

# LE RÔLE DES CHAUSSÉES DANS LA GESTION DES RISQUES CAUSÉS PAR LE TRANSPORT DES MATIÈRES DANGEREUSES

F. G. Praticò, R. Ammendola, A. Moro

D.I.M.E.T. Department-Mediterranean University of Reggio Calabria, ITALY,

[filippo.pratico@unirc.it](mailto:filippo.pratico@unirc.it),

[rachele.ammendola@unirc.it](mailto:rachele.ammendola@unirc.it), [antonino.moro@unirc.it](mailto:antonino.moro@unirc.it)

## RÉSUMÉ

Aujourd'hui, beaucoup de matières dangereuses (Hazardous Materials, Hazmat) sont transportés « sur la route » et ceci peut être très important pour la permanence d'économies nationales et internationales fortes et effectives.

D'autre part, il peut causer des risques pour la santé des personnes, pour la sécurité et pour la propriété. Les réponses, les procédures et la gestion du risque de l'hazmat bien-définis peuvent nous aider à identifier les matières dangereuses, la réponse ultérieure directe et comment minimiser les risques. En ce qui concerne ceux-ci, le pavage peut avoir un rôle très important, mais beaucoup d'aspects doivent être clarifiés. Les deux principaux objectifs de cet étude ont été le projet, la construction et la validation d'un dispositif pour vérifier la résistance chimique de enrobés bitumineux (Hot Mix Asphalts, HMAs) et l'évaluation des rapports pour estimer comment un fluide transporté peut être dangereux selon les caractéristiques de la mixture (porosité effective, etc.). Cet étude peut être utile pour décider la typologie juste de Hot Mix Asphalt à utiliser dans les zones où il y a des conditions de haute vulnérabilité et/ou de haute probabilité.

## 1. LES PROBLÈMES DU RISQUE ET LE MODÈLE DE PERCOLATION

L'écoulement et la propagation de Hazmat peuvent causer des dommages à la chaîne conducteur-véhicule-route-environnement et ceci peut être corrélé à beaucoup de classes de risque (voir figures 1 [1; 2 ; 3; 4]). Le transport de Hazmat est un problème qui a beaucoup d'objectifs et beaucoup de coparticipants; les événements liés à hazmat (et les accidents) sont des événements peu probables et qui ont de très graves conséquences et les critères pour la selection du parcours comprennent [5; 6]: a) temps de voyage minimum; b) taux d'accident le plus bas; c) la population exposée la plus basse (la population qui est dans la route et celle qui ne l'est pas); d) les problèmes de trafic; e) les problèmes d'infrastructure. En ce qui concerne les problèmes des chaussées liés à la mitigation du risque, à la friction de la surface, aux propriétés de portée maximum et donc les vitesses opérationnelles et le trafic peuvent être très affectés dans le bref, moyen et long terme. Et encore, ceci influence à la fin le rôle « life-line ». En particulier, quand une grande masse de combustible est répandue dans un HMA, la masse de départ  $M_0$  (control sample ou test specimen) diminue à cause de la perte d'agrégats ( $AG$ ) et de liant asphaltique ( $B$ ), même si des quantités petites  $I$  de combustible sont encore piégées dans l'étalon [7]:

$$M_d = M_0 - B + I - (AG) \cong M_0 - \Delta M \quad (1)$$

où  $M_d$  est la masse d'étalon sec après la percolation de hazmat ou le trempage dans le combustible. On peut avoir la suivante expression (voir tab. 1) de l'équation (1):

$$\frac{A_i}{100} = \left( \frac{4n_{eff}}{\phi^*} + \frac{2\alpha}{r} + \frac{1}{h} \right) \frac{\Delta t}{a} \cdot \frac{\gamma_L}{\gamma_{cb}} \quad (2)$$

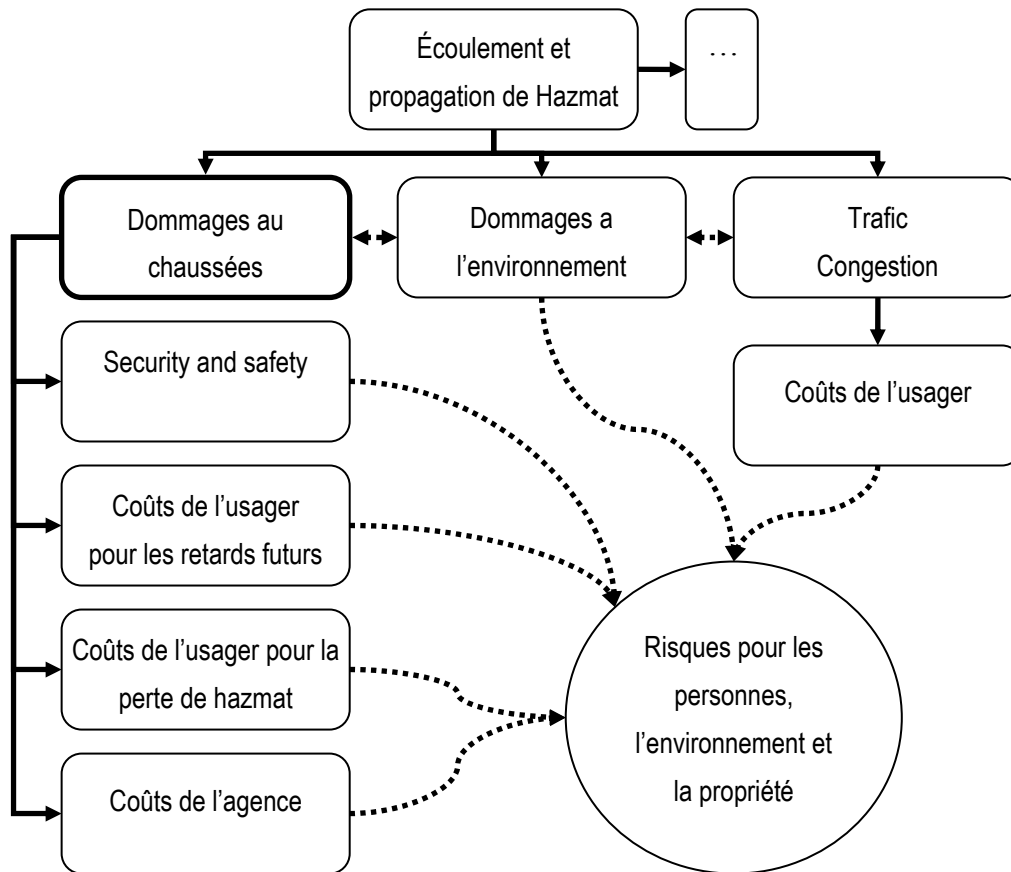


Figure 1 - Principales classes de risques liés à l'écoulement de hazmat

Tableau 1 - Symboles du modèle

$A_i$ : Perte de masse après trempage dans le combustible $A_i = ((m_{1,i} - m_{2,i}) / m_{1,i}) \cdot 100$ ; $m_{1,i}$ = masse sèche initiale de l'étalon $i$ pour trempage dans le combustible, (g); $m_{2,i}$ = masse de l'étalon du test sec $i$ après trempage dans le combustible, (g). $A = \sum_i A_i / 3$ .
$n_{eff}$ : Porosité effective.
$\phi^*$ : Diamètre de référence des pores.
$\alpha$ : Paramètre adimensionnel ( $0 \leq \alpha \leq 1$ ), $\alpha \cong h_i / h \cong 0,55$ .
$h_i, h$ : Hauteur du combustible autour de l'étalon et hauteur de l'étalon.
$r$ : Rayon de l'étalon.
$\Delta t$ : Temps de plongement; $\Delta t = 72^h \pm 30$ min (bitume polymère-modifié) ou $\Delta t = 24^h \pm 30$ min.
$a$ : Paramètre qui tient en considération le liant asphaltique, la dimension et la forme des parcours du flux, des caractéristiques du combustible, etc.; il a les dimensions du nombre inverse de la vitesse.
$\gamma_{Li}, \gamma_{cb}$ : Gravité spécifique de la masse de perte; gravité spécifique de l'étalon.

Pour poursuivre les objectifs susmentionnés, si l'on suit le modèle qu'on a établi dans cette section, on a projeté et construit un dispositif et des essais ont été projetés et exécutés.

## 2. CONSTRUCTION DU DISPOSITIF

Ici dans le DIMET Department of the University of Reggio Calabria – Italy l'on a projeté, construit et calibré un dispositif pour évaluer la résistance de HMAs à l'écoulement de Hazmat et de l'action suivante du trafic, pour évaluer  $A$ ,  $B$  et  $C$  (EN 12697-43:2005, voir figure 2), où:  $A(\%)$ , valeur moyenne de la perte de masse après trempage dans le combustible (Diesel oil), a été définie (avec  $m_{1,i}$  et  $m_{2,i}$ ) dans le tableau 1;  $B(\%)$  = valeur

moyenne de la perte de masse après le brush test, où  $B = \sum_i B_i / 3$ , avec  $i = 1, 2, 3$  (nombre des étalons),  $B_i = ((m_{2,i} - m_{5,i}) / m_{2,i}) \cdot 100$ ,  $m_{5,i}$  = masse de l'étalon du test  $i$  après trempage et 120 s dans le brush test, in grammes (g);  $C(\%)$  = valeur moyenne de la perte de masse des étalons, où  $C = \sum_i C_i / 3$ , avec  $i = 1, 2, 3$  (nombre des étalons),  $C_i = ((m_{1,i} - m_{5,i}) / m_{1,i}) \cdot 100$ . On doit dire que  $C$  a été introduit pour avoir un descripteur qui peut combiner les deux différentes actions (trempage + brushing) et qui est probablement le plus représentatif de la performance du pavage après-trempage.

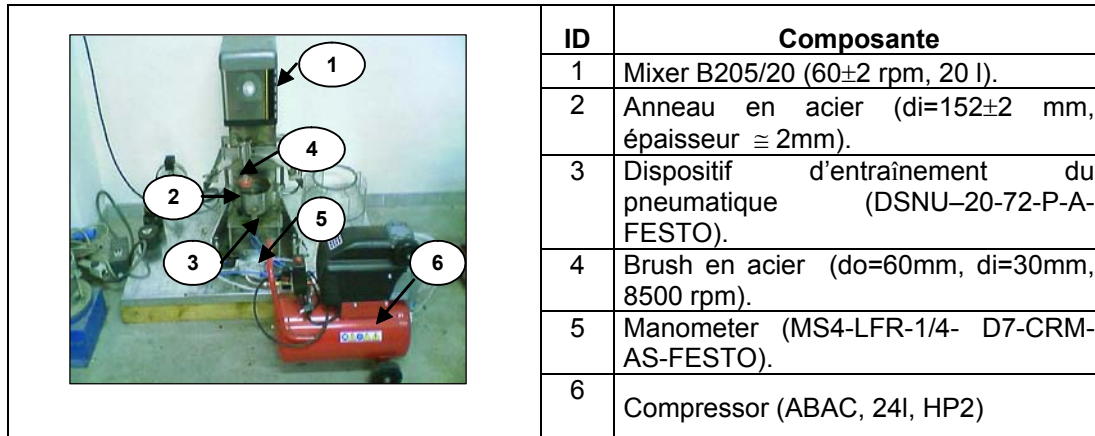


Figure 2 - Brush tester (EN 12697-43:2005).

### 3. ESSAIS

Pour évaluer combien un certain combustible peut être dangereux pour un certain HMA, l'on a examiné cinq différentes classes de mixtures bitumeuses : DGFC (Dense Graded Friction Course), BIC (Binder Course), BAC (Base Course), PEM (Porous European Mixes), SMA (Splitt Mastix Asphalt). Le Tableau 2 résume la composition moyenne des mixtures sélectionnées (assortiment granulométrique, contenu de liant asphaltique, porosité effective).

Tableau 2 - Les principaux paramètres de composition des cinq mixtures

φ (mm) Sieve Size	Percent Passing (%)				
	Mix 1	Mix 2	Mix 3	Mix 4	Mix 5
40	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
30	100.00	100.00	87.10	100.00	100.00
25	100.00	92.20	64.30	100.00	100.00
15	100.00	69.90	50.40	85.52	99.05
10	99.29	50.20	42.30	39.52	92.75
5	66.45	40.00	35.60	21.71	44.44
2	36.45	27.20	27.80	15.41	26.83
0.4	13.83	13.70	15.40	9.18	14.11
0.18	12.48	7.00	8.50	7.30	9.60
0.075	7.66	4.00	4.30	5.03	7.69
b %	5.3-5.7	4.8	4.5	4.4-5.2	6.10
n <sub>eff</sub> (%)	6.5-17.1	5.9-6.0	6.9-8.0	13.5-29.5	9.5-11.3

Mix 1 = Dense-graded friction course, Mix 2 = Binder course, Mix 3 = Base course, Mix 4 = Porous European Mix, Mix 5=SMA

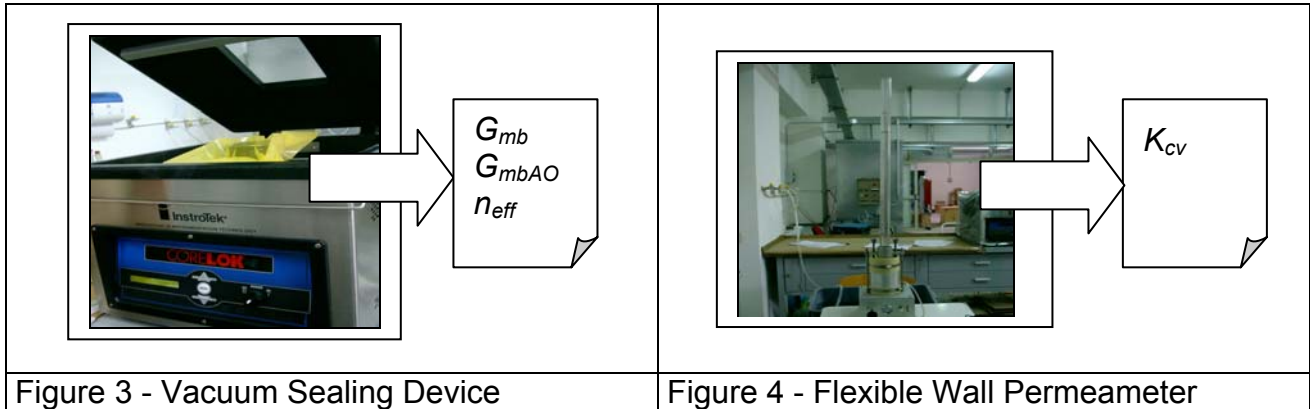
Les sections qui suivent résument les principaux essais effectués pour poursuivre les objectifs susmentionnés.

### 3.1. Tests volumétriques

On a déterminé les suivants paramètres:  $b$  (%) = contenu de liant asphaltique comme pourcentage du poids de l'agrégat (B.U. CNR n.38/73; ASTM 6307);  $G$  = gradation de l'agrégat (B.U. CNR n. 4/53); NMAS = Dimension de l'Agrégat Maximum Nominal;  $f$  (%) = contenu du filler ( $d \leq 0.075$  mm);  $s$  (%) = contenu de sable ( $0.075 \text{ mm} \leq d \leq 2$  mm);  $\gamma_g$  = gravité spécifique apparente de l'agrégat (B.U. CNR n. 63/78);  $G_{mb}$  = gravité spécifique du bulk de la mixture (ASTM D6752; ASTM D6857) (voir Figure 3);  $G_{mbAO}$  = gravité spécifique du bulk de la mixture après l'ouverture (ASTM D6752; ASTM D6857);  $n_{eff}$  = porosité effective de la mixture (ASTM D6752; ASTM D6857) (voir Figure 3). La porosité effective ( $n_{eff}$ ) a été calculée de  $G_{mb}$  et  $G_{mbAO}$ :  $n_{eff} = \frac{G_{mbAO} \cdot \gamma_w - G_{mb} \cdot \gamma_w}{G_{mbAO} \cdot \gamma_w}^{-1}$ ,  $\gamma_w$  = densité de l'eau.

### 3.2. Tests de perméabilité

$K_{cv}$ , le coefficient de perméabilité de l'eau, a été calculé utilisant un Flexible Wall Permeameter – FWP (ASTM PS 129-01) (voir Figure 4), selon la formule:  $K_{cv} = R_T \cdot a_{cs} \cdot l \cdot A_{cs}^{-1} \cdot t \cdot \ln(h_1/h_2)$ , où  $a_{cs}$  est la zone transversale intérieure d'amenée ( $\text{cm}^2$ );  $l$  est l'épaisseur de l'étalon du test (cm);  $A_{cs}$  est la zone transversale de l'étalon du test ( $\text{cm}^2$ );  $t$  est le temps passé moyen de flux d'eau parmi les signes caractéristiques (s);  $h_1$  est le charge hydraulique initial sur l'étalon (cm);  $h_2$  est le charge hydraulique final sur l'étalon (cm);  $R_T$  est un coefficient de correction thermique ( $20^\circ\text{C}$ ).



## 4. RÉSULTATS

Les figures de 5 à 19 résument les résultats obtenus. Les figures de 5 à 7 se réfèrent à la dépendance de la résistance chimique (A, B, C) de  $n_{eff}$  (porosité effective de pavage) pour toutes les mixtures.

Les résultats montrent une forte dépendance de  $n_{eff}$  de la perte de masse après trempage (A), de la perte de masse après le brush test (B) et de la perte de masse pour l'action combinée (Trempage + Brushing, C). Les valeurs R-carré vont de 0.64 à 0.83 et le résultat a augmenté par rapport aux essais précédents [7]. Dans les figures de 8 à 10, les résultats sont organisés selon la typologie de mixture, tandis que les figures de 11 à 13 se réfèrent à la résistance chimique des PEMs (Porous European Mixes) quand  $n_{eff}$  augmente.

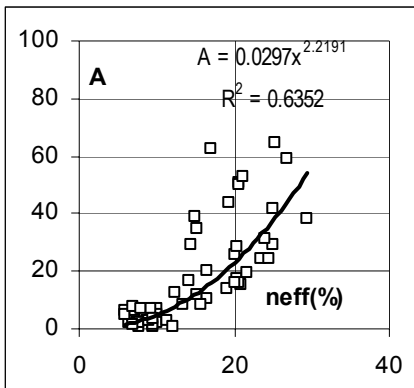


Figure 5 - A vs neff(%).

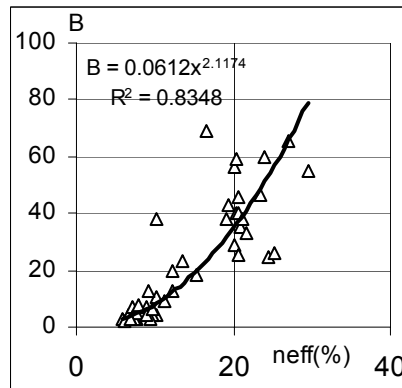


Figure 6 - B vs neff(%).

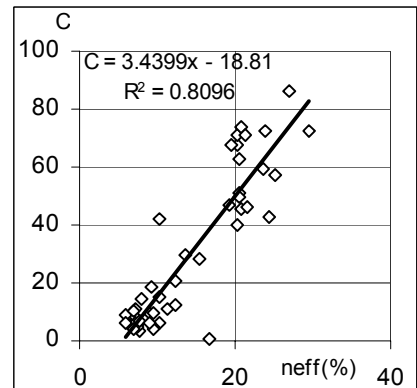


Figure 7 - C vs neff(%).

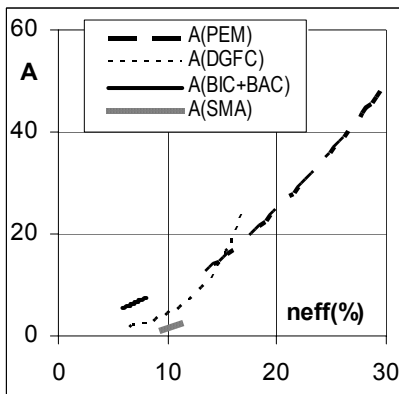


Figure 8 - A vs. neff(%).

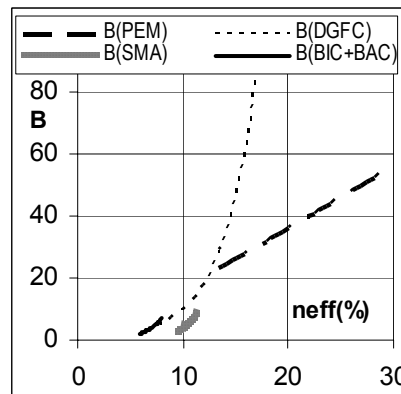


Figure 9 - B vs. neff(%).

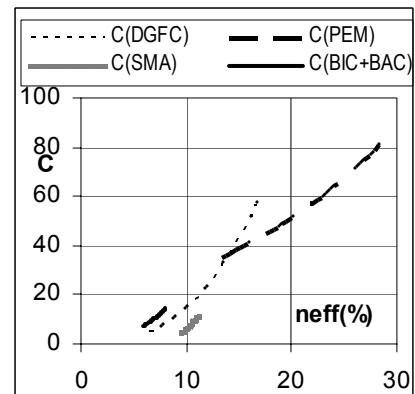


Figure 10 - C vs. neff(%).

Les premières dérivées sont variables (tableau 3); les pentes positives les plus fortes sont liées aux mélanges à assortiment dense. On doit remarquer que la variance de PEMs n'est pas suffisamment expliquée par les changements dans la porosité effective (voir les figures de 11 à 13, où l'on indique les valeurs R-carré).

Tableau 3

	A	B	C
PEM	$A = 0.1445 \cdot n_{\text{eff}}^{1.7156}$ ; $R^2 = 0.341$	$B = 1.3088 \cdot n_{\text{eff}}^{1.1044}$ ; $R^2 = 0.2872$	$C = 16.703 \cdot \exp(0.0555 \cdot n_{\text{eff}})$ ; $R^2 = 0.4248$
DGFC	$A = 0.3034 \cdot \exp(0.2599 \cdot n_{\text{eff}})$ ; $R^2 = 0.5592$	$B = 0.4246 \cdot \exp(0.3117 \cdot n_{\text{eff}})$ ; $R^2 = 0.7436$	$C = 0.0293 \cdot n_{\text{eff}}^{2.6859}$ ; $R^2 = 0.6671$
BIC + BAC	$A = 0.8693 \cdot n_{\text{eff}}^{1.0346}$ ; $R^2 = 0.4759$	$B = 0.0595 \cdot \exp(0.5991 \cdot n_{\text{eff}})$ ; $R^2 = 0.8518$	$C = 1.0852 \cdot \exp(0.3233 \cdot n_{\text{eff}})$ ; $R^2 = 0.8396$
SMA	$A = 0.9053 \cdot n_{\text{eff}} - 7.4752$ ; $R^2 = 0.7399$	$B = 0.0156 \cdot \exp(0.5618 \cdot n_{\text{eff}})$ ; $R^2 = 0.8723$	$C = 10^{-05} \cdot n_{\text{eff}}^{5.6687}$ ; $R^2 = 0.9592$

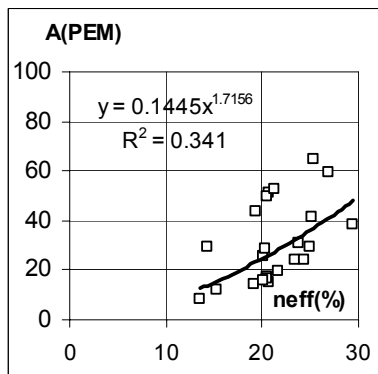


Figure 11 - A vs. neff(%)

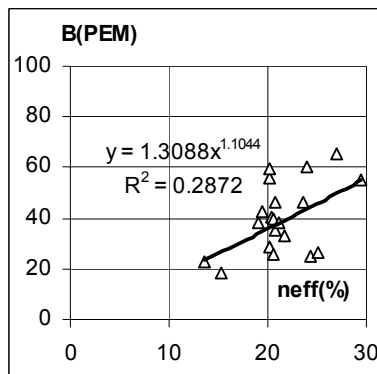


Figure 12 - B vs. neff(%)

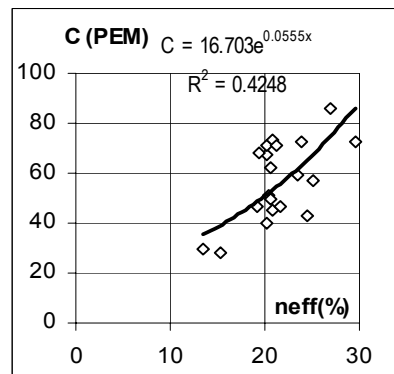


Figure 13 - C vs. neff(%)

Les figures de 14 à 16 montrent l'influence de la conductibilité hydraulique sur la résistance chimique tandis que les figures de 17 à 19 résument les corrélations parmi les "effets" sélectionnés (i.e. A, B, C). La sensibilité des trois indicateurs A, B, C à la conductibilité hydraulique  $K_{cv}$  (dispositif de FWP, PEMs) semble être plutôt optimisée si l'on peut la comparer aux essais précédents [7]. Dans certains cas, ceci pourrait être dû à l'"allongement" des courbes sur l'axe des x, ici causé par la considération des mélanges qui sont soit denses soit ouvertes.

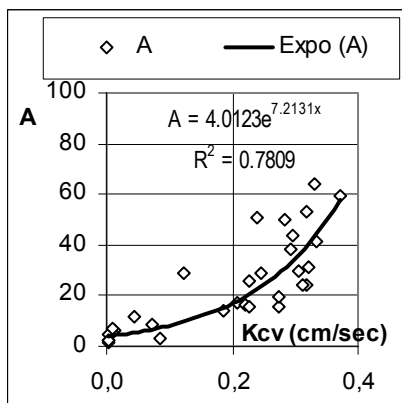


Figure 14 - A vs  $K_{cv}$ .

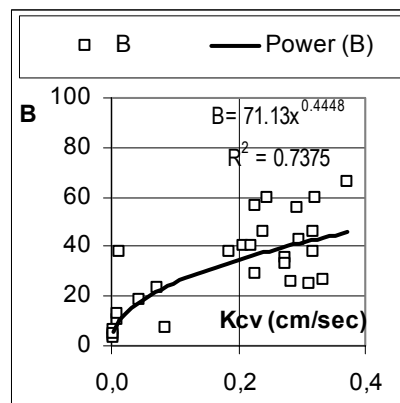


Figure 15 - B vs  $K_{cv}$ .

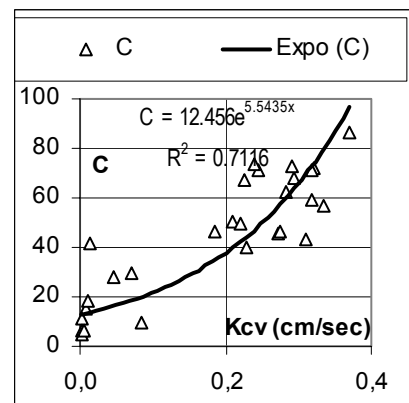


Figure 16 - C vs  $K_{cv}$ .

En ce qui concerne les corrélations parmi les trois indicateurs sélectionnés (figures de 17 à 19), la susceptibilité Brushing et Trempage semble être bien corrélée ( $R^2_{AB}=0.68$ ); naturellement, la susceptibilité combinée (C: Brushing + Trempage) semble être mieux corrélée soit au comportement dans le procédé de trempage ( $R^2_{AC}=0.75$ ) soit au descripteur du procédé de Brushing ( $R^2_{BC}=0.72$ ).

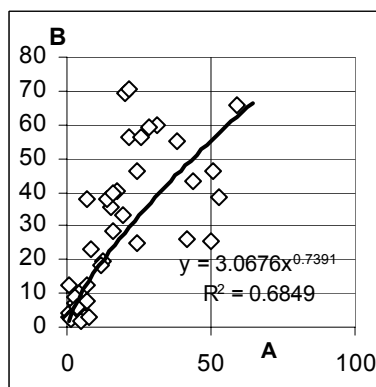


Figure 17: A vs B

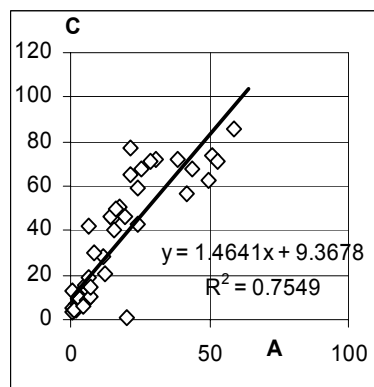


Figure 19: A vs C

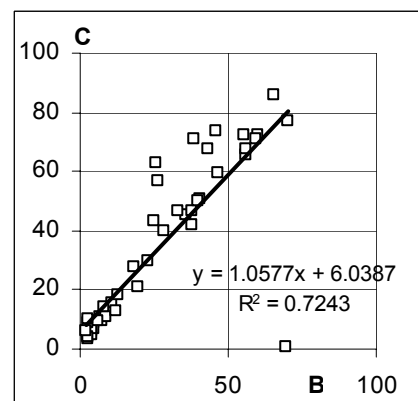


Figure 19: B vs C

## 5. LES CONCLUSIONS PRINCIPALES

On peut tirer les suivantes conclusions: i) la littérature internationale et beaucoup d'histoires des cas soutiennent le rôle stratégique du revêtement routier et de l'infrastructure pour gérer les transports de hazmat sur la route; ii) les résultats théoriques (équation 2) et expérimentaux prouvent la dépendance de la résistance chimique de la porosité effective et de la conductibilité hydraulique ; donc, le sens et le rôle de  $n_{eff}$  et de  $K_{cv}$  pour expliquer et contrôler la durabilité de HMA sont confirmés pas seulement pour des buts de fatigue mais encore en termes de résistance chimique; iii) les DGFCs semblent avoir un comportement singulier en termes de dépendance de résistance chimique de  $n_{eff}$  (grande variation de la première dérivée); iv) sur la base des résultats obtenus, si on les compare avec les précédents essais [7], il est possible de supposer une relative stabilité et une affidabilité des coefficients obtenus pour les courbes exactes ( $n_{eff}$  – corrélations A – B – C), pour un certain liant asphaltique et combustible; v) on confirme que la variable C pourrait avoir deux caractéristiques importantes : représentativité et prévisibilité; en effet, elle semble être représentative du dommage réel sur la route et elle est bien corrélée aux propriétés soit intrinsèques (porosité) soit extrinsèques (perméabilité); vi) les valeurs R-carré semblent être optimisées si on les compare avec les études précédents [7]: ceci est probablement dû à la quantité augmentée de données et aux gammes les plus larges de variations.

## RÉFÉRENCES

1. Minseok, Kim (2006). A heuristic for routing hazmat transport given real-time weather and traffic information. Thesis submitted to the Faculty of the Graduate School of the University of Maryland, College Park - degree of Master of Science.
2. Giordani, Stefano (2005). Modelli e metodi per la definizione di piani per il trasporto di merci pericolose. PRIN - Programmi di Ricerca di Rilevante Interesse Nazionale. Università degli Studi di Roma "Tor Vergata".
3. Nicolet-Monnier, M. and Gheorge, A. V. (1996). Quantitative Risk Assessment of Hazardous Materials Transport Systems: Rail, Road, Pipelines & Ship. Kluwer Academic Publishers.
4. AA.VV. (2002). A Study of Hazards and Risks to Public Health and Safety, the Environment, and the Economy Associated with the Transportation of Hazardous Materials, As Required Under Section 352(b) of the Department of Transportation and Related Agencies Appropriations Act, U.S. Department of Transportation, Research and Special Programs Administration, Office of Hazardous Materials Safety, Washington, D.C. 20590, FINAL REPORT, June 18.
5. Masoud Hamedi, Saini Yang, Ali Haghani (2006). Routing and Scheduling of Hazmat Fleet to Avoid Risk Accumulation, University of Maryland at College Park January, 25.
6. Parsons Brinckerhoff Quade & Douglas (2006). Risk Analysis Study of Hazardous Materials Trucks through Eisenhower / Johnson Memorial Tunnels, FINAL REPORT, Colorado Department of Transportation, June.
7. Praticò F.G., Ammendola R. and Moro A. (2007). Influence of mix parameters on fuel resistance of porous and dense - graded HMAs. International Conference: Advanced Characterisation of Pavement and Soil Engineering Materials. Athens, Greece, June.