propre chute très rapidement dû à la pénétration de l'huile à moteur usée dans le béton. Ceci confirme une pénétration beaucoup plus rapide de l'huile à moteur usée dans le béton sablé et propre que dans le béton sablé et souillé.

Le coefficient de friction dynamique intrinsèque de l'échantillon de béton sablé et propre passe de 0.46 à 0.32 malgré le fait que l'huile ait pénétré à l'intérieur du béton. En effet, l'excédent d'huile à la surface était inférieur à 0.5 % de la quantité appliquée trois heures auparavant.

Dans le cas de l'échantillon de béton sablé et souillé, le coefficient de friction dynamique intrinsèque passe de 0.38 à 0.34 trois heures après l'application de l'huile à moteur usée. Dans ce cas, l'excédent d'huile à la surface était de 14% de la quantité appliquée trois heures auparavant.

Notez qu'avant l'application de l'huile à moteur usée, le coefficient de friction dynamique intrinsèque du béton sablé et souillé était significativement plus bas (**CDFD=0.38**) que celui du béton sablé et propre (**CDFD=0.46**). Ceci suggère, comme pour le béton poli, qu'il suffit de très peu d'huile à moteur à la surface du béton sablé pour réduire significativement son coefficient de friction dynamique intrinsèque.

Lors de la réalisation des tests sur la pénétration de l'huile à moteur sur le béton sablé, la réflectivité et le coefficient de friction dynamique intrinsèque ont été mesurés à plusieurs reprises.



La **Figure 4** montre qu'il existe une corrélation entre ces deux paramètres pour l'huile à moteur usée sur le béton sablé. En effet, le coefficient de friction dynamique intrinsèque diminue avec la réflectivité de la surface et cette diminution s'accroît lorsqu'on approche d'une réflectivité de 100% qui pourrait correspondre à la formation d'un film d'huile recouvrant entièrement la surface du béton sablé.

Figure 4 : Corrélation entre friction et réflectivité pour le béton sablé recouvert d'huile à moteur usée.

La **Figure 5** montre l'évolution de la réflectivité due à la pénétration d'huile suite à l'application de couches successives. Le niveau de souillure du béton sablé augmente avec le nombre de couches d'huile appliquées. Dans le cas de l'huile à moteur usée, les

couches étaient de 1.8 mg/cm^2 avec une capacité maximale d'absorption de 0.067 g d'huile par g de béton. Pour l'huile à transmission automatique usée, les couches étaient de 2.3 mg/cm^2 avec une capacité maximale d'absorption de 0.09 g d'huile par g de béton. Comme mentionné au début de la section, la réflectivité du béton sablé chute lorsqu'on y applique de l'huile (ou de l'eau) vers une valeur correspondant à la réflectivité de base, R_B , qui est inférieure à celle de la réflectivité initiale, R_0 .

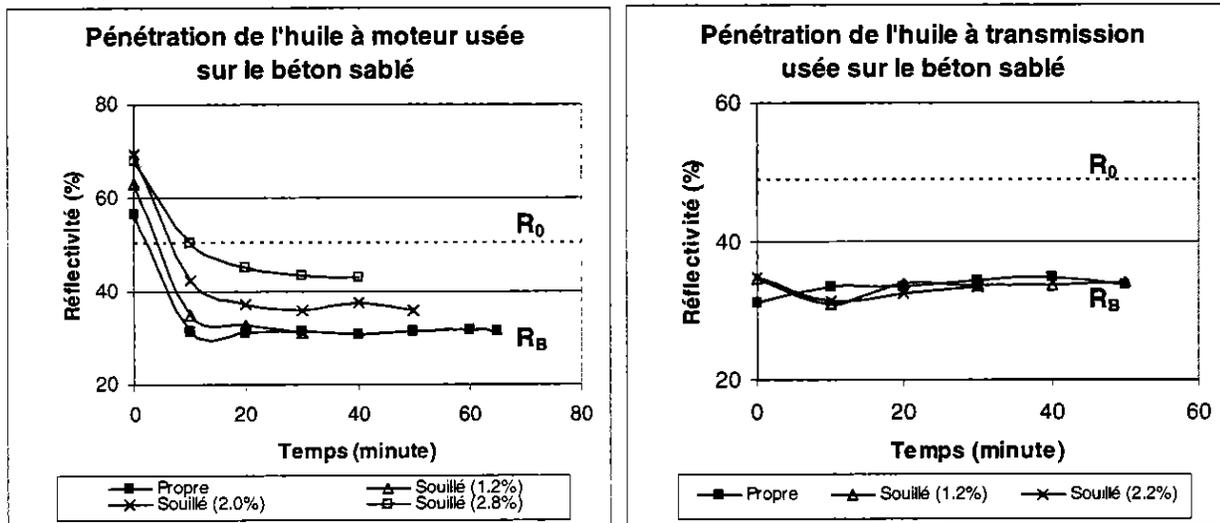


Figure 5 : Réflectivité du béton sablé et souillé à divers niveaux après l'addition d'huile à moteur usée (couche de 1.8 mg/cm^2) et d'huile à transmission automatique (couche de 2.3)

On note que la pénétration de l'huile à moteur usée ralentit avec l'augmentation du niveau de souillure. De même, la valeur de la réflectivité de base augmente graduellement avec le niveau de souillure suggérant qu'à des souillures élevées, l'huile demeurera à la surface de plus en plus longtemps comme, en accord avec les résultats de la section précédente.

La faible viscosité de l'huile à transmission automatique favorise une pénétration rapide dans le béton sablé. Au contraire de l'huile à moteur usée, le niveau de souillure ne semble pas affecter la vitesse de pénétration ni la réflectivité de base, R_B . Ceci pourrait être dû à la fois à l'absence de particules solides et de résidus résineux dans l'huile à transmission usée et aux faibles niveaux de souillure étudiés.

Noirceur du béton sablé en présence d'huile

L'assombrissement du béton sablé en présence d'huile fait en sorte que l'équation [2] pour la couvrance et la couvrance résiduelle ne peut pas être utilisée. En effet, l'équation suppose que l'ajout d'huile augmente la réflectivité à une valeur, R_p , supérieure à la réflectivité du béton sablé et propre, R_0 . Or, l'application d'huile au béton sablé et propre réduit la réflectivité à une valeur de base, R_B , inférieure à la réflectivité initiale, R_0 .

Nous avons donc défini le paramètre de noirceur du béton sablé, N , pour évaluer l'efficacité des nettoyants à éliminer les huiles du béton sablé.

$$[6] \quad N = (R_0 - R_L) / (R_0 - R_B)$$

L'hypothèse de travail est que la réflectivité après le lavage, R_L , sera moyenne entre R_B et R_0 selon l'efficacité du nettoyant utilisé. Ainsi, la noirceur du béton sablé, N , évolue de 0% ($R_L = R_0$) à 100 % ($R_L = R_B$).

<p>IMPORTANT : Le paramètre N n'est pas un paramètre de surface. Il indique la présence d'huile dans le béton mais pas nécessairement à la surface. Ainsi, on pourrait avoir un paramètre N élevé et une surface propre.</p>

PROCÉDURE POUR LE NETTOYAGE DES ÉCHANTILLONS DE BÉTON

L'étude a porté sur deux types de nettoyage : à la brosse et au jet d'eau pressurisé. Certains paramètres ont été fixés pour limiter le nombre d'essais et ils sont rapportés au **Tableau 9**. Les principales étapes de la procédure expérimentale sont résumées ci-dessous. La procédure pour le béton scellé était légèrement différente de celle pour le béton sablé et ces différences sont indiquées.

Tableau 9 : Paramètres de lavage à la brosse et au jet d'eau

Concentration de surface de l'huile	
Béton scellé	0.8 mg/cm ²
Béton sablé	9.5 mg/cm ²
Niveau de souillure du béton après l'application de l'huile	
Béton scellé	~ 7 x la saturation
Béton sablé : HMU	~ 5%
HTAU	~ 4%
Temps de pénétration de l'huile	30 minutes
Temps de trempage de la solution de lavage	10 minutes
Coups de brosse ou de passage du jet d'eau	4
Temps de séchage	60 minutes

- ① Mesure de la réflectivité initiale, R_0
- ② Application de l'huile sur le béton scellé ou sablé et équilibre de 30 minutes
- ③ Mesure de la réflectivité plateau, R_P , ou de base, R_B
- ④ Immersion et trempage de 10 minutes dans la solution de lavage
- ⑤ Brossage ou traitement au jet d'eau pressurisé
- ⑥ Rinçage à l'eau courante (brosse) ou aucun rinçage (jet d'eau)
- ⑦ Séchage à l'air libre pendant 60 minutes
- ⑧ Mesure de la réflectivité après le lavage et le séchage, R_L
- ⑨ Mesure de l'angle de contact de l'eau sur la surface lavée et sèche, θ_L

Dans cette étude, la réflectivité d'un échantillon est mesurée au centre et sur quatre régions périphériques de l'échantillon pour un total de cinq zones indépendantes par échantillon. La valeur rapportée est la moyenne pour deux échantillons, donc dix zones testées.

NETTOYAGE DU BÉTON SCÉLÉ

Adhérence des huiles au béton scellé

Le **Tableau 10** rapporte la tension interfaciale entre les huiles et les solutions de lavage. Il semble que l'usure des huiles génère des contaminants qui réduisent la tension interfaciale avec l'eau. En présence de nettoyants, la tension interfaciale chute drastiquement, suggérant une amélioration de la compatibilité des huiles avec l'eau.

Tableau 10 : Tension interfaciale, σ (mN/m), entre les solutions de lavage et les huiles usées.

Nettoyant	Huile à Transmission Automatique Usée ¹	Huile à Moteur Usée ¹
Eau	7.8 (16.0)	15.3 (24.3)
DG1 : 0.5%	0.35	0.46
DH1 : 0.5%	0.30	0.53
DH2 : 2%	0.46	0.33
P3 : 3%	0.11	0.14

¹ Les valeurs entre parenthèses sont pour de l'huile neuve.

À l'aide de la tension interfaciale, σ , et de l'angle de contact, θ , le paramètre d'adhérence Ad_{60} et le travail d'adhérence, W_a , des huiles au béton scellé ont été déterminés (équations [3] et [4]) et ces valeurs sont rapportées au **Tableau 11**.

Tableau 11 : θ après 60 minutes, Ad_{60} et W_a des huiles sur les surfaces de béton scellé en présence des solutions de lavage

Nettoyant	Huile à Transmission Automatique Usée			Huile à Moteur Usée		
	θ ± 5	Ad_{60}	W_a (mN/m)	θ ± 5	Ad_{60}	W_a (mN/m)
Eau	36	0.90	14.1	18	0.98	29.9
DG1 : 0.5%	110	0.32	0.23	42	0.87	0.80
DH1 : 0.5%	68	0.68	0.41	50	0.82	0.87

L'ajout de nettoyants à l'eau contribue à réduire l'énergie nécessaire pour déloger l'huile des surfaces de béton scellé. L'huile à moteur semble adhérer plus fortement au scellant que l'huile à transmission automatique.

Impact des nettoyeurs sur l'intégrité du scellant couleur

Ces expériences visent à évaluer l'impact de la méthode et des solutions de lavage sur l'intégrité du scellant couleur pendant l'étape de nettoyage. Elles sont réalisées sans huiles. On mesure la réflectivité initiale du béton scellé, R_0 , ainsi que la réflectivité du même échantillon lavé et séché une heure à l'air libre, R_0' . Ces valeurs sont utilisées pour calculer, F , un indicateur de la dégradation du scellant couleur.

[7]
$$F = (R_0' / R_0)$$

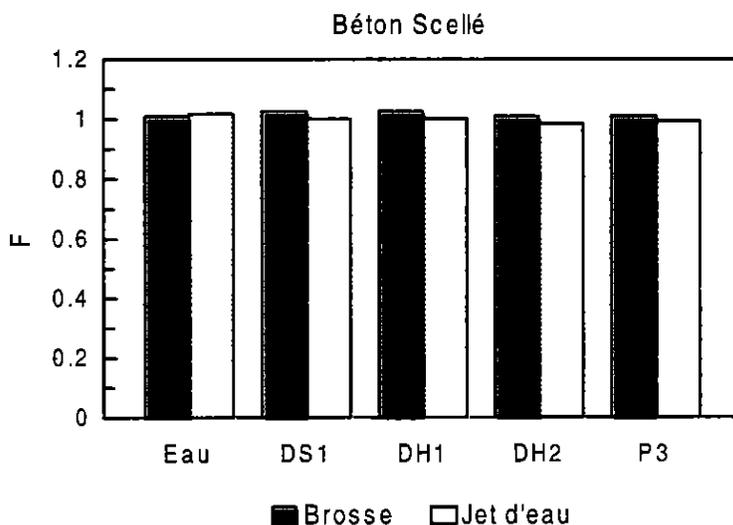


Figure 6 : Impact des nettoyeurs et de l'eau sur la réflectivité intrinsèque du scellant couleur.

Les valeurs de F sont rapportées à la **Figure 6** pour l'eau et les quatre nettoyeurs après un lavage à la brosse ou au jet d'eau à haute pression. Le lavage à la brosse conduit à une légère augmentation de la réflectivité du scellant couleur (~ 2%) alors que le lavage au jet d'eau n'a pas d'impact notable. Il semble donc que l'étape du lavage n'affecte pas significativement la réflectivité du scellant couleur.

Il est à noter que le scellant couleur semblait ramollir en présence des solutions de lavage à base de **DH**. De façon générale, le scellant couleur semble ramollir avec le temps d'exposition aux solutions de lavage.

On peut donc recommander de laver un plancher recouvert d'un scellant couleur (de type acrylique et époxyde) par petites sections afin de limiter l'exposition à la solution de lavage, surtout si elle contient des hydrocarbures.

Nettoyage à la brosse et au jet d'eau pressurisé du béton scellé

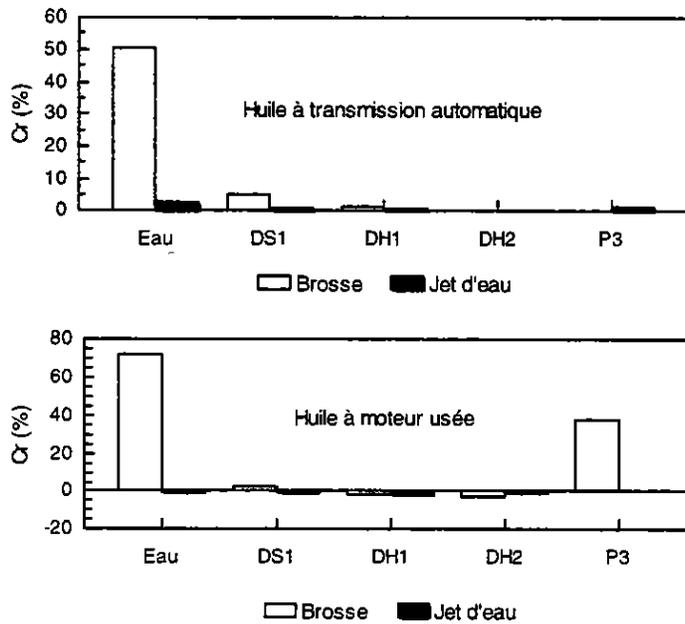


Figure 7 : Couvrance résiduelle de l'huile sur le béton scellé après un lavage à la brosse ou au jet d'eau avec les nettoyants indiqués.

Cette partie de l'étude traite du nettoyage du béton scellé recouvert d'une couche d'huile correspondant à 7 fois la quantité nécessaire pour saturer la surface.

L'efficacité d'un nettoyant se mesure à la quantité d'agent glissant restant sur le plancher après le nettoyage. Un nettoyant efficace laissera peu d'agent glissant. La quantité d'agent glissant est associée à la couvrance résiduelle, **CR**, qui est montrée à la **Figure 7** pour le nettoyage des planchers de béton scellé recouvert d'huile à transmission automatique usée ou d'huile à moteur usée.

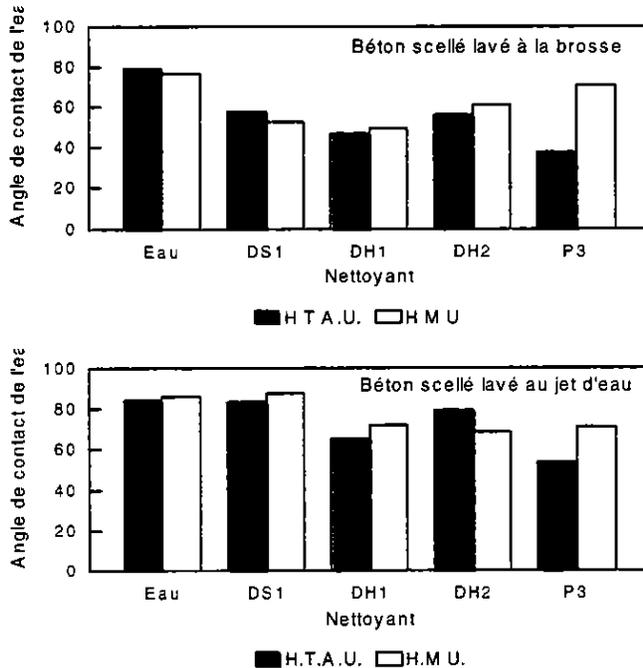
Le lavage à la brosse s'avère peu efficace en l'absence de nettoyants. En présence de nettoyants à plancher, les couvrances résiduelles en huile sont près de zéro sauf pour le nettoyage de l'huile à moteur usée avec le **P3**.

Il a été noté que le **P3** favorise l'étalement des huiles sur les surfaces de béton scellé. Dans le cas de l'huile à transmission usée, l'étalement se produit avec un angle de contact très élevé qui déstabilise le film d'huile et le brise en plusieurs petites gouttelettes dont l'angle de contact est élevé. Ces gouttelettes adhèrent peu au scellant couleur et seront facile à déloger lors du nettoyage. Dans le cas de l'huile à moteur usée, l'étalement se produit avec un angle de contact qui demeure petit suggérant que l'ajout du **P3** favorise l'adhérence du film d'huile au scellant couleur. De là une difficulté plus grande à le déloger.

Dans le cas du nettoyage au jet d'eau pressurisé, il semble que la couvrance résiduelle en huile chute en dessous de 2% dans tous les cas incluant le lavage sans nettoyant à plancher. Ainsi, l'énergie du jet d'eau serait capable de générer un travail plus important que le travail d'adhérence de l'huile au plancher scellé.

Résidus de lavage sur le béton scellé

Cette section rapporte l'angle de contact d'une goutte d'eau déposée sur la surface des échantillons de béton scellé après leur nettoyage. L'objectif est d'identifier la présence de résidus savonneux qui devraient, à priori, réduire l'angle de contact de l'eau sur les surfaces. L'angle de contact est montré à la **Figure 8** pour le béton scellé et lavé.



L'angle de contact de l'eau sur le béton scellé est de 76° et il chute autour de 60° sur le béton complètement recouvert d'huile. La section précédente révèle que la quantité d'huile résiduelle sur les surfaces scellées et lavées est très faible. On pourrait donc s'attendre à ce que les résidus de savon abaissent l'angle de contact sous la barre des 76°.

Le nettoyage au jet d'eau pressurisé conduit à des angles de contact plus élevés que le nettoyage à la brosse. Le lavage au jet d'eau pressurisé rince mieux la surface et laisse donc moins de résidus de savon.

Figure 8 : Angle de contact de l'eau sur le béton scellé après le lavage des huiles avec les nettoyants

Selon ces résultats, c'est le nettoyage de l'huile à transmission automatique à la brosse avec le **P3** qui laisserait le plus de résidus de savon (37°). Une des particularité du **P3** est qu'il n'est pas complètement soluble dans l'eau de sorte que les solutions de lavage sont troubles, possiblement dû à la dispersion de particules solides. Dans ce cas, il est possible que l'action mécanique du balai incruste les particules solides de la poudre nettoyante dans le scellant couleur et qu'elles soient plus difficiles à déloger lors du rinçage. Dans le cas du nettoyage à la brosse de l'huile à moteur usée (**HMU**) avec le **P3**, l'angle de contact demeure élevé puisqu'il reste une quantité significative d'huile résiduelle sur la surface lavée (voir section précédente).

Le lavage à la brosse ou au jet d'eau pressurisé laisse peu de résidus savonneux puisque ces deux méthodes comprennent une étape de rinçage à l'eau claire.

Nettoyage à la moppe du béton scellé

Les résultats précédents indiquent que l'entretien du béton scellé semble relativement facile avec des méthodes de nettoyage comme la brosse et le jet d'eau pressurisé suivi d'un rinçage à l'eau claire. Le béton scellé recouvert d'huile à moteur usée a aussi été nettoyé à la moppe en utilisant les procédures du nettoyage humide et du nettoyage par immersion développées précédemment et détaillées dans le rapport R-210 de l'IRSST.

Le **nettoyage humide** correspond au passage d'une moppe saturée à 75% de la solution de lavage. Après le passage de la moppe, le plancher sèche à l'air libre et on mesure la couvrance résiduelle.

Le **nettoyage par immersion** consiste à imprégner le plancher sale à l'aide d'une moppe saturée en solution de lavage. La moppe est ensuite essorée et repassée, 2 minutes plus tard, pour récupérer les eaux de lavage. Les lecteurs sont référés au rapport R-210 pour plus de détails.

La couvrance résiduelle en huile à moteur a été déterminée sur dix zones différentes et la moyenne est rapportée à la **Figure 9**. On note que le nettoyage humide et le nettoyage par immersion sont peu efficace pour éliminer l'huile à moteur usée des surfaces de béton scellé.

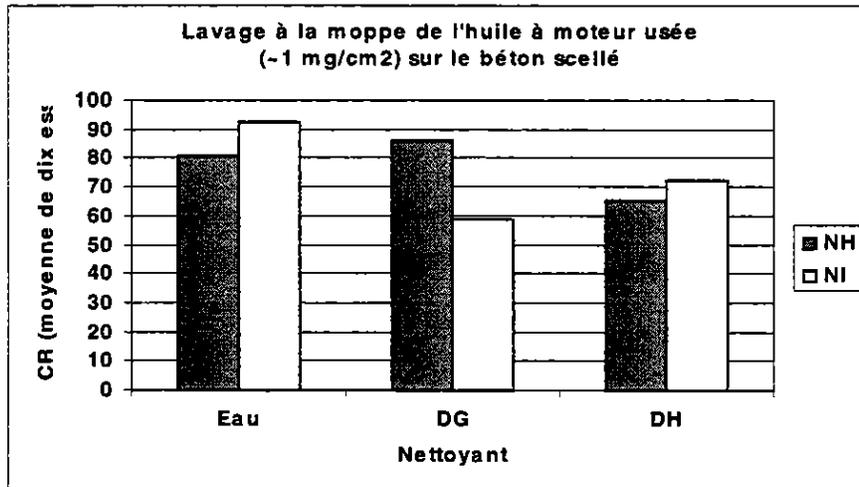


Figure 9 : Couvrance résiduelle après le nettoyage à la moppe des surfaces de béton scellé recouvertes de 0.8 mg/cm² d'huile à moteur usée (NH= nettoyage humide, NI = Nettoyage par immersion).

Il a aussi été observé que l'huile à moteur résiduelle (non lavée) demeure très longtemps à la surface. Ainsi, quatre jours après la série de lavage, on pouvait essuyer 0.13 ± 0.05 mg/cm² d'huile à moteur usée à la surface des échantillons lavés, soit une concentration très près de la saturation en huile (~ 0.12 mg/cm²).

Même essuyées, ces surfaces demeurent plus glissantes que celles du béton scellé propre. Ceci est montré à la **Figure 10** où le **coefficient de friction dynamique intrinsèque** des échantillons essuyés est comparé à celui du béton scellé propre et celui du béton scellé recouvert de 0.13 mg/cm² d'huile à moteur usée.

On remarque que même après avoir enlevé l'excès d'huile à moteur laissée par le nettoyage ($\sim 0.13 \pm 0.05$ mg/cm²), le coefficient de friction intrinsèque demeure significativement plus bas que pour un plancher propre et presque inchangé par rapport au béton scellé recouvert de 0.13 mg/cm² d'huile à moteur usée.

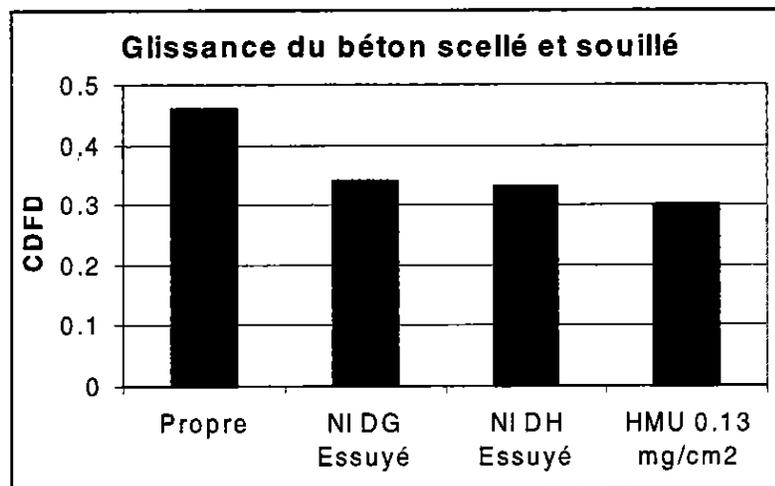


Figure 10 : Coefficient de friction dynamique intrinsèque des surfaces de béton : scellé et propre ; souillées, lavées et essuyées avec un linge sec ; recouvertes d'huile à moteur usée à 0.13 mg/cm²

Ces résultats suggèrent que le nettoyage à la moppe n'est pas adéquat pour éliminer l'huile à moteur des planchers de béton scellé. De même, essuyé de l'huile à moteur avec un linge sec risque de laisser suffisamment d'huile à la surface pour réduire significativement le coefficient de friction intrinsèque.

NETTOYAGE DU BÉTON SABLÉ

Nettoyage normal à la brosse et au jet d'eau pressurisé du béton sablé

La **Figure 11** résume les résultats du nettoyage des surfaces de béton sablé en terme de noirceur du béton, **N** (**équation [6]**). Chacune des valeurs est la moyenne d'au moins deux échantillons indépendants dont la réflectivité a été mesurée à cinq endroits différents. La déviation moyenne entre les mesures est typiquement de 5 %.

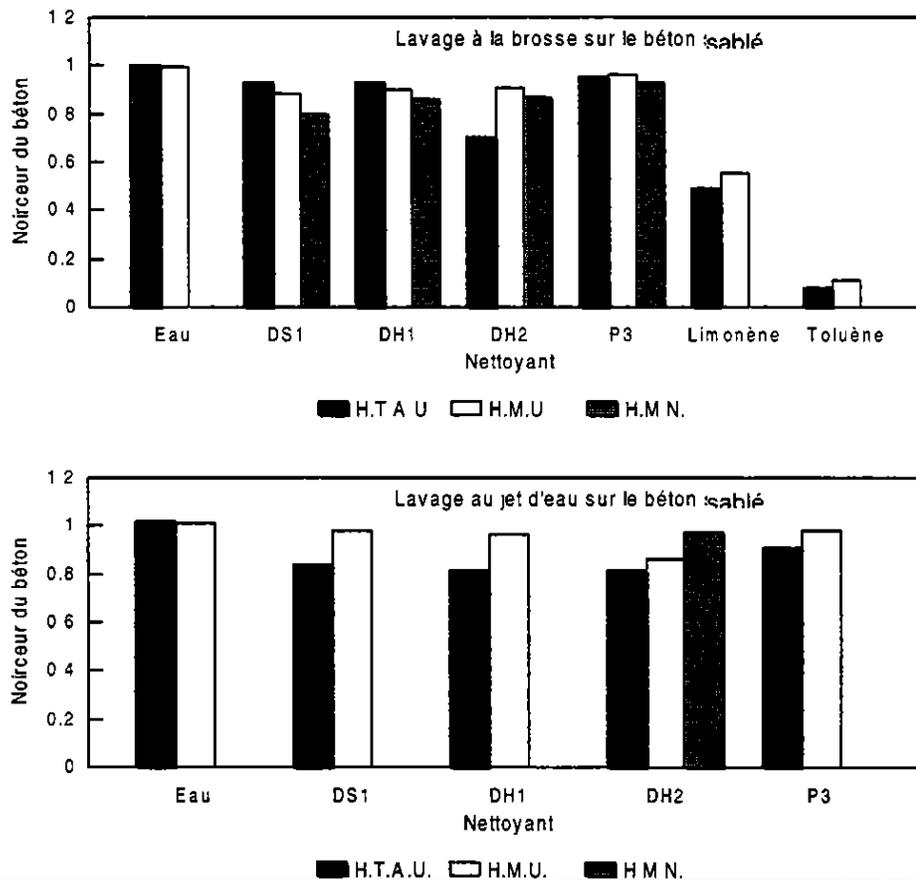


Figure 11 : Noirceur du béton sablé après un lavage avec les nettoyants indiqués.

La noirceur du béton sablé, souillé et lavé se situe entre 0.8 et 1.0 ce qui n'est pas très significatif compte tenu de la déviation moyenne type autour de 0.05. La seule exception est pour le nettoyage à la brosse de l'huile à transmission automatique avec le **DH2** (**N** = 0.7).

Il s'avère très difficile de nettoyer, en profondeur, un plancher de béton sablé et souillé d'huile à moteur ou d'huile à transmission automatique à l'aide d'un nettoyage à la brosse ou au jet d'eau pressurisé.

Nettoyage agressif du béton sablé

La **Figure 11** montre aussi que les résultats obtenus pour le nettoyage de l'huile à moteur usée des surfaces de béton sablé à l'aide du **limonène** et du **toluène**. Le limonène est couramment utilisé comme hydrocarbure dans les formulations de nettoyant industriel. On note une meilleure performance pour le **limonène** pur mais elle est encore sous la performance du **toluène**. Cet hydrocarbure constitue un excellent solvant pour les huiles à moteur mais son utilisation est limitée par sa toxicité. L'élimination presque complète de l'huile à moteur usée avec le **toluène** montre toutefois qu'il est possible de régénérer la réflectivité initiale du béton sablé sauf que le lavage devra être beaucoup plus agressif qu'un simple nettoyage à l'aide de nettoyants à plancher.

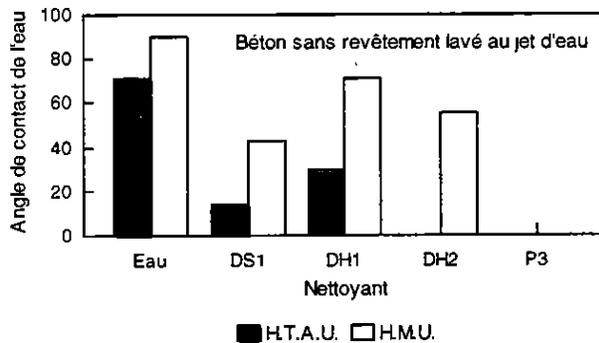
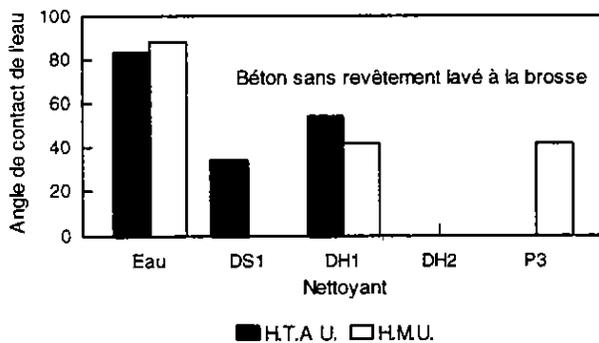


Figure 12 : Angle de contact de l'eau sur le béton sans revêtement après le lavage des huiles avec les nettoyants indiqués.

Résidus d'huile et de nettoyants sur le béton sablé et lavé

La porosité du béton sablé fait en sorte que l'eau y pénètre spontanément sans former de goutte à la surface. Si les pores sont bouchés par de l'huile résiduelle, l'eau pourra former une goutte stable à la surface du béton avec un angle de contact entre 60 et 70 ° dépendamment de la nature de l'huile.

On a utilisé ce phénomène pour confirmer la présence d'huile résiduelle dans les pores du béton sablé. L'angle de contact de l'eau sur les échantillons de béton sablé, souillé, lavé et séché est rapporté à la **Figure 12**. S'il n'y a pas de barre c'est que l'eau a pénétré.

Dans le cas du nettoyage à la brosse et au jet d'eau avec de l'eau sans nettoyant, il est toujours possible de former une goutte d'eau sur le béton sablé, souillé et lavé. Ceci confirme que le lavage n'est pas efficace et que la surface du béton sablé demeure recouverte d'huile.

En présence de nettoyants à plancher, l'huile à la surface du béton sablé est délogée 4 fois sur 8 lorsque les surfaces sont lavées à la brosse. Dans les autres cas, l'eau peut former une goutte, ce qui indique la présence d'huile à la surface. Dans le cas du lavage au jet d'eau pressurisé, l'huile à la surface du béton sablé est éliminée seulement trois fois sur 8.

Or, les résultats de noirceur montrent que les nettoyants ne sont pas efficaces pour éliminer l'huile. Cette divergence peut s'expliquer par le fait que la méthode optique détecte l'huile sur une profondeur assez importante alors que la mouillabilité de la surface n'est sensible qu'à la surface du béton sablé.

Si on considère que les meilleurs nettoyants à planchers sont ceux qui éliminent l'huile de la surface de sorte que l'eau peut y pénétrer alors on obtient l'efficacité décroissante suivante : **DH2 > P3 > DS1 > DH1**. La bonne efficacité du **P3** est peut être réelle ou elle découle d'un artéfact dû à l'accumulation de la poudre de savon dans les pores du béton sablé qui favoriserait l'étalement de l'eau.

Ceci dit, il est à noter que les deux nettoyants les plus performants sont recommandés à des concentrations beaucoup plus élevées (2-3%) que les deux autres (0.5%). Il est possible que la différence de performance soit attribuable à la concentration.

CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

Cette activité portait sur le nettoyage des planchers de béton et plus spécifiquement sur l'élimination de l'huile à moteur usée et de l'huile à transmission automatique usée des surfaces de béton sablé (sans revêtement) ou scellé (scellant couleur mat). L'étude systématique s'est avérée beaucoup plus complexe que prévue à cause de la pénétration des huiles dans le béton sablé. Ce qui devait être une extension du rapport R-210 de l'IRSST est devenu un projet de recherche avec de nouveaux paramètres dont il a fallu tenir compte. La première conclusion de cette activité est donc que cette étude ne saurait prétendre aborder l'ensemble de la problématique du nettoyage des bétons souillés. Il est tout de même possible d'émettre quelques recommandations qui pourraient être utiles aux employeurs et travailleurs qui ont à intégrer l'entretien des planchers de béton dans leur tâche.

- 1 Le béton sablé laisse pénétrer les huiles par le biais de sa porosité. Ce type de plancher est très difficile à entretenir dans la mesure où le nettoyage en profondeur est visé.
- 2 L'élimination des huiles emprisonnées dans le béton souillé nécessite l'utilisation de solvants très puissants et cette approche n'est pas recommandable pour des raisons de coûts, de toxicité et d'environnement.
- 3 L'application d'un scellant ralentit la pénétration des huiles dans le béton et facilite leur entretien. Il faudra prévoir d'ajuster la fréquence de l'entretien avec la quantité d'agent glissant générée.
- 4 L'huile à moteur usée pénètre dans le béton sablé et laisse un résidu résineux à la surface. En plus d'être glissants, ces résidus ralentissent la pénétration des huiles lors des déversements subséquents. Les huiles demeurent donc de plus en plus longtemps à la surface rendant les planchers glissants sur des périodes de temps de plus en plus longues.
- 5 L'enlèvement de l'excédent d'huile à moteur avec un chiffon sec doit être suivi d'un nettoyage agressif (brosse, jet d'eau pressurisé) à l'aide d'un nettoyant industriel pour éliminer les traces d'huile résiduelles qui réduisent le coefficient de friction dynamique intrinsèque.
- 6 L'utilisation du nettoyage à la moppe ne semble pas efficace pour éliminer l'huile à moteur usée du béton scellé. Si cette approche doit être utilisée, alors il est recommandé de développer une méthodologie vigoureuse et de s'assurer que l'huile a bien été enlevée.
- 7 Pour éviter la dégradation du scellant, il est recommandé de limiter le temps de contact du béton scellé avec les nettoyants industriels.

REMERCIEMENTS

Cette activité de recherche a été financée par l'Institut de recherche en santé et en sécurité du travail. QInc tient à remercier Louis Bousquet, Conseiller scientifique de l'IRSST, pour son implication et ses commentaires judicieux tout au long du projet, Jean-Pierre Jobin, Spécialiste en prévention-inspection de la Direction régionale Montréal-03 et Michel Gagnon, Conseiller en hygiène industrielle de l'ASAP-Services automobiles.