

ETUDE STATISTIQUE SUR LA METHODE D'ESSAI DES
PEINTURES POUR LE MARQUAGE DES ROUTES

RAPPORT PRELIMINAIRE

CANQ
TR
BSM
RE
122

David,
Service de la statistique

Mars 1982

Ministère des Transports
Centre de documentation
930, Chemin Ste-Foy
6e étage
Québec (Québec)
G1S 4X9



ETUDE STATISTIQUE SUR LA METHODE D'ESSAI DES
PEINTURES POUR LE MARQUAGE DES ROUTES

RAPPORT PRELIMINAIRE

QTRD
CANQ
TR
BSM
RE
122

Jean David,
Service de la statistique

Mars 1982

PLAN DU RAPPORT PRELIMINAIRE

PRINCIPALES CONCLUSIONS

RAPPORT PRELIMINAIRE

A- DEFINITION DU PROBLEME

B- DEVIS D'ETUDE

C- DEROULEMENT DE L'ETUDE

- 1- Etude des données historiques
- 2- Expérience contrôlée
 - . 1ère partie: Description
 - . 2ième partie: Principaux résultats
- 3- Etude des résultats
 - a) Classes d'équivalence
 - b) Formule Q
 - c) Choix de la meilleure peinture
 - d) Microbilles de verre

D- CONCLUSION

ANNEXE

Essai de simulation du choix de la peinture avec la nouvelle formule appliquée aux résultats des tests de 1980 et 1981.

PRINCIPALES CONCLUSIONS

1- Etude des données historiques

- a) La variation d'année en année de la qualité moyenne des peintures est plutôt erratique. Aucune conclusion ferme ne peut être apportée, même si pour les dernières années, on note une baisse sensible de la qualité.
- b) L'échantillon-type n'a pas apporté de meilleures réponses; toutefois, dans ce cas, l'étude se poursuit.
- c) La variation interne de la méthode d'essai était de l'ordre de 4,3% pour les années 1978, 79 et 80. Ce premier estimé du degré de fiabilité nous permettra de faire un estimé assez précis de cette variation interne dans une expérience contrôlée avec 10 séries de 3 bandes d'une même peinture de couleur blanche.
- d) Nous avons également pu déterminer que cette variation interne est invariante en fonction de la couleur de la peinture.
- e) Nous avons pu constater que le rétro-réflexomètre a eu pour effet de diminuer la variation due aux évaluateurs, à partir de 1978.

2- Expérience contrôlée

- a) La variation interne est estimée à 3,4% de la valeur du WT. Ce pourcentage peut varier entre 2,9% et 3,9% pour une marge d'erreur de 14,7% sur l'estimé.
- b) La peinture de contrôle a donné un estimé de 1,7%, ce qui indique que cette variation interne varie selon la peinture.
- c) Compte tenu de cette variation interne, les peintures ne devraient plus être classifiées par ordre de WT, mais plutôt par classe de WT équivalents.
- d) La peinture avec 4 livres de microbilles de verre a amené une diminution de 11% de la visibilité de nuit par rapport à la peinture avec 6 livres de microbilles de verre. La courbe de dégradation de ce facteur de service n'a pas été affectée sérieusement. Les autres facteurs de service sont demeurés stables.

3- Etude des résultats

- a) Le facteur "Q" devrait être modifié par l'élimination de la formule du coût d'application de la peinture, car celui-ci est constant et de la sorte, il diminue l'importance des variations dans le prix d'achat.

b) Le nouveau facteur Q , dénoté Q' , devrait être utilisé non plus avec le WT d'une peinture, mais plutôt avec le WT moyen des classes d'équivalence du WT , appliqué à la marque de peinture dont le prix est le plus bas dans la même classe d'équivalence.

c)

RAPPORT PRELIMINAIRE

A- DEFINITION DU PROBLEME

Chaque année, le ministère des Transports effectue des tests de performance pour déterminer la valeur relative des peintures à signalisation proposées par les différents fabricants. Les fabricants fournissent au Ministère un échantillon des peintures pour lesquelles ils présenteront une soumission. Cet échantillon est utilisé pour effectuer un test de performance. C'est le laboratoire central qui est chargé de réaliser ces tests. A trois endroits différents, on trace, sur la voie de droite, pour chaque type de peinture, une série de 3 bandes transversales. Quatre évaluateurs sont chargés de déterminer l'apparence et la durabilité de la peinture, et un appareil, le rétro-réflexomètre, mesure la visibilité de nuit. De juillet à décembre, 6 à 8 inspections sont réalisées et à chaque fois, on attribue une cote à la peinture. Tous ces résultats sont combinés ensemble et chaque peinture obtient un résultat, dénoté par WT et appelé facteur de performance. Par la suite, les peintures sont classées selon un facteur "Q", qui tient compte à la fois de la performance et du prix.

Le Service de la statistique a été chargé d'analyser cette méthode d'évaluation. Les principaux objectifs à atteindre étaient les suivants:

- 1) déterminer si la norme de performance avec attribution éventuelle du contrat selon le facteur "Q" a contribué à améliorer la qualité des peintures;
- 2) déterminer le degré de fiabilité de la méthode d'essai de performance sur la route;
- 3) déterminer si des améliorations pourraient être apportées à la méthode d'essai de performance sur route;
- 4) déterminer s'il y a lieu de modifier la méthode d'attribution du contrat.

B- DEVIS D'ETUDE

Le Service de la statistique a déterminé que cette étude devait se réaliser en trois phases: étude des données historiques, expérience-pilote et étude de l'ensemble des résultats.

1. Etude des données historiques

- a) pour étudier l'évolution de la qualité des peintures
 - comparer les performances moyennes annuelles des peintures
 - étudier l'évolution de la variance entre les peintures

- b) pour établir les paramètres nécessaires à l'élaboration de l'expérience contrôlée, soit en particulier
 - la taille de l'expérience
 - l'utilisation d'une ou plusieurs peintures
 - l'utilisation de peintures blanches ou jaunes

2. Expérience contrôlée

- a) Pour déterminer le degré de fiabilité de la méthode d'essai.
- b) Pour déterminer si l'étude des photographies à l'aide d'un appareil ne permettrait pas de déterminer la durabilité des peintures.

Toutes ces phases de l'étude visent à atteindre les objectifs principaux déterminés dans la partie A, de telle sorte que normalement, on aura fait le tour complet de la méthode d'évaluation et qu'on sera en mesure, dans la phase 3, de déterminer les modifications nécessaires qui permettront d'atteindre le grand objectif: avoir une façon fiable et sûre de classer les peintures selon la qualité et de procéder finalement au meilleur choix compte tenu de la qualité et du prix.

C- DEROULEMENT DE L'ETUDE

1- Etude des données historiques

Nous possédons les rapports sur les essais de performance effectués de 1970 à 1981, ainsi que les résultats individuels de chaque évaluateur lors de chacune des évaluations pour les tests effectués de 1972 à 1981, sauf pour l'année 1974 où il n'y a pas eu d'essai. Les peintures retenues pour l'analyse sont celles qui ont satisfait à la norme et qui apparaissaient sur le classement final de chaque année.

D'autre part, pour suivre l'évolution de la qualité des peintures de 1970 à 1981, nous avons calculé la valeur moyenne annuelle de cette qualité, ainsi que la variance entre les peintures. Nous croyons, en effet, que si l'objectif de ces tests de performance et de la méthode d'attribution est atteint, cela doit se refléter dans cette moyenne. En effet, les peintures des différents fabricants se doivent d'évoluer dans le même sens, car compte tenu de la méthode d'attribution, une peinture donnée, avec un écart de qualité important, ne serait plus compétitive très rapidement. Par conséquent, nous nous croyons justifié de procéder ainsi. Le tableau 1 à la page suivante, nous donne les résultats.

TABLEAU 1

EVOLUTION DU FACTEUR DE PERFORMANCE DE WT DE 1970 à 1981

"Moyenne, variance, écart-type et coefficient de variation (rapport entre l'écart-type et la moyenne) pour l'ensemble des peintures blanches et jaunes"

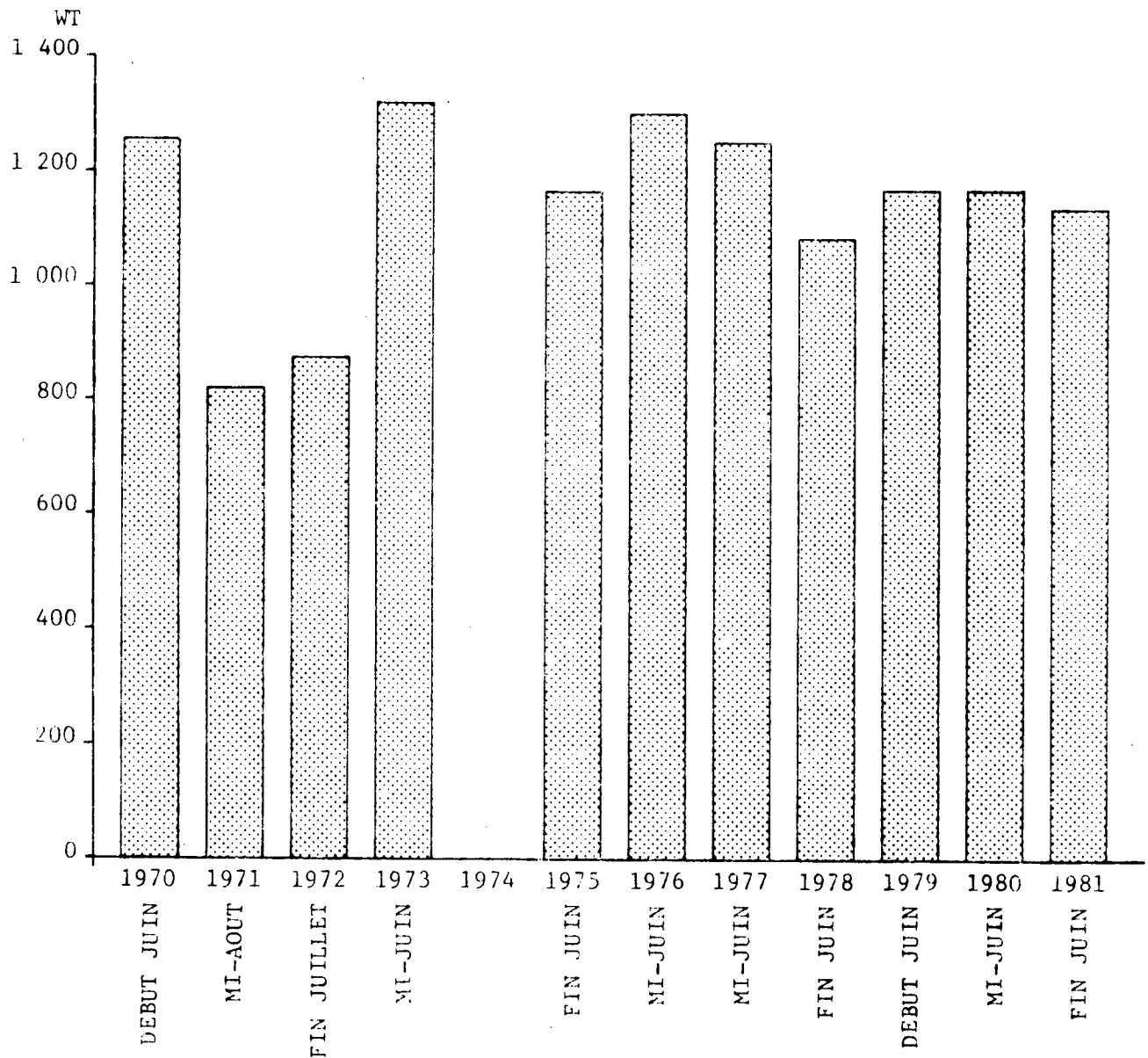
ANNEE	NOMBRE DE PEINTURES	MOYENNE	VARIANCE	ECART-TYPE	COEFFICIENT DE VARIATION
1970	11	1255,56	10728	103,57	8,25%
1971	9	818,16	826	28,75	3,51%
1972	29	871,46	12680	112,61	12,92%
1973	12	1326,80	5100	71,41	5,38%
1974	-	-	-	-	-
1975	24	1167,87	6744	82,12	7,03%
1976	19	1300,32	2466	49,65	3,82%
1977	19	1250,63	2419	49,18	3,93%
1978	20	1085,44	18597	136,37	12,56%
1979	18	1169,97	6464	80,40	6,87%
1980	32	1169,21	16945		
1981					
1975-80	132	1186,97	13607	116,65	9,83%
1970-80	193	1134,96	32113	179,19	15,79%

Nous avons déterminé que pour les années 1975, 1979, 1980 et 1981, les moyennes ne sont pas significativement différentes l'une de l'autre, non plus qu'entre les moyennes des années 1976 et 1977, ou entre les moyennes des années 1978 et 1981. De 1975 à 1980, toutes les autres moyennes annuelles prises deux à deux sont significativement différentes l'une de l'autre.

Sur le graphique du WT moyen (graphique No 1), on voit très nettement que celui-ci varie beaucoup d'une année à l'autre. Sur ce graphique, nous avons ajouté la date d'application de la peinture et nous voyons l'influence très nette de celle-ci sur le WT moyen. Cette influence s'explique par le fait qu'à chaque année, la dégradation des bandes est lente du début de l'été jusqu'à l'arrivée de l'hiver: à ce moment, la dégradation devient beaucoup plus rapide. Peu importe donc, la date de la pose, la plupart des bandes atteindront le score 4 pour l'un de leur facteur de service à peu près au même moment, soit peu de temps après les premières chutes de neige permanente, lorsque les automobilistes

GRAPHIQUE NO I

Facteur de performance moyen (WT) par année et date
approximative d'application des peintures de 1970 à
1981 - Moyenne des peintures blanches et jaunes



utiliseront des pneus à crampons, ou que l'on commencera à répandre des abrasifs sur la chaussée. D'autres facteurs peuvent aussi influencer le facteur de performance moyen d'une année, dont par exemple:

- le volume et le type de circulation sur les planches d'essai
- les conditions climatiques lors de la pose et pendant les tests
- la qualité des peintures
- l'usure de la chaussée sur les planches d'essai

Par conséquent, l'absence de stabilité dans les conditions d'expérimentation nous empêche de tirer des conclusions quant à la qualité moyenne des peintures testées, celle-ci n'étant qu'un des facteurs expliquant les différences entre les WT moyens d'une année à l'autre.

D'autre part, on remarquera tout de même pour la période allant de 1975 à 1981, une certaine stabilité relativement à la date d'application. A l'aide d'un artifice, qu'on appelle "moyenne mobile", on peut apercevoir une tendance pour les 7 dernières années. Nous allons calculer une moyenne sur trois ans de la façon suivante:

Année	WT moyen	Moyenne mobile sur 3 ans
1978	1167,87	} } } 1239,61 1212,13 1168,68 1141,54 1161,63
1976	1300,32	
1977	1250,63	
1978	1085,44	
1979	1169,97	
1980	1169,21	
1981	1145,72	

Une analyse sommaire des moyennes mobiles nous montre une diminution du WT moyen, ou tout au moins une tendance dans cette direction. Les tests statistiques précédents ont démontré que les trois dernières années présentent une stabilité certaine au niveau du WT moyen. Les moyennes mobiles ne font que confirmer cette donnée. Elles confirment également une nette diminution par rapport à 1976 et 1977, diminution que l'on peut valider par des tests statistiques. Doit-on, immédiatement, voir dans cela une baisse dans la qualité de peinture? Cela n'est pas certain, bien que l'on puisse avoir un préjugé dans ce sens.

Enfin, en ce qui concerne la variation entre les différentes peintures, on remarque des augmentations et des diminutions significatives de la variance d'une année à l'autre. Cela pourrait indiquer qu'il n'y a pas d'uniformisation dans la qualité des peintures testées. Ainsi donc, certaines années, elles se ressemblent davantage, alors que d'autres années, il y a des variations plus importantes entre elles. Ce dernier fait rend les comparaisons encore plus boiteuses entre les "WT" moyens de chaque année.

Nous pouvons appliquer sensiblement les mêmes remarques pour chaque couleur de peintures. Toutefois, pour les peintures jaunes, il semble que les écarts entre les peintures sont plus prononcés pour les dernières années.

Notre étude des données historiques a également porté sur la variance interne. Notons que la variance interne est cette variation due au fait que quatre évaluateurs portent un jugement sur des bandes tracées à trois endroits différents. En réalité, donc, le WT obtenu est une moyenne de douze valeurs, et pour cette raison, ce facteur contient une variation que l'on nomme "interne" puisqu'elle n'est pas apparente.

Il est possible de calculer cette variation en reprenant les données individuelles de chaque évaluateur à chaque endroit. Ces calculs ont été faits pour les années 1975, 1978, 1979 et 1980.

TABLEAU 2

Estimés de la variance interne pour les années
1975, 1978, 1979 et 1980

ANNEE	NOMBRE DE PEINTURES	MOYENNE DE LA VARIANCE INTERNE
1975	24	5790
1978	20	4174
1979	18	16351
1980	32	5462

Ces moyennes diffèrent significativement l'une de l'autre sauf entre 1975 et 1980. Des changements en termes d'évaluateur ou d'endroit, par exemple, peuvent causer ces différences. Mais, les causes peuvent être multiples. En effet, cette moyenne n'est pas tout à fait indépendante de la qualité des peintures, ce qui pourrait être une autre cause. Cette dernière remarque nous incite à croire qu'il vaudrait peut-être mieux avoir deux types de peinture lors de l'expérience contrôlée.

Notre objectif étant d'obtenir un premier estimé de cette variance interne, et compte tenu des variations obtenues, il est préférable de baser cet estimé sur une moyenne des années antérieures, plutôt que sur une seule année, la dernière, par exemple.

Toutefois, il nous faut éliminer l'année 1975. En effet, entre 1975 et 1978, il y a une différence importante: à partir de 1978, le rétro-réflexomètre a été utilisé pour mesurer la visibilité de nuit, lequel

facteur compte pour 50% de l'évaluation totale. Or, quand on regarde uniquement la partie de la variance interne qui est due aux évaluateurs, on observe des écarts importants entre l'année 1975 et les autres années. Par conséquent, la nature de la variance interne se trouve modifiée à partir de 1978. L'expérience contrôlée doit donc tenir compte de ce fait.

Pour les trois dernières années, la variance moyenne est de 7894. L'erreur à estimer, soit l'erreur standard sur le WT, serait égale à 25,65. Avec un niveau de confiance de 95%, l'erreur serait de 50,27, soit 4,3% de 1163,72, le WT moyen des trois dernières années. C'est là le meilleur estimé que nous pouvons produire à l'aide des données historiques. Un estimé de ce genre possède lui-même une marge d'erreur et c'est à partir de celle-ci qu'on estimera la taille nécessaire pour l'expérience contrôlée.

Enfin, un autre résultat obtenu des données historiques nous sera grandement utile pour l'expérience contrôlée: la différence entre la variance interne des peintures blanches et celle des peintures jaunes n'est pas significative. On peut donc affirmer que le fait de procéder avec une seule couleur de peinture ne devrait pas entraîner de biais dans les estimations que nous recherchons.

2- Expérience contrôlée

• Première partie: Description

Le but premier de l'expérience-pilote est d'établir un estimé de la variation relative à la méthode elle-même pour déterminer la valeur du WT d'une peinture donnée. Cette variation interne est le fait des variations associées aux différents jugements des évaluateurs et aux différents endroits. Par conséquent, le but premier de cette expérience vise à reproduire les mêmes conditions que lors d'un test de performance ordinaire, sauf que la peinture utilisée sera la même pour toutes les bandes. En effet, nous avons pu produire, à l'aide des données historiques, une valeur pour cette variation interne. Toutefois, celle-ci est une moyenne établie à partir de peintures différentes, ce qui ne permet pas une confiance absolue, puisque des facteurs dûs aux différentes marques de peintures peuvent entrer en ligne de compte.

D'autre part, pour déterminer cette valeur, il nous faut faire certains postulats quant à la distribution du facteur de performance, lesquels postulats ne peuvent être vérifiés à l'aide des données historiques.

a) Marge d'erreur et taille d'échantillon

Notre premier souci, lors de l'étude des données historiques, fut donc de calculer un premier estimé de cette variance interne et puisque c'était un estimé, de déterminer la variance de cet estimé. Cette dernière variance nous permettrait de déterminer la taille d'un échantillon, compte tenu d'une marge d'erreur pré-déterminée.

Au moment où les calculs furent faits, seules les variances moyennes de 1978 et 1980 étaient connues. Ces deux années ont donc été la base de nos calculs. Le petit tableau suivant nous donnera un aperçu de l'échantillon nécessaire compte tenu d'une marge d'erreur pré-déterminée sur la variance. Le niveau de confiance est de 95%.

TABLEAU 3

Marge d'erreur et taille d'échantillon
pour la variance interne

MARGE D'ERREUR AVEC UNE PROBABILITE DE 95%	NOMBRE DE BANDES = N
10%	231
20%	58
28,7%	30
30%	26
40%	14
48%	10

Il faut noter que N représente le nombre de bandes à chacun des trois endroits. Par exemple, avec 30 bandes à chacun des trois endroits, on obtiendrait une précision de $\pm 27,8\%$ sur la variance interne du WT et ce, 95 fois sur 100. Cette marge d'erreur est pratiquement coupée de moitié lorsqu'on l'applique à l'écart-type qui sera la mesure pour déterminer la marge d'erreur sur le WT.

D'autre part, il faut également considérer que selon toute vraisemblance, la variance de la variance interne sera beaucoup moins élevée lors de l'expérience-pilote puisqu'une seule peinture sera considérée à la fois et reproduite à plusieurs exemplaires, alors que dans les données historiques cette variance est une moyenne de plusieurs variances provenant de populations différentes (i.e. peintures différentes). Cette réduction de la variance de la variance interne amènera une réduction sensible de la marge d'erreur, nous donnant ainsi un estimé plus précis.

Il faut noter, finalement, que plusieurs raisons militent en faveur d'une taille d'échantillon supérieure à 30. La principale de celles-ci sera d'établir de façon sûre la normalité ou non de la distribution du facteur WT, hypothèse qui est à la base de plusieurs des tests utilisés pour cette étude.

b) Contraintes et échantillon final

Par conséquent, il aurait fallu pour chaque endroit, faire 30 séries de trois bandes, puisque chaque évaluation, selon la méthode prescrite, se fait sur la base d'une moyenne sur trois bandes. Cela aurait représenté un travail considérable pour les évaluateurs en ce sens qu'il aurait été difficile pour les évaluateurs d'éviter une uniformisation due à de nombreuses lectures sur des bandes faites avec une même peinture. On notera ici, que trois des quatre évaluateurs n'ont été informés que de la tenue d'une expérience-pilote, sans en préciser la nature exacte. Nous avons donc réduit considérablement notre échantillon, soit à 10 séries de trois bandes, préférant plutôt que le travail soit de meilleure qualité. A cela, nous avons ajouté 5 séries de trois bandes pour une autre marque de peinture, afin de pouvoir vérifier l'hypothèse selon laquelle la variance interne peut varier d'une peinture à l'autre. De plus, les deux marques de peinture étaient de couleur blanche.

Cette réduction aura également comme conséquence de pouvoir réaliser 4 séries de photographies des bandes de peinture à un coût abordable de sorte qu'on pourra utiliser ces photographies pour réaliser un autre des buts de cette expérience, soit de tenter de trouver une autre façon de faire les évaluations, particulièrement en ce qui concerne l'apparence et la durabilité.

c) Conditions de réalisation et leurs effets sur les résultats

L'expérience-pilote a été conçue pour être réalisée dans les conditions habituelles propres aux tests de performance. Or, il y a trois éléments importants à considérer: les endroits, les évaluateurs et les inspections. Nous voulions que l'année 1981 ressemble à une année où ces éléments étaient les plus semblables aux années précédentes, de telle sorte que les estimés obtenus puissent être généralisés avec le moindre risque d'erreur.

1. Les endroits

Contrairement aux années précédentes, des tests n'ont pu être réalisés sur le boulevard Laurentien. En effet, il était prévu que des travaux de pavage auraient lieu au cours de la période des tests et cet endroit a dû être éliminé. Il a été remplacé par un autre endroit, soit sur la route 20, direction est, près de Saint-Romuald. Ce n'est pas un endroit équivalent et il est certain que cela aura un effet sur l'estimé que l'on obtiendra. Selon toute vraisemblance, l'estimé que l'on obtiendra pour la variance interne sera inférieur à ce que l'on aurait obtenu avec le boulevard Laurentien, car dans l'étude des données historiques, le boulevard Laurentien avait un comportement particulier.

2. Les évaluateurs

A ce niveau, il n'y a eu aucun problème particulier et les conditions sont donc moyennes.

3. Les inspections

Notons en premier lieu que les bandes de peinture ont été tracées vers la fin de juin, ce qui correspond approximativement à ce qui s'est passé à de nombreuses reprises, particulièrement au cours des dernières années.

D'autre part, un problème s'est présenté à l'endroit no 2, soit à Bernières, sur la route 20, alors que des traces de freinage faites intentionnellement et de façon très prononcée n'ont pas permis la tenue de trois inspections, soit la 2e, 3e et 4e. Cela aura pour effet d'éliminer toute tentative de déterminer la courbe de dégradation pour cet endroit. De plus, cela pourra affecter la variance interne, en ce sens que 3 des 12 composantes de la variance interne seront calculées avec beaucoup moins de précision.

En dernier lieu, notons que nous avons dû cesser les évaluations avec le rétro-réfectomètre avant d'atteindre la valeur 4 pour la visibilité de nuit, car après la 6e évaluation, le pavé était trop souvent mouillé (à cause de la neige fondante) pour permettre la réalisation d'évaluation. Nous avons donc dû extrapoler, au lieu d'interpoler, ce qui est une source d'erreur. De fait, les évaluations pour l'apparence et la durabilité se sont prolongées jusqu'à la mi-décembre. Cela résulte, particulièrement, du fait de l'absence du boulevard Laurentien, où les peintures se dégradent plus rapidement au début de l'hiver.

• Deuxième partie: Analyse des résultats

Résultats globaux par numéro de peinture

On notera en premier lieu que pour l'expérience-pilote, deux types de peinture furent retenus et numérotés 1 et 2. Pour le type 1, 10 séries de trois bandes furent tracées alors que pour le type 2, on se limitait à 5 séries. Ces 15 séries de trois bandes furent numérotées de B-190 à B-204, les deux types de peinture portant des numéros choisis au hasard. Le graphique no 2 donne les résultats par numéro de peinture, dans l'ordre, tel que sur les planches d'essai. On remarquera aisément que les 5 premières peintures du type 1 ont toutes des résultats inférieurs aux 5 dernières du même type, ce qui est une configuration un peu anormale. La configuration pour le type 2 est beaucoup plus fréquente. Les causes de ce résultat sont pour le moment inconnues, mais il semblerait que le facteur "visibilité de nuit" soit à l'origine de cette configuration un peu spéciale.

TABEAU 4

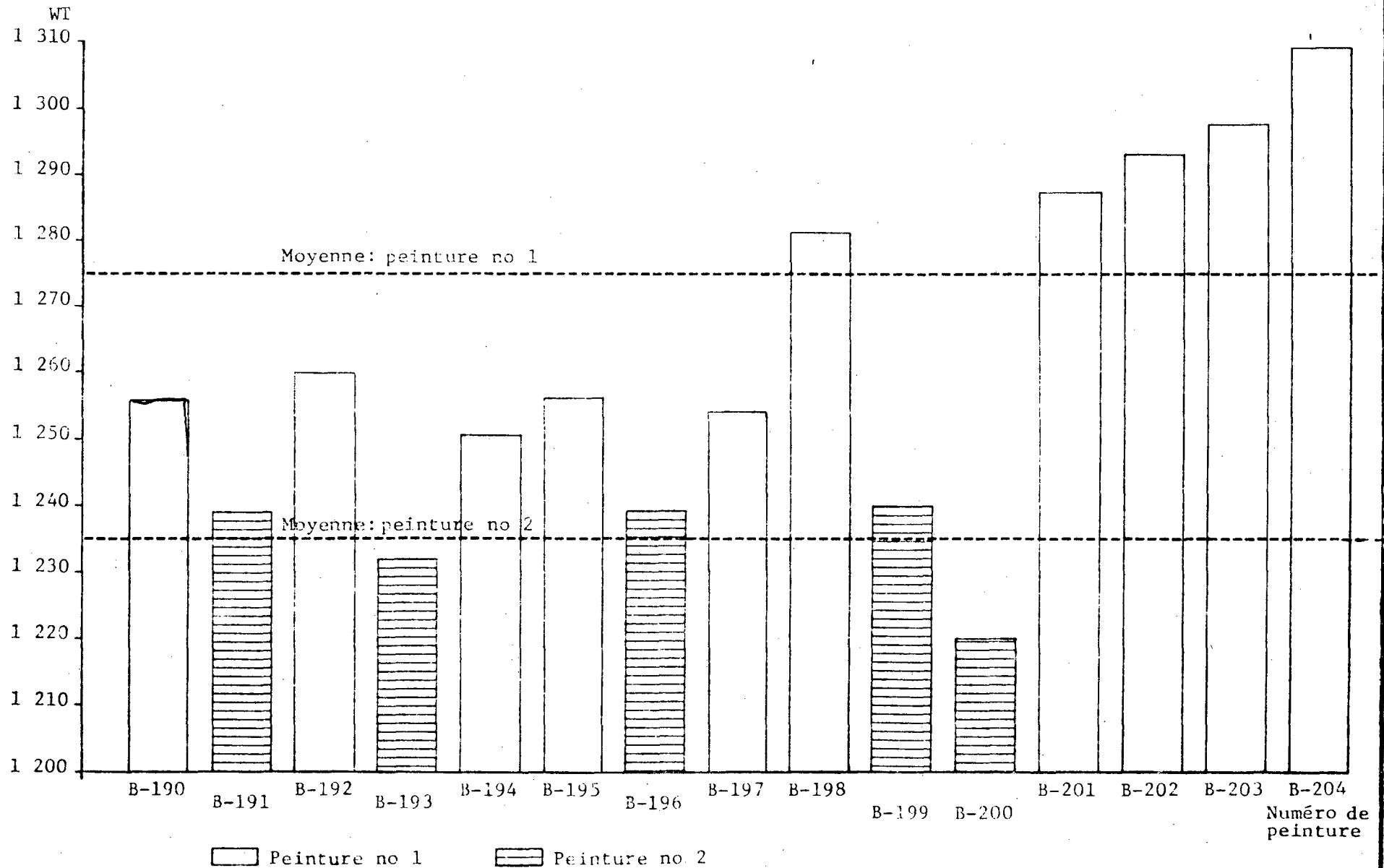
Résultats individuels, moyenne, variance, écart-type
et coefficient de variation pour chaque type de peinture

PEINTURE NO 1		PEINTURE NO 2	
NUMERO	VALEUR WT	NUMERO	VALEUR WT
B-190	1256,59	B-191	1239,85
B-192	1262,06	B-193	1232,87
B-194	1251,39	B-196	1239,61
B-195	1256,59	B-199	1240,16
B-197	1254,91	B-200	1220,86
B-198	1281,83		
B-201	1287,95		
B-202	1293,92		
B-203	1298,21		
B-204	1309,99		
. Moyenne	1275,34	. Moyenne	1234,67
. Variance	462	. Variance	69
. Ecart-type	21,49	. Ecart-type	8,30
. Coeff. de variation	1,7%	. Coeff. de variation	0,7%

Cette erreur, c'est-à-dire la variation entre les résultats pour un même type de peinture, peut trouver sa source dans plusieurs facteurs différents: différences réelles dans les conditions d'application, erreurs de jugement de chacun des évaluateurs, erreurs reliées au rétro-rélectomètre, erreurs provenant de facteurs divers.

GRAPHIQUE NO 2

Distribution de 15 WT selon le numéro de la peinture
Expérience-pilote de 1981.



On ne peut pas dire que cette erreur est très importante. Cependant, elle est bien réelle et elle est présente dans chaque WT que l'on obtient pour une peinture donnée. Toutefois, elle est reliée à la réalisation des tests de performance, sans être le résultat de la méthode d'évaluation. Par rapport à celle-ci, on peut dire que c'est un genre de variance externe, sur laquelle on ne peut pas avoir de contrôle réel. On remarquera qu'elle est significativement différente d'une peinture à l'autre. En faisant la moyenne de ces deux variances et en calculant le WT moyen des deux peintures, on peut affirmer avec une probabilité de 95% que l'erreur standard reliée à ce type de variation est un peu moins de 1% de la valeur du WT d'une peinture.

En résumé, nous pouvons donc affirmer qu'il existe une erreur d'environ 1% sur la valeur du WT d'une peinture qui est due à des conditions externes sur lesquelles on n'a pas de contrôle réel. Toutefois, il a été testé statistiquement que cette variance externe est peu importante par rapport à la variance interne que l'on étudiera à la section suivante. On peut donc, pour cette raison, la considérer comme négligeable et l'oublier tout simplement.

Estimé de la variance interne

TABLEAU 5

Variance interne pour chaque numéro de
peinture et chaque type. Moyenne et variance de
la variance interne. Expérience-pilote de 1981.

PEINTURE NO 1		PEINTURE NO 2	
NUMERO	VARIANCE	NUMERO	VARIANCE
B-190	1513	B-191	2084
B-192	8284	B-193	1475
B-194	10141	B-196	368
B-195	8824	B-199	2228
B-197	4029	B-200	828
B-198	4589		
B-201	5938		
B-202	4315		
B-203	4644		
B-204	6223		
Moyenne	5850	Moyenne	1397
Variance	6761664	Variance	637804

Pour le type no 1, on notera que seule la variance de B-190 diffère de façon significative des autres variances, sauf qu'elle ne diffère pas de B-197. Pour le type no 2, la variance de B-196 ne diffère pas de façon significative de celle de B-200, mais elle diffère de toutes les autres. Les quatre autres variances sont équivalentes entre elles. Il s'agit là d'un résultat cohérent. Par contre, la variance interne du type no 1 n'est pas égale à celle du type no 2; elle est plutôt significativement plus importante.

Puisqu'au moment de la conception de l'expérience-pilote, nous avons décidé que la peinture no 1 produirait l'estimé désiré, nous allons considérer que l'estimé de la variance interne est cette moyenne des variances de la peinture no 1.

Toutefois, dans la réalité, nous ne cherchons pas la variance interne, mais l'erreur standard qui existe sur le WT. L'erreur standard est tout simplement la racine carrée de la variance interne divisée par 12.

$$\text{Alors: Erreur standard} = \sqrt{\frac{5850}{12}} = 22,08$$

Par mesure de précaution, toutefois, nous voulons avoir une probabilité de 95% de ne pas se tromper, alors à ce moment-là, l'erreur standard devient 43,28. Le WT moyen pour le type no 1 de peinture est 1266,56. Par conséquent, l'erreur représente 3,4% de la valeur du WT. C'est là l'estimé que nous cherchions.

L'estimé correspondant pour la peinture no 2 serait 21,15, soit 1,7% de la valeur moyenne du WT de cette peinture.

3- Etude des résultats

a) Classes d'équivalence

Chaque valeur de WT contient donc une erreur de 3,4%. Cette erreur implique que les résultats obtenus lors des tests de performance ne diffèrent pas nécessairement l'un de l'autre. En effet, les différences observées ne sont pas nécessairement significatives. Pour comparer deux résultats, il faut tenir compte de cette erreur. Nous allons déterminer précisément la méthode de comparaison entre deux peintures.

Soit WT_A , le résultat pour la peinture A et WT_B , le résultat pour la peinture B, et soit $WT_A > WT_B$.

$$\text{Alors, on calcule: } Z = \frac{WT_A - WT_B}{\sqrt{(0,0174)^2 (WT_A)^2 + (0,0174)^2 (WT_B)^2}}$$

et au niveau de confiance 0,95, si $Z < 1,96$, on dira que les deux peintures sont de même qualité. Si, par contre, on veut déterminer si la peinture A est supérieure à la peinture B, Z doit être supérieur à 1,64.

La formule pour le calcul de Z peut se simplifier légèrement de la façon suivante:

$$Z = \frac{WT_A - WT_B}{(0,174) \sqrt{WT_A^2 + WT_B^2}}$$

En comparant toutes les peintures entre elles de cette manière, on obtiendra des classes d'équivalence, c'est-à-dire que dans chaque classe, on aura toutes les peintures qui sont équivalentes entre elles, compte tenu de l'erreur.

Le tableau 6 nous donne chacun des résultats lors des tests de 1981.

TABLEAU 6

Résultats des tests de performance pour l'année 1981
selon les couleurs blanche et jaune

Peintures blanches	WT	Peintures jaunes	WT
B-189 (1)	1203,08	J-821 (1)	1267,76
B-182	1170,15	J-816	1245,57
B-185	1122,53	J-812	1228,55
B-184	1118,67	J-811	1212,16
B-186	1107,94	J-815	1154,46
B-181	1092,58	J-814	1130,87
B-183	1055,71	J-813	1117,35
		J-817	1074,16
		J-818	1030,03
Moyenne (2)	1124,38	Moyenne (2)	1162,32

(1) Echantillon-type

(2) Incluant l'échantillon-type

Méthode de classement: comparaison deux à deux

Caractéristique: Les groupes peuvent être nombreux et se classent du plus fort au plus faible. De plus, les peintures peuvent appartenir à plus d'un groupe, ce qui est un inconvénient. En effet, une peinture

peut être égale à deux autres qui sont inégales entre elles.

Classement des peintures blanches:

- 1er groupe: B-182
- 2e groupe: B-185, B-184, B-186 et B-181
- 3e groupe: B-181 et B-183

Classement des peintures jaunes:

- 1er groupe: J-816, J-812 et J-811
- 2e groupe: J-815, J-814 et J-813
- 3e groupe: J-813 et J-817
- 4e groupe: J-818

b) Formule Q

Actuellement, les peintures sont choisies en fonction d'une valeur, dénotée Q, et qui se calcule de la façon suivante:

$$Q = \frac{WF \cdot F}{P + C}$$

où

- WF - Facteur de performance.
- F - Quantité moyenne de peinture pour les lignes soumises aux essais, exprimée en pieds linéaires (mètres) de lignes 4 po. (10 cm) de largeur par gallon (litre) de peinture.
- P - Prix de la peinture en dollars par gallon (litre).
- C - Coût d'application estimé, en dollars par gallon (litre).

Selon cette formule, la valeur d'une peinture est proportionnelle à la performance de la peinture et la longueur d'une bande de 4 po. pour une quantité donnée de peinture et inversement proportionnelle à la somme du prix d'achat et du coût de la pose. Compte tenu que le coût de la pose est constant pour toutes les peintures et que le coût de la pose n'est que légèrement inférieur au prix d'achat, il en résulte que le prix d'achat perd de son importance et ainsi, la formule tend à favoriser la performance de la peinture. Si on compare deux peintures, il peut arriver que les écarts de performance soient moins importants que les écarts de prix et que la peinture la plus performante soit choisie, malgré le fait que l'écart de prix ne le justifierait pas. En éliminant le terme C, on pourrait être plus certain que l'achat d'une meilleure peinture n'entraîne pas un coût trop élevé par rapport à une autre un peu moins bonne, mais à bien meilleur coût. La formule actuelle a tendance à favoriser la meilleure peinture, car avec un coût d'application constant, on diminue l'importance des écarts de prix.

Mathématiquement parlant, le fait d'éliminer C constitue un changement majeur. Le classement obtenu par cette nouvelle formule ne peut être à coup sûr équivalent que si le Q actuel classe les peintures de telle sorte qu'elles sont à la fois par ordre décroissant de performance et par ordre croissant de prix. Dans tous les autres cas, le changement de formule peut entraîner des changements dans le classement.

On dénotera la nouvelle formule Q' et celle-ci sera définie de la façon suivante:

$$Q' = \frac{WT \cdot F}{P}$$

c) Choix de la meilleure peinture

De façon générale, on peut dire que le choix de la meilleure peinture tient compte à la fois de la performance et du prix. La formule Q ou la formule Q' sont des façons de faire le choix de la meilleure peinture. Cependant, ce ne sont pas les seules. Certaines provinces canadiennes, par exemple, ne tiennent compte que du facteur WT, alors que d'autres ne considèrent que le prix. Cependant, dans tous les cas, on effectue des tests de performance.

En principe, donc, on peut dire qu'il existe trois grandes façons d'effectuer le choix d'une peinture:

- A- la meilleure performance
- B- le prix le plus bas
- C- la formule Q ou Q'

Chaque façon de procéder comporte ses avantages et ses inconvénients. La méthode A incitera les fabricants à fabriquer de bonnes peintures. Toutefois, ceux-ci pourraient augmenter leur prix sans égard avec l'augmentation réelle de la qualité de leurs peintures.

Par contre la méthode B incitera les fabricants à soumissionner au prix le plus bas possible. Toutefois, la qualité de la peinture pourrait en souffrir, bien qu'il faille considérer que les peintures sont soumises aux tests de performance. Cependant, malgré les tests de performance, on pourrait observer un glissement progressif de la qualité des peintures.

L'une ou l'autre des deux attitudes pourraient être prises par le ministère des Transports. Dans un contexte de compressions budgétaires, la méthode B pourrait s'avérer une solution tout à fait acceptable. D'ailleurs, l'an dernier, une attitude de cette nature a été adoptée en choisissant la moins chère parmi celles qui obtenaient au moins 90% du meilleur résultat. Cette année, le choix se fait encore de cette manière, ce qui veut dire, en 1982, que l'on prend la moins chère des peintures blanches, par exemple. Pour ma part, je considère qu'une telle façon de procéder ne peut être considérée que pour une période assez restreinte, car

s'il n'y a pas de primes pour la performance, on risque beaucoup d'observer une dégradation dans la qualité des peintures. Toutefois, dans le contexte actuel, la méthode A n'est guère plus acceptable, compte tenu des augmentations de coût qu'elle pourrait entraîner.

Dans ce contexte, la formule Q' pourrait présenter de nombreux avantages. Cette formule tient davantage compte du coût d'achat des peintures et ces coûts d'achat font parti des coûts compressibles. Alors, tout changement de nature à entraîner des coûts moins élevés pourrait être profitable et la formule Q' ne tombe ni dans les excès de la méthode A, ni dans ceux de la méthode B, alors que la formule Q se rapprochait davantage de la méthode A. Par la formule Q' , les fabricants auront encore avantage à fabriquer de bonnes peintures, mais ils devront également considérer le prix de leur produit.

La formule Q , depuis 10 ans, n'a pas prouvé qu'elle pouvait amener les fabricants à soumettre de toujours meilleures peintures. Toutefois, on doit admettre que cette qualité est plus qu'acceptable. La formule Q' ne fera sûrement pas mieux que la formule Q . Cependant, on peut penser que la situation ne se dégradera pas de façon dramatique, même si cette nouvelle formule favorisera davantage les peintures ayant un prix moins élevé et permettra de réaliser des économies qu'on évaluera plus loin.

D'autre part, nous avons déjà établi que chaque résultat (WT) contenait une erreur de 3,4%. Compte tenu de cette erreur, des résultats apparemment différents ne sont pas réellement différents. Pour tenir compte de cette erreur, nous avons proposé un nouveau classement qui se fait par classe d'équivalence, de telle sorte que les peintures appartenant au même groupe (ou sous-groupe) sont équivalentes entre elles. Nous suggérons ici une approche sur la façon de calculer le Q' .

Méthode de calcul de Q'

- 1- Le WT d'une peinture est remplacé par le WT moyen de la classe d'équivalence.
- 2- Le prix P est le prix le moins élevé des peintures de la classe d'équivalence. Ainsi, on choisit une marque de peinture.
- 3- Le facteur F est la valeur trouvée par la peinture choisie en 2.
- 4- On calcule Q' avec les valeurs obtenues en 1, 2 et 3 pour chacune des classes d'équivalence.
- 5- La peinture choisie est celle qui obtient la meilleure valeur Q' .

Conséquences de cette méthode

- a) L'étape 1 signifie que toutes les peintures d'une même classe d'équivalence ont la même performance, à cause évidemment de l'erreur interne. Cette valeur est une valeur moyenne qui est un estimé de la performance de la peinture. Cet estimé est aussi valable que la valeur obtenue par la peinture elle-même.
 - b) L'étape 2 signifie que parmi les peintures équivalentes, on choisit celle qui coûte le moins cher.
 - c) Le résultat final sera un choix basé sur des performances réellement différentes et des écarts de prix plus importants que les écarts de performance. A l'intérieur des classes, c'est le prix qui différencie les peintures, alors qu'entre les classes, ce sera plutôt l'importance des écarts de performance et de prix. On paiera donc le minimum compte tenu de la qualité. Si la performance l'emporte sur le prix, ce sera quand même au prix minimum, pour cette qualité.
- d) Microbilles de verre

Résultats de l'expérience-pilote

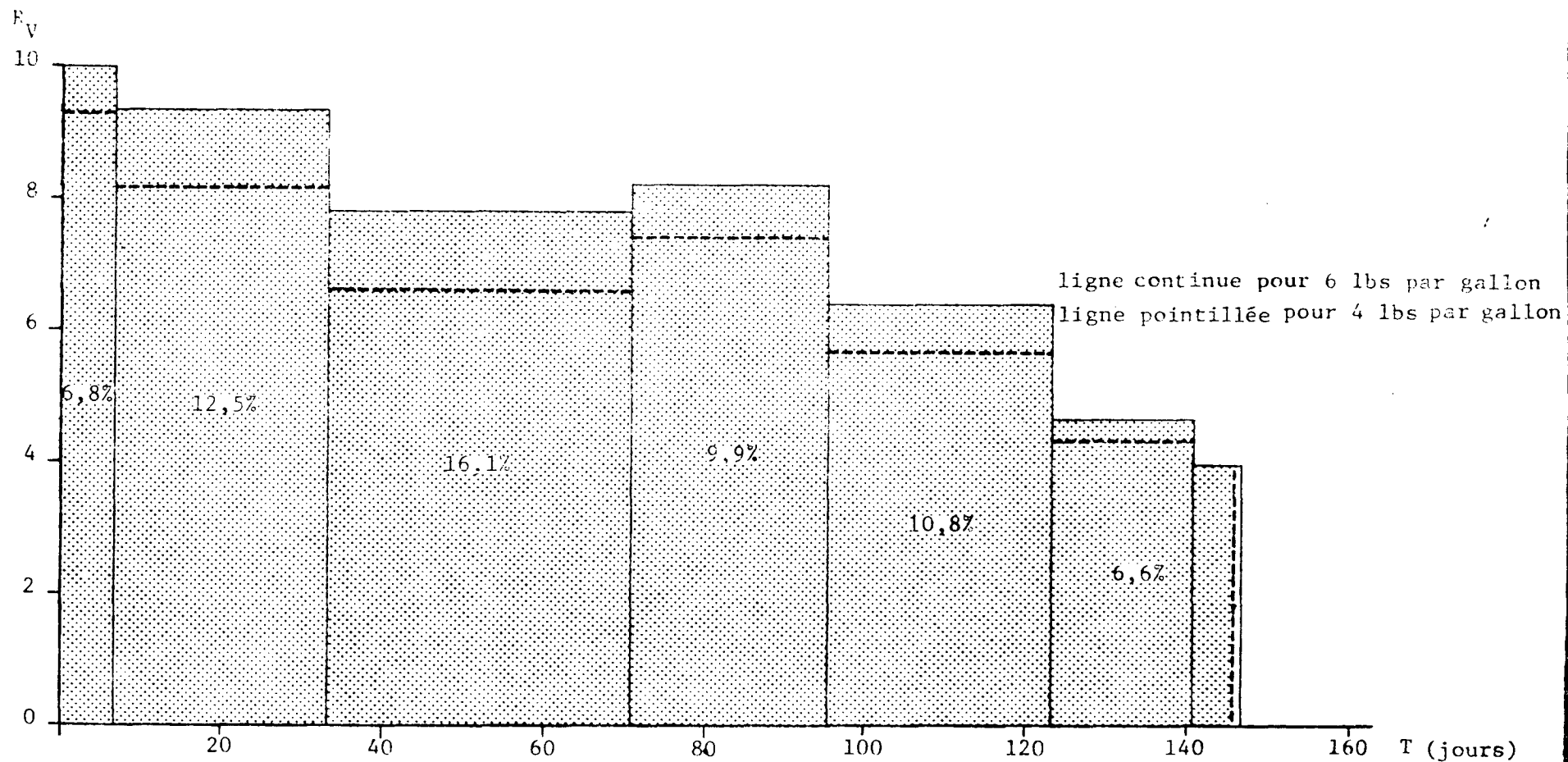
Lors de l'expérience-pilote décrite précédemment, nous avons ajouté 5 séries de trois bandes pour la peinture no 1 avec seulement quatre livres de microbilles de verre, au lieu de six livres, et cela, pour un seul endroit. Ces résultats furent comparés avec les résultats pour la même marque de peinture au même endroit pour les trois facteurs de service avec une attention particulière pour la visibilité de nuit.

Les résultats de cette mini-expérience démontrent que la visibilité de nuit a diminué de façon significative et d'environ 11%. Les autres facteurs de service sont demeurés constants, ce qui a entraîné une diminution globale de 6% sur le WT. Le temps de dégradation pour atteindre le facteur 4 a diminué d'un jour seulement.

La conclusion de cette mini-expérience est donc qu'une diminution du tiers de la quantité de microbilles n'entraîne une diminution que de 11% de la visibilité de nuit. De plus, ce facteur de service n'atteint pas la valeur 4 beaucoup plus rapidement (un jour plus tôt seulement). Le graphique de la page suivante montre la courbe de dégradation pour chacune des deux quantités de microbilles. Cette courbe démontre que les écarts sont plus prononcés dans la première moitié de la période. C'est là un résultat plutôt normal et c'est également un résultat qui nous incite à croire que diminuer la quantité de microbilles n'aurait pas de conséquences tellement graves, puisqu'au début de la période, le facteur de service est peut-être suffisamment élevé, même avec quatre livres de microbilles par gallon.

GRAPHIQUE NO 3

Résultat de l'évaluation du facteur "visibilité de nuit" à différents temps "T" par le rétro-réfectomètre pour un même type de peinture avec des quantités différentes de microbilles. Expérience-pilote de 1981.



Expérience supplémentaire

Toutefois, on pourrait sans doute procéder en 1982, à une expérience qui aurait pour objet "l'étude de la visibilité de nuit", en procédant à des essais avec différentes quantités de microbilles de verre. Nous pourrions ainsi établir une relation entre la valeur du facteur de service et la quantité de microbilles. Car, en fin de compte, on pourrait peut-être ainsi réaliser également des économies fort appréciables. N'oublions pas également que la peinture elle-même devrait avoir des propriétés réfléchissantes.

D- CONCLUSION

Dans l'étude des données historiques, il nous reste uniquement à étudier de façon plus approfondie, le rôle de l'échantillon-type afin de voir si malgré certaines difficultés, il n'y a pas possibilité de l'utiliser. Le rapport final contiendra un certain nombre de résultats secondaires obtenus de cette étude et non présentés dans le présent rapport.

En ce qui concerne l'expérience contrôlée, les principaux résultats ont été résumés dans le présent rapport. Le rapport final contiendra toutefois, une analyse de la variance beaucoup plus détaillée, laquelle indiquera de façon plus précise toutes les sources d'erreur.

L'analyse des résultats par photogrammétrie, soit l'étude visuelle des surfaces, n'est pas possible compte tenu du type de dégradation des marques sur la chaussée. La densitométrie semble plus prometteuse et nous aurons bientôt des résultats.

Le rapport final contiendra, de plus, une étude sur la courbe de dégradation des facteurs de service, ainsi qu'une analyse approfondie de la méthode d'essai. Si la densitométrie devait donner les résultats attendus, on pourrait même suggérer des modifications importantes relativement à la méthode d'évaluation des peintures.

ANNEXE

Nous allons considérer trois façons de choisir la peinture, soit la méthode traditionnelle avec la formule Q, soit la méthode traditionnelle avec la formule Q' et la méthode proposée dans le rapport. Nous ferons des simulations avec les résultats et les prix de 1980 et de 1981.

Il est à remarquer cependant que pour ces deux années, pour plusieurs peintures, aucune soumission n'a été présentée. Cela fait en sorte qu'on ne rend pas justice à la nouvelle méthode qui est proposée. Par ces simulations, on pourra tout de même voir comment cette méthode s'applique.

ACHAT ANNEE 1981

TABLEAU 1

Résultats des tests de performance de 1980 et
prix lors de la soumission. Peintures blanches et jaunes.

PEINTURES BLANCHES			PEINTURES JAUNES		
CODE DU SGA	WT	PRIX AU LITRE (\$)	CODE DU SGA	WT	PRIX AU LITRE (\$)
B-14	1299,36	1,36	J-25	1259,35	1,52
B-06	1296,10	-	J-23	1249,51	1,474
B-08	1275,35	-	J-36	1232,82	1,52
B-01	1267,34	1,307	J-33	1185,41	-
B-07	1256,28	1,29	J-30	1182,77	-
B-13	1213,43	-	(1)J-24 (Q)	1186,73	1,66
B-11	1192,60	-	(1)J-24 (O)	1186,73	1,63
B-04	1190,92	1,245			

(1) Pigment jaune Québec et pigment jaune Ontario.

Classement des peintures (en pieds et gallons)

Formule Q

<u>Peintures jaunes</u>			<u>Peintures blanches</u>		
		<u>Rang</u>			<u>Rang</u>
J-23	Q = 44268	1	B-14	Q = 48343	1
J-25	Q = 43775	2	B-01	Q = 48276	2
J-36	Q = 42853	3	B-07	Q = 48222	3
J-24 (Ont.)	Q = 39467	4	B-04	Q = 46667	4
J-24 (Qué.)	Q = 39007	5			

Formule Q'

<u>Peintures jaunes</u>			<u>Peintures blanches</u>		
		<u>Rang</u>			<u>Rang</u>
J-23	Q' = 71725	1	B-07	Q' = 82397	1
J-25	Q' = 70106	2	B-01	Q' = 82046	2
J-36	Q' = 68629	3	B-04	Q' = 80936	3
J-24 (Ont.)	Q' = 61605	4	B-14	Q' = 80843	4
J-24 (Qué.)	Q' = 60491	5			

La comparaison entre ces résultats nous indique que pour les peintures jaunes, les formules Q et Q' donnent les mêmes résultats. Il fallait s'y attendre puisque le prix de la peinture augmente avec la diminution de la qualité, sauf pour J-25 et J-23 où l'écart de prix ne justifie pas l'écart de qualité, même pour la formule Q.

Chez les peintures blanches, on remarquera que la formule Q suit exactement la performance, alors que la formule Q' se colle principalement au prix, sauf pour la peinture ayant le prix le plus bas. Dans le cas des peintures blanches, l'utilisation de la formule Q' aurait amené une économie globale de 73 000 \$ par rapport à un choix effectué à l'aide de la formule Q. De plus, on va démontrer au paragraphe suivant que les peintures B-07 et B-14 sont équivalentes en terme de qualité.

Nouvelle méthode proposée

Selon la méthode proposée dans le rapport, on doit d'abord établir des classes d'équivalence. Les voici:

Peintures blanches

1er groupe: B-14, B-06, B-08, B-01 et B-07
Moyenne: 1278,89

Peintures jaunes

1er groupe: J-25, J-23 et J-36
Moyenne: 1247,23

Peintures blanches (suite)

2e groupe: B-07 et B-13
Moyenne: 1234,86

3e groupe: B-13, B-11 et B-04
Moyenne: 1198,98

Peintures jaunes (suite)

2e groupe: J-36, J-33 et J-24
Moyenne: 1201,65

3e groupe: J-33, J-30 et J-24
Moyenne: 1184,97

Ces classes ne sont pas exclusives et c'est là un inconvénient important. Il nous faut donc les rendre exclusives en gardant les peintures dans le groupe le plus élevé. Toutefois, les moyennes demeurent inchangées. Voici les nouveaux groupes:

Peintures blanches

1er groupe: B-14, B-06, B-08
B-01 et B-07

2e groupe: B-13

3e groupe: B-11 et B-04

Peintures jaunes

1er groupe: J-25, J-23 et J-36

2e groupe: J-33 et J-24

3e groupe: J-30

Selon la méthode, on choisit dans chaque groupe, la peinture ayant eu la plus basse soumission et on calcule Q' avec le WT moyen du groupe. Voici les résultats:

Peintures blanches

1er groupe: B-07 $Q' = 83879$ Rang 1

2e groupe: --

3e groupe: B-04 $Q' = 81484$ 2

Peintures jaunes

1er groupe: J-23 $Q' = 71594$ Rang 1

2e groupe: J-24 (Ont.) $Q' = 62379$ 2

3e groupe: --

La nouvelle méthode donne donc des résultats semblables à ceux de la formule Q' . Il faut toutefois remarquer que peu de peintures ont fait l'objet de soumissions et dans le cas des peintures jaunes, les prix étaient particuliers. On remarquera également que cette méthode nous assure qu'à qualité égale, la peinture la moins chère est choisie. De plus, on a la certitude que la peinture choisie, soit B-07, est le meilleur choix, que ce n'est pas le choix le plus dispendieux, ni non plus le moins cher. C'est peut-être le choix idéal en tenant compte à la fois du prix et de la performance.

En ce qui concerne l'année 1981, nous ne reprendrons pas, en détail, tous les calculs. Il est à noter qu'en 1981, le nombre de soumissions est faible et la nouvelle méthode donne les mêmes résultats que la formule Q' . Toutefois, on aura soin de regarder les classes d'équivalence déjà obtenues dans le rapport.

TABLEAU 2

Résultats des tests de performance de 1981 et prix lors de la soumission
Peintures blanches et jaunes

PEINTURES BLANCHES			PEINTURES JAUNE		
CODE DU SGA	WT	PRIX AU LITRES (\$)	CODE DU SGA	WT	PRIX AU LITRE (\$)
B-182	1170,15	-	J-816	1245,57	-
B-185	1122,53	-	J-812	1228,55	-
B-184	1118,67	-	J-811(3)	1212,16	1,62
B-186	1107,94	1,34	J-811(4)	1212,16	1,53
B-181(1)	1092,58	1,38	J-815	1154,46	
B-181(2)	1092,58	1,42	J-814	1130,87	1,47
B-183	1055,71	1,365			

- (1) Pourcentage québécois 82,8%
 (2) " " 51,17%
 (3) " " 88,15%
 (4) " " 39,88%

Classement des peintures

Formule Q

<u>Peintures blanches</u>			<u>Peintures jaunes</u>		
		<u>Rang</u>			<u>Rang</u>
B-186	Q = 41615	1	J-811(4)	Q' = 41968	1
B-181(1)	Q = 40330	2	J-811(3)	Q' = 40511	2
B-181(2)	Q = 39609	3	J-814	Q' = 40165	3
B-183	Q = 39195	4			

Formule Q'

<u>Peintures blanches</u>			<u>Peintures jaunes</u>		
		<u>Rang</u>			<u>Rang</u>
B-186	Q' = 70042	1	J-811(4)	Q' = 67052	1
B-181(1)	Q' = 67088	2	J-814	Q' = 65177	2
B-183	Q' = 65451	3	J-811(3)	Q' = 63408	3
B-181(2)	Q' = 65115	4			

Ici, les deux formules choisissent la même peinture pour les deux couleurs. Toutefois, c'est au niveau des autres rangs qu'il y a des différences. Ainsi, si la peinture J-811(4) était rejetée parce que le contenu québécois n'est pas suffisant, alors la formule Q choisit la peinture J-811(3) au lieu de la peinture J-814 par la formule Q'. L'économie ainsi réalisée

sera de l'ordre de 150 000 \$.

La nouvelle méthode proposerait les mêmes choix que la formule Q'. Chez les peintures blanches, c'est un choix évident, puisque la peinture la moins chère, c'est la meilleure en terme de performance.

ETUDE SUR LES PEINTURES DE PAVAGE

DECISIONS A PRENDRE

Le présent rapport a pour but essentiel de préciser les décisions à prendre suite au rapport préliminaire sur l'étude portant sur les tests de performance des peintures de pavage.

Ces décisions toucheront trois aspects particuliers:

1. Les tests de performance ou la méthode d'évaluation des peintures;
2. La façon de choisir la peinture;
3. La continuation de l'étude.

1- TESTS DE PERFORMANCE

En ce qui regarde les tests de performance, il y a principalement trois éléments à considérer:

- a) Utilisation d'un étalon;
- b) utilisation de la densitométrie pour faire l'évaluation de la durabilité des peintures;
- c) la façon de classer les peintures.

a) Utilisation d'un étalon

Lors de la demande initiale, un point soulevé fut celui de l'évolution de la qualité des peintures testées. En effet, on voulait déterminer si la formule Q, qui servait au choix de la peinture, avait eu pour effet d'amener, d'année en année, une amélioration de la qualité des peintures. Or, compte tenu de changements sensibles dans les conditions d'expérimentation, il a été impossible de se faire une idée précise de cette évolution. L'échantillon-type, tel que conçu présentement, ne permet pas d'avoir un standard permettant d'égaliser ces conditions d'expérimentation toujours changeantes.

De fait, celles-ci sont nombreuses et souvent incontrôlables. Les principales d'entre elles sont:

- la date de pose
- la date de l'arrivée de l'hiver
- les endroits où sont effectués les tests
- les évaluateurs
- l'usure du pavage
- les volumes et le type de circulation
- certaines conditions particulières, telles que les traces de freinage, etc.

Toutes ces conditions peuvent avoir une influence sur le résultat final. Il serait donc souhaitable d'avoir un étalon qui pourrait être utilisé pour égaliser ces facteurs et permettre de suivre l'évolution de la qualité des peintures testées.

Il est clair que la méthode actuelle permet de choisir la meilleure peinture disponible à chaque année. Toutefois, les tests sont relatifs et on ne peut savoir si on choisit la moins pire des pires, ou la meilleure des meilleures. Donc, quelque soit la méthode que l'on retiendra pour effectuer le choix des peintures, il est nécessaire de pouvoir évaluer où on s'en va avec la méthode retenue. La peinture étalon pourrait permettre de suivre cette évolution.

D'autre part, cette peinture étalon doit avoir les caractéristiques suivantes:

- 1- elle doit être indépendante des peintures testées;
- 2- elle doit être stable dans sa qualité sur plusieurs années;
- 3- il n'est pas nécessaire que ce soit la meilleure peinture disponible, mais elle se doit d'être une bonne peinture sans plus.

Lors des tests, il serait important qu'à chaque endroit, il y ait au moins trois séries de 3 bandes, évaluées indépendamment l'une de

l'autre selon la même méthode que pour les autres peintures. La valeur à accorder à l'étalon serait une moyenne des trois résultats.

Conclusion

Le Comité devra décider si oui ou non, à l'avenir, une peinture étalon sera utilisée lors des tests de performance.

b) Utilisation de la densitométrie

Un des objectifs de la présente étude est de déterminer si de nouvelles façons de procéder pourraient améliorer la méthode d'évaluation des peintures.

Présentement, nous tentons d'analyser les résultats des tests de 1981 à l'aide d'un procédé qu'on appelle densitométrie. Au cours des tests, on a photographié les bandes de peintures à trois reprises. A l'aide d'un densitomètre, on mesure l'intensité de la lumière réfléchie par les bandes de peintures sur le positif des photographies. Pour s'assurer d'une certaine homogénéité d'une photographie à l'autre, on mesure également le fond de la photographie. Des résultats préliminaires indiquent que ce procédé pourrait produire des résultats intéressants, du moins, en ce qui concerne les peintures blanches. Lorsque tous les résultats seront connus et auront été analysés, des recommandations précises seront faites.

Conclusion

Suite à ces recommandations, le Comité devra décider de l'utilisation ou non de la densitométrie pour déterminer la durabilité des peintures.

4

c) Classement des peintures

L'objectif principal de la présente étude était de déterminer la grandeur de l'erreur dans l'évaluation de la performance (WT). Cette erreur est liée à la méthode d'évaluation. Elle a été estimée à 3,4% du WT avec une probabilité de 95%. Dans les notes supplémentaires ci-jointes, on trouvera des explications au sujet des erreurs.

Soit WT_A , la performance de la peinture A et soit WT_B , la performance de la peinture B, alors si:

$$Z = \frac{WT_A - WT_B}{(0,174) \sqrt{WT_A^2 + WT_B^2}} \quad \text{est plus grand que } 1,64,$$

alors la peinture A a une performance supérieure à la peinture B avec une probabilité de 95%. Si non, les deux peintures sont d'égale performance. Dorénavant, donc, il faudra tenir compte de cette marge d'erreur et déterminer si oui ou non les peintures sont réellement supérieures les unes aux autres. Il est donc suggéré que les peintures soient classées par groupe de peintures équivalentes. S'il arrivait qu'une même peinture soit équivalente à deux autres qui n'appartiennent pas au même groupe, alors cette peinture devrait être classée avec le groupe le plus élevé. De plus, le WT associé à chaque peinture serait le WT moyen des peintures appartenant à son groupe et non pas le WT obtenu par la peinture lors du test.

Conclusion

Le Comité devra décider s'il accepte ou non cette nouvelle façon de classer les peintures et de déterminer la performance de chacune d'entre elles.

2- CHOIX DES PEINTURES

Dans cette deuxième section, les différentes façons de choisir la peinture sont présentées. Le Comité devra décider laquelle sera utilisée à l'avenir. Il peut décider d'une en particulier, ou d'une combinaison de plusieurs.

a) Choix selon la performance

On choisit la meilleure performance sans tenir compte du prix. Cette façon de procéder assurera le Ministère de choisir une bonne peinture. Les fabricants seront sans doute portés à améliorer la qualité de leurs peintures. Toutefois, le Ministère pourrait payer trop cher pour une amélioration assez peu significative de la qualité du produit.

b) Choix selon le prix

Parmi les peintures testées et ayant répondu aux normes, le Ministère prend la plus basse soumission. Cette façon de procéder est sans doute la moins coûteuse. Toutefois, elle pourrait s'avérer désastreuse si on ne fixe pas un minimum en ce qui regarde la performance. D'autre part, sans un minimum, les tests eux-mêmes deviennent inutiles. En effet, il suffirait de vérifier les normes requises et de choisir la plus basse soumission.

c) Formule Q

Il s'agit de la formule utilisée jusqu'en 1979, c'est-à-dire:

$$Q = \frac{WT \times F}{P + C}$$

Cette formule favorise la performance. En effet, les coûts de pose, "C", sont fixés arbitrairement et constants pour toutes les peintures. Ils s'ajoutent au prix de la peinture et ainsi réduisent l'importance du prix d'achat et cela, de façon relative. En

effet, si on compare deux marques de peinture, les écarts de prix sont relativement moins importants, quand on ajoute les coûts de pose au prix. Ainsi, la performance est favorisée.

En résumé, cette façon de procéder a tendance à se rapprocher d'un choix selon le prix.

d) Formule Q'

Cette formule est dérivée de la formule Q. En effet, on élimine les coûts de pose au dénominateur:

$$Q' = \frac{WT \times F}{P}$$

cette nouvelle formule rétablit l'importance des écarts de prix et exprime un rapport beaucoup plus direct entre le prix et la performance.

Par conséquent, la formule Q' est beaucoup plus neutre que la précédente et il est évident que ce nouveau rapport entre le prix et la performance n'amènera pas nécessairement à choisir la même peinture que la formule Q, bien que cela demeure possible.

e) Formule Q''

Cette dernière formule provient de la précédente en éliminant le facteur F qui est également constant pour toutes les peintures. Il faut remarquer ici que l'instrument qui sert à marquer la chaussée est calibré pour étendre une quantité de peinture sur une surface donnée et cela, sans tenir compte de la peinture.

$$Q'' = WT/P$$

Il s'agit d'un rapport direct entre la performance et le prix. Le classement des peintures donné par Q'' n'a comme avantage que sa plus

7

grande simplicité. Cette dernière formule exprime peut-être mieux cependant, ce rapport prix-performance.

f) Pondération du prix dans la formule Q"

Comme Q" est une formule qui donne un rapport entre le prix et la performance et que le fabricant pourrait peut-être augmenter la performance de la peinture au point de justifier un prix très élevé, on pourrait songer à imposer une limite à la performance, laquelle n'est peut-être requise d'aucune manière.

Il s'agit là d'un problème assez complexe, car il faudrait fixer arbitrairement un seuil au-dessus duquel la performance conduit à payer inutilement cher pour une peinture qui de toute manière disparaît à l'hiver et doit être refaite au printemps, tout au moins, sur les routes les plus achalandées.

Pour arriver à une telle pondération, il faudrait ajouter un facteur au prix dépendant de la performance. En effet, il suffirait d'augmenter le prix à partir d'un certain niveau pour que les peintures les plus performantes aient un rapport prix-performance plus faible que normalement. Ces peintures ne seraient alors choisies que si leurs prix demeurent à un niveau comparable aux autres peintures. Il faudrait donc songer à une formule exponentielle pour cette pondération, tel que le facteur serait égal à 1 pour les performances inférieures ou égal au plafond fixé, et supérieur à 1 pour les performances supérieures.

Si le Comité décidait d'étudier cette possibilité, il y aurait lieu de faire une étude assez approfondie pour déterminer ce plafond et pour préciser l'allure de la courbe pour les performances supérieures au plafond.

g) Fixation d'une performance minimale acceptable

Dans le même ordre d'idées que le choix "f", on pourrait à l'inverse proposer de fixer un plancher minimum au-dessus duquel toutes les peintures sont considérées comme étant suffisamment performantes pour être acceptables et le choix final se ferait uniquement en fonction du prix.

Il y a deux façons d'aborder cette façon de procéder:

- i) fixation d'un WT minimum
- ii) fixation d'un WT minimum en fonction
 - soit de la valeur maximale obtenue lors du test
 - soit d'une valeur moyenne

Ainsi, au cours des dernières années, on a considéré qu'une peinture qui obtenait au moins 90% de la valeur maximale, obtenue par l'une ou l'autre des peintures, était acceptable et on choisissait alors la peinture ayant le prix le plus bas. C'est là une méthode assez simple. L'inconvénient majeur de cette formule est tout simplement que l'on pourrait assister à une dégradation de la qualité des peintures. En effet, les fabricants n'auraient pas d'avantages particuliers à fabriquer une bonne peinture. La méthode "i" aurait tout au moins l'avantage de préserver une qualité minimum.

Remarques générales

1- Peu importe la façon de procéder pour le choix final de la peinture, on devra toujours utiliser un classement par groupe de peintures équivalentes si on veut tenir compte de l'erreur reliée à la méthode d'évaluation des peintures.

2- L'utilisation d'un étalon est rigoureusement nécessaire pour les méthodes "f et g", et souhaitable dans les autres cas pour pouvoir analyser les effets à long terme de la façon de procéder.

9

3- Il est également souhaitable que la façon de choisir la peinture accorde une prime quelconque à la performance de la peinture, sans quoi, il y a un risque de diminution dans la qualité de la peinture sans une diminution équivalente pour le prix.

4- Il serait sans doute préférable qu'à un moment donné, on engage une discussion sur les objectifs visés quand on parle de la performance des peintures. Ces objectifs étant d'abord établis, il serait, par la suite, plus facile de trouver la meilleure façon de procéder.

3- CONTINUATION DE L'ETUDE

Jusqu'à maintenant, l'étude a principalement consisté à évaluer la façon de procéder pour effectuer les tests, sans vraiment remettre en cause la façon même de procéder. Nous avons analysé la méthode d'évaluation et préciser la grandeur de l'erreur. Nous sommes présentement à déterminer la meilleure façon de procéder au choix final de la peinture.

D'autre part, nous avons constaté qu'un des problèmes majeurs est de déterminer ce que nous voulons exactement au niveau de la qualité de la peinture. A ce titre, notre principal difficulté vient du fait que le WT est une mesure relative et très sensible aux conditions d'expérimentation. L'utilisation d'une peinture étalon serait, en ce sens, une amélioration valable à apporter. L'utilisation de la densitométrie, si elle s'avère réalisable, pourrait également conduire à des résultats plus stables au cours des années. Toutefois, la mesure reste la même, c'est-à-dire relative.

Parmi les autres éléments à considérer dans la méthode d'évaluation, il y a la courbe de dégradation des facteurs de service. Le WT représente cette courbe: le facteur W est en quelque sorte une moyenne des facteurs de service au cours de la période T. Toutefois, la forme de cette courbe est également un élément très important et révélateur de la qualité

12

d'une peinture. Il est clair que la date de l'arrivée de l'hiver fixe le point de chute de cette courbe, mais ce qui est véritablement important, c'est ce qui se passe avant le point de chute. Or, le WT ne l'indique pas nécessairement puisque celui-ci est trop dépendant du facteur T, lui-même très lié à la date de pose et à la date de l'arrivée de l'hiver.

Conclusion

Le Comité devra décider si on doit procéder à une étude détaillée des données disponibles afin d'établir si la courbe de dégradation ne devrait pas être également un critère de sélection.

ANNEXE I

ECHANTILLON-TYPE

Nous avons déjà constaté que les tests de peinture sont très relatifs. En effet, les conditions d'expérimentation ne sont pas exactement les mêmes d'une année à l'autre, et ceci a pour effet de faire varier les résultats. Il devient donc difficile de comparer ces tests d'une année à l'autre. Il n'est donc pas facile d'analyser la qualité des peintures sur plusieurs années. Il est ainsi difficile de voir si la formule retenue pour le choix des peintures a pour effet d'améliorer la qualité du produit. Afin de contrer ce problème, on utilisait une peinture qui servait d'échantillon-type ou d'étalon, laquelle devait permettre d'analyser les variations dans la qualité des peintures.

Jusqu'en 1976, l'échantillon-type demeura toujours la même marque de peinture. En effet, la peinture ayant obtenu le meilleur score servait d'échantillon-type et c'était également cette peinture qui était choisie pour le marquage des chaussées. Craignant alors un manque d'intérêt de la part des fabricants, on décréta que la peinture choisie serait l'échantillon-type pour l'année suivante, mais que celle-ci était éliminée au départ et que la peinture choisie serait celle ayant obtenu le meilleur score parmi toutes les autres peintures participantes. Ainsi, chaque année depuis 1976, l'échantillon-type ne pourrait plus être le même deux années de suite. Ainsi donc, cet échantillon-type ne peut amener des comparaisons que sur deux années à la fois.

Pour comparer les résultats sur deux années consécutives, il faut formuler deux postulats très importants. Premièrement, la qualité de la peinture servant d'échantillon-type demeure stable d'une année à l'autre. Deuxièmement, les modifications aux conditions d'expérimentation amènent des modifications dans les résultats qui se manifestent de façon similaire pour l'échantillon-type et pour toutes les autres peintures. Ce dernier postulat veut simplement dire que si ces conditions étaient iden-

tiques sur deux années de suite, il n'y aurait pas de variation dans les résultats pour l'échantillon-type et que toutes les variations enregistrées dans les résultats moyens de chaque année sont dues à des différences de qualité; en d'autres termes, c'est comme si on faisait tous les tests de deux ans durant la même année. Ce deuxième postulat semble tout-à-fait raisonnable, car s'il en était autrement, il faudrait considérer que les tests ne sont pas valables, étant variants lors de conditions identiques. Les conséquences de ce postulat sont importantes. En effet, ce postulat permet de faire des comparaisons adéquates d'une année à l'autre en utilisant le résultat moyen des peintures. Ainsi, il suffit de calculer le rapport existant entre les deux valeurs pour l'échantillon-type et d'appliquer ce rapport au résultat moyen de la première année; on obtient ainsi, une moyenne théorique qui aurait été le résultat moyen de la deuxième année. En comparant ce résultat théorique au résultat réellement obtenu, on voit immédiatement l'écart. Si la moyenne théorique est plus élevée que la moyenne observée, on doit conclure que la qualité moyenne a diminué, alors que si c'est l'inverse, on conclura qu'elle a augmenté. Ces conclusions ne sont véridiques que si les deux postulats s'avèrent exacts.

Le deuxième postulat est probablement exact, car c'est la logique même. Toutefois, en ce qui concerne le premier postulat, c'est beaucoup moins sûr. En effet, la peinture est un produit instable. Ainsi, il peut suffir d'un mauvais brassage, ou encore d'une utilisation de contenants de différentes grandeurs, ou encore d'une cuvée différente (même avec les mêmes ingrédients), pour que la peinture ne soit pas exactement la même et qu'ainsi, les comparaisons deviennent boiteuses. Il semblerait que pour certaines années, on ne soit pas totalement assuré que ce premier postulat s'avère exact. Toutefois, il est impossible d'avoir une certitude quelconque. Il faudra donc être prudent.

Nous allons maintenant voir ce que donne l'application de ces deux postulats:

TABLEAU 1

Moyenne de l'année comparée à une moyenne
théorique établie par la valeur du WT de l'échantillon-type
pour les peintures blanches

	WT en 1970	WT en 1971	Rapport 1971-1970
Echantillon-type	1332,09	827,19	0,621
Moyenne observée	1228,55	835,43	0,68
Moyenne théorique	1228,55	762,93	0,621

Selon ce tableau, la moyenne observée, bien que plus faible en 1971, représente en réalité une augmentation dans la qualité moyenne des peintures. En effet, cette moyenne observée est plus élevée que la moyenne théorique basée sur la variation de l'échantillon-type. Ainsi, les conditions d'expérimentation auraient fait chuté le WT moyen à 762,93 si les peintures de 1971 avaient eu une qualité moyenne équivalente à celles de 1970.

Le tableau suivant nous donne pour chaque année les valeurs des moyennes observées et théoriques pour les peintures blanches:

TABLEAU 2

	Moyenne observée	Moyenne théorique
1972	834,46	944,04
1973	1321,93	1293,57
1975	1134,13	1163,30
1977	1242,60	1297,36
1978	1122,23	1201,93
1979	1176,56	1121,66
1980	1219,66	1190,80
1981	1124,38	1232,11

Note: En 1974, il n'y a pas eu de tests. En 1976, il n'y a pas de possibilités de calculer la moyenne théorique.

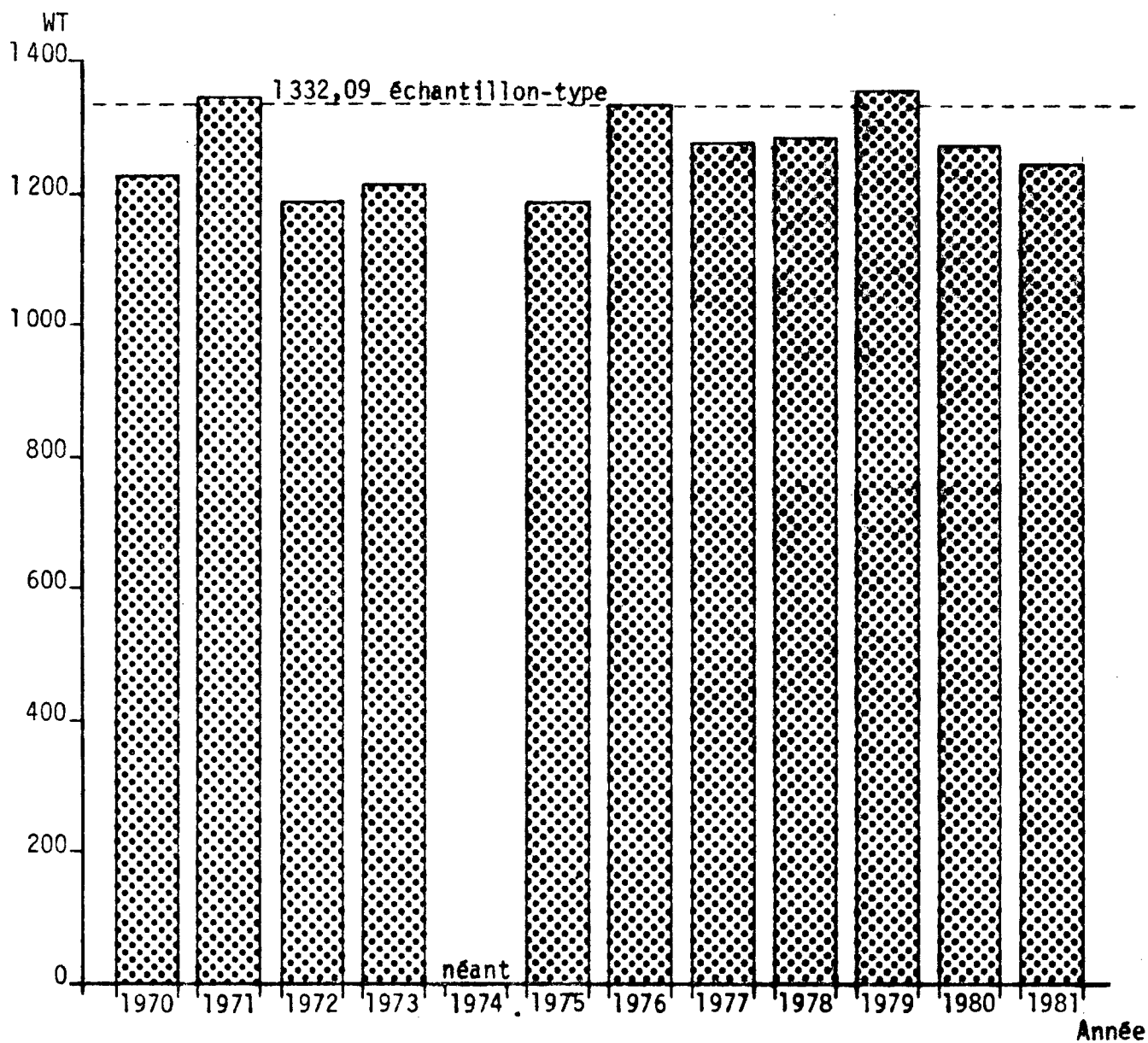
On observera qu'en 1972, 1975, 1977, 1978 et 1981, il y aurait eu une baisse de la qualité moyenne des peintures blanches par rapport à l'année précédente, alors que c'est la situation inverse pour 1973, 1979 et 1980.

Toutefois, cette façon de procéder est très relative et ne permet pas les comparaisons entre plusieurs années et ainsi, de dégager des tendances sur plus de deux ans. Toutefois, pour deux années consécutives, cette méthode devrait être assez fiable, compte tenu des réserves déjà émises.

Afin de pouvoir étudier les tendances à long terme, on doit procéder d'une façon tout-à-fait différente. En effet, il nous faut posséder un standard qui peut servir de base de comparaisons. La question qui se pose est donc de savoir si l'échantillon-type peut être cet étalon permettant les comparaisons. Nous savons pertinemment qu'à partir de 1976, l'échantillon-type a changé d'une année à l'autre, ce qui, en principe, détruit toute possibilité d'obtenir une base commune à toutes les années. Malgré cela, il est quand même possible de faire comme si on avait cette base commune. En effet, en étudiant la relation entre la valeur du WT de l'échantillon-type et la valeur du WT moyen de chaque année, on a calculé un coefficient de corrélation linéaire de .95; ce résultat nous permet d'affirmer que de façon générale, l'échantillon-type, bien que non constant, suit une courbe à peu près identique à celle de la qualité moyenne. C'est un résultat assez normal, puisque les conditions d'expérimentation ont un effet très important sur le résultat. La valeur de ce coefficient nous indique que 10% de la relation entre les deux variables doit s'expliquer par d'autres facteurs, dont la qualité des peintures en serait un. Ces faits nous incitent à penser qu'une tentative visant à se servir de l'échantillon-type comme étalon n'est pas tout-à-fait farfelue. Pour faire de l'échantillon-type un étalon, il suffit d'égaliser les résultats pour toutes les années et de modifier pareillement les valeurs moyennes. C'est ce que nous avons fait et c'est le sujet du graphique no 1.

graphique 1

RÉPARTITION DU "WT" MOYEN DES PEINTURES BLANCHES DE 1970 À 1981
TEL QUE CALCULÉ AVEC UN ÉCHANTILLON-TYPE À VALEUR CONSTANTE



CONCLUSION

L'échantillon-type, tel que conçu actuellement, nous fournit donc une bonne base de comparaisons pour deux années consécutives. La seule véritable lacune actuellement est le manque de certitude relativement à la constance dans la qualité de l'échantillon-type pour les deux années.

Toutefois, pour des périodes plus importantes, le problème demeure entier. En effet, il faudrait plutôt avoir un genre d'étalon qui pourrait servir de base de calcul. Il n'est pas nécessaire que cet étalon soit la meilleure peinture. Il est important, cependant, que cette peinture-étalon soit constante dans sa qualité d'une année à l'autre, afin que les variations observées puissent être attribuées uniquement aux variations dans les conditions d'expérimentation.

Ces conditions d'expérimentation vont inévitablement varier d'une année à l'autre, car elles sont en bonne partie incontrôlables et ne sont pas toutes connues et quantifiables. Il est donc nécessaire d'avoir un étalon et non pas uniquement un échantillon-type tel que conçu présentement. Sinon, nous devons renoncer à vouloir établir des tendances à long terme et à connaître la valeur de nos formules utilisées pour choisir les peintures.

ANNEXE 2

NOTES EXPLICATIVES AU SUJET DES ERREURS

Il est souvent question de deux types d'erreur dans l'étude sur les peintures de pavage: erreur externe et erreur interne. Les mots "externe et interne" sont employés en relation avec la méthode d'évaluation. Celle-ci est fondamentalement basée sur le fait que les bandes de peinture sont posées à trois endroits et évaluées, quant à leur apparence et à leur durabilité, par quatre inspecteurs.

L'erreur externe est celle qui n'a rien à voir avec la méthode d'évaluation elle-même. En effet, elle est le résultat du fait que pour une même peinture posée à plusieurs reprises au même endroit et évaluée par un même inspecteur, on obtiendra autant de résultats différents. Cette erreur peut avoir plusieurs causes, telles que les erreurs de jugement d'un même évaluateur, des inégalités dans la qualité du pavage. Ainsi, lors du test de 1981, on a peint plusieurs bandes avec le même type de peinture et on a obtenu des résultats différents pour chaque série de 3 bandes. Donc, quelque soit la méthode d'évaluation, on obtiendrait de tels écarts.

L'erreur interne est, par contre, intimement liée à la méthode d'évaluation. En effet, elle résulte du fait que le WT est la moyenne de 12 résultats, soit un pour chaque endroit et évaluateur: au total, donc, 3x4 résultats. La méthode d'évaluation est ainsi faite pour les facteurs de service "apparence et durabilité". En ce qui concerne la visibilité de nuit, un appareil est utilisé et dans ce cas, l'erreur interne provient uniquement du fait qu'il y a trois endroits. Le WT est une combinaison de ces trois facteurs de service et il devient ainsi l'équivalent d'une moyenne de 12 résultats.

On notera que les deux types d'erreurs sont toujours présents dans chaque valeur de WT. On peut toujours faire un estimé de l'erreur interne, mais il n'en va pas ainsi pour l'erreur externe, puisque l'on a habituellement une seule série de 3 bandes. De toute manière, ces deux

erreurs se combinent l'une à l'autre pour donner une erreur globale. Toutefois, au cours de notre étude, on a déterminé que l'erreur externe peut être considérée comme négligeable et que l'on peut estimer l'erreur totale en utilisant uniquement l'erreur interne.

Dans une étude encore plus poussée, on pourrait étudier le comportement de deux composantes de l'erreur interne. En effet, celle-ci provient principalement de deux facteurs: les endroits et les évaluateurs. On peut alors arriver à deux types de conclusions. Le premier type de conclusion serait que l'un ou l'autre des deux facteurs est primordial. Le deuxième type de conclusion nous dirait que ce sont plutôt des combinaisons des deux facteurs qui produisent l'erreur.

ANNEXE 3

EXPERIENCE SUPPLEMENTAIRE

Lors de l'expérience contrôlée de 1981, un test spécial avait été fait avec une marque de peinture ne contenant que 4 livres de microbilles de verre au lieu des 6 livres habituelles. On avait alors constaté que la visibilité de nuit n'avait diminué que de 11%, comparativement à 33% pour la quantité de microbilles. Les deux autres facteurs n'avaient pas été influencés par cette modification.

Suite à ce test, il est apparu désirable d'effectuer une expérience semblable avec d'autres quantités de microbilles, afin de déterminer qu'elle est la relation entre la quantité de microbilles et la valeur du facteur "visibilité de nuit".

Pour ce faire, on tiendra en 1982 une expérience spéciale. Pour des quantités de 0,2,3,4 et 6 livres de microbilles, on tracera dans chaque cas, cinq séries de 3 bandes. L'expérience ne sera effectuée qu'à un seul endroit. Les trois facteurs de service seront évalués de la façon coutumière en même temps que pour les tests de peinture de 1982.

Lors de l'étude des résultats, les points suivants seront analysés:

- valeur des facteurs de service "apparence et durabilité"
- valeur du facteur de service "visibilité de nuit" et sa courbe de dégradation
- valeur du temps T
- valeur du WT
- comparaison de ces valeurs avec les valeurs pour 6 livres de microbilles
- relation entre la quantité de microbilles et la valeur du facteur de service

Un rapport précisera chacun de ces résultats et une recommandation précise sur la quantité de microbilles idéale sera donnée.

**Etude des résultats de densitométrie
lors de l'expérience-pilote de 1981 sur
les peintures de pavage**

Mars 1983

**Jean David, stat.,
Service de la statistique
Ministère des Transports**

PLAN DU RAPPORT

	Page
1. <u>INTRODUCTION</u>	1
2. <u>ANALYSE DES RESULTATS</u>	3
a) Sources des difficultés	3
b) Analyse des résultats	5
3. <u>CONCLUSION</u>	19
4. <u>ANNEXES</u> - Liste des annexes (Tableaux statistiques).....	23

1. INTRODUCTION

Un des objectifs de l'expérience-pilote de 1981 sur les peintures pour le marquage des chaussées était de trouver une façon de déterminer l'apparence et la durabilité des peintures à l'aide de photographies successives des bandes d'essai. Ces photographies seraient analysées à l'aide d'appareils, et ainsi la qualité des peintures serait déterminée sans avoir à faire intervenir différents évaluateurs et se baser sur leur jugement. Dans cet ordre d'idées, on avait, il y a quelques années, introduit le rétro-réflexomètre pour déterminer la visibilité de nuit. On cherche donc une façon mécanique de déterminer l'apparence et la durabilité des peintures. Ces deux caractéristiques sont près l'une de l'autre et elles le sont tellement que nos évaluateurs les placent au même niveau de façon presque systématique. Ces deux caractéristiques représentent respectivement 10% et 40% de l'évaluation globale. Compte tenu de ces pourcentages et des remarques précédentes, on pourrait fondre ces deux caractéristiques en une seule même si, en principe, elles sont de nature différente.

Au départ, notre objectif était l'étude des photographies par la photogrammétrie, soit le calcul des surfaces restantes par rapport à une surface établie au moment de la pose. En principe, cela devrait nous indiquer de façon assez précise la qualité de la peinture par rapport à sa durabilité. Cependant, nous avons constaté rapidement que l'usure de la peinture se fait plutôt à l'intérieur de la bande que sur son contour. De plus, cette usure progresse d'abord lentement et se manifeste par des pertes tout-de-même peu importantes au début et certainement difficiles à mesurer, principalement à l'intérieur de la bande. Par conséquent, nous nous sommes rapidement rendus compte que la photogrammétrie n'était peut-être pas la meilleure solution. Comme les surfaces dépeinturées sont plutôt minuscules, il nous a semblé que la densitométrie donnerait peut-être de meilleurs résultats.

Compte tenu du type d'appareil que nous avions à notre disposition, il nous est apparu plus sage d'effectuer le calcul de la réflexion de la lumière en utilisant le positif des photographies. En effet, le diamètre de l'ouverture de l'appareil était supérieur à la largeur des bandes sur le négatif: il fallait donc se tourner vers le positif, malgré les difficultés que cela pouvait supposer, suite à une manipulation supplémentaire. Sur des photographies en noir et blanc, le pavé apparaît foncé et les bandes blanches. L'usure de celles-ci se manifeste par l'apparition graduelle du pavage, donc, par l'apparition sur les photographies de taches sombres qui réfléchissent moins de lumière et cela, même si au départ ces taches sont minuscules. Le densitomètre devrait donc être en mesure de rendre compte de cette situation, puisque la lumière réfléchie sera moindre. Pour que des taches minuscules soient repérées, il suffit simplement que l'appareil soit suffisamment précis. Par conséquent, tout comme la photogrammétrie, la densitométrie mesurera la durabilité de la peinture; cette façon de procéder nous semblait, par contre, beaucoup plus prometteuse.

On notera que les bandes de peinture furent photographiées à quatre reprises au moment même où les évaluateurs effectuaient des relevés routiniers relativement à l'apparence et à la durabilité. Ces séries de photographies furent effectuées le 10 juillet 1981, peu de temps après la pose des peintures, ainsi que les 1er octobre, 20 novembre et 7 décembre 1981. Durant cette période, les bandes d'essai sont soumises à la circulation quotidienne et les marques sur la chaussée se dégradent un peu plus chaque jour. L'observateur fut placé dans la nacelle d'une grue et élevé au-dessus des bandes d'essai. L'opération nécessita que plusieurs photographies soient prises à chaque endroit pour couvrir entièrement les bandes d'essai. Il ne faut pas oublier que toute cette procédure fut établie au moment où l'on s'orientait vers la photogrammétrie et qu'elle n'aurait pas été nécessairement la même si, au départ, on s'était dirigé vers la densitométrie.

2- ANALYSE DES RESULTATS

a) Sources des difficultés

Sans entrer immédiatement dans l'analyse des résultats, nous devons constater que ceux-ci sont assez décevants. Notre objectif premier n'est pas comme tel remis en cause. Nous devons, cependant, nous pencher sérieusement sur les sources des difficultés rencontrées et déterminer dans quelle mesure celles-ci peuvent être surmontées et nous permettre finalement d'atteindre notre objectif. Dans notre analyse, nous allons considérer les faits sous l'angle d'une étude par densitométrie.

La cause la plus importante de nos difficultés fut sans doute le fait que l'expérience ne fut pas d'abord planifiée pour une étude par densitométrie. Cette cause s'est manifestée tout au long de l'étude. Toutefois, on peut dire que les conséquences les plus importantes se sont manifestées au niveau de la planification pour la prise des photographies, ainsi qu'au niveau du développement de celles-ci. Tout d'abord, nous aurions dû, dans un premier temps, réduire au minimum le nombre de photographies nécessaires pour couvrir une planche d'essai et prendre énormément de soins au moment de la prise de photos pour s'assurer d'un minimum d'homogénéité. Deuxièmement, il aurait fallu prendre beaucoup de soins pour le développement des photos, soit au niveau de l'exposition des négatifs et au niveau de la finition des photographies. Ainsi, nous aurions pu avoir une plus grande homogénéité sur le fond des photographies et éviter ainsi d'avoir des positifs trop pâles ou trop foncés, ce qui est une des principales sources d'ennui.

C'est encore à cause d'un manque de planification que nous avons dû utiliser les positifs au lieu des négatifs. En effet, nous n'avions pas le bon appareil à notre disposition. L'ouverture de notre appareil était trop grande, ce qui nous a obligé à utiliser le positif au lieu du négatif des photographies,

ce qui finalement exige une manipulation supplémentaire et comporte des risques plus grands de fausser la réalité. Compte tenu du manque de soins dont nous avons déjà parlé, cela nous a nuí considérablement et les résultats ne furent pas aussi intéressants que ce à quoi nous aurions pu nous attendre. Comble de malheur, notre appareil est tombé en panne en cours de route, et il a fallu reprendre tout le travail avec un appareil emprunté qu'on a dû remettre avant d'avoir pu compléter les compilations. Ainsi, à l'endroit no 3, l'analyse des photographies du relevé de décembre 81 n'a pu être complétée. Nous devons, par conséquent, nous limiter à l'étude des résultats obtenus jusqu'à maintenant et oublier tous les résultats manquants. Il est également impossible d'effectuer tout nouveau calcul sur des bases différentes. Nous avions, au départ, décidé de mesurer le fond des photographies à cinq endroits différents pour obtenir une mesure moyenne du fond. Par la suite, nous avons décidé de remplacer quatre endroits par quatre autres que nous avons jugé plus significatifs. Or, l'étude des résultats pour certaines photographies démontre certaines anomalies: avec l'appareil, nous aurions pu faire certaines vérifications, ou encore, reprendre différemment certaines mesures. Hélas, ce n'est pas possible. En résumé, il s'agit là, encore, d'une source importante de difficultés dans la réalisation de cette expérience.

D'autre part, il faut bien également se rendre compte de notre manque d'expérience dans ce domaine de l'analyse des photographies. Pour toutes sortes de saisons, nous n'avons pu, au moment de la réalisation de cette expérience, nous adjoindre certains spécialistes qui auraient pu nous conseiller adéquatement. C'est pourquoi, dans un premier temps, nous voulons analyser en détail les résultats obtenus. Il est important de bien saisir la valeur des résultats obtenus par cette première expérience, de préciser, par la suite, les causes de nos difficultés en termes de ces résultats non valables ou de qualité douteuse, de telle sorte que si l'expérience est reprise, nous éviterons de refaire ces erreurs, et pourrons obtenir des résultats significatifs. En

s'adjoignant certains spécialistes dans ce domaine, nos résultats ne pourraient que s'améliorer de façon significative.

b) Analyse des résultats

Comme la finition des photographies n'était pas suffisamment uniforme avec des fonds trop pâles ou trop foncés, il fallait trouver une façon de rendre comparables les résultats obtenus avec des photographies trop différentes entre elles. En effet, une photographie plus foncée va accentuer l'importance des tâches sombres sur les bandes, diminuer la quantité de lumière qui sera réfléchiée et donner une lecture qui dépréciera la peinture correspondante, alors qu'une photographie beaucoup plus pâle pourra produire l'effet contraire. De cette manière, les comparaisons entre peintures ne sont pas valables. Alors, il fallait trouver un moyen de contourner cette difficulté. Pour ce faire, nous avons d'abord considéré que lorsqu'une partie de la bande était usée, le pavé apparaissait et ce pavé donnait la couleur foncée sur le fond de la photographie. Par conséquent, le pavé était plus ou moins foncé selon la finition de la photographie. Nous avons donc décidé de mesurer le fond de la photographie et de soustraire de cette mesure, la valeur obtenue sur la bande de peinture. De cette manière, on obtient une mesure qui est la réflexion de la lumière vis-à-vis la bande et qui est donc proportionnelle à la surface restante de peinture sur la bande, c'est-à-dire à la durabilité de la peinture. Pour la peinture blanche, cet énoncé est sans aucun doute des plus vraies; toutefois, le problème est différent pour les peintures jaunes et nous en reparlerons un peu plus loin. Pour mesurer le fond des photographies, nous avons décidé de prendre cinq mesures et d'en faire la moyenne. D'une part, nous supposons que le fond n'était pas égal partout puisque le pavé, étant inégal, produit des teintes inégales. D'autre part, nous supposons également que cette moyenne serait suffisamment représentative de l'ensemble de la photographie et n'introduirait pas de biais en faveur de certaines bandes de peintures. En principe,

nous devions certes avoir raison, mais il nous est quand même apparu que pour certaines photographies, cela pouvait peut-être amener un certain biais. Dans un premier temps, nous avons décidé de prendre une mesure du fond à chaque coin de la photographie et une cinquième au centre. Encore une fois, cela nous est d'abord apparu tout-à-fait raisonnable. Cependant, en examinant les photographies, nous avons constaté que le fond de celles-ci pouvait être passablement différent vis-à-vis les roulières. Or, sur les bandes, nous prenions quatre mesures à cet endroit et l'usure se manifeste par l'apparition du pavé, qui constitue le fond de la photographie. Pour être assuré d'obtenir la véritable mesure de la durabilité, mesurée par le différentiel par rapport au fond, il fallait mesurer le fond dans les roulières. Nous avons donc remplacé les mesures aux 4 coins par quatre mesures dans les roulières. En annexe 1, on trouvera un schéma montrant clairement où les mesures sont prises sur les bandes. Nous avons respecté un schéma semblable pour les mesures du fond.

En suivant cette procédure, nous devions obtenir pour une peinture donnée, des résultats tels que

$$x_1 \geq x_2 \geq x_3 \geq x_4$$

où x_i représente la valeur au densitomètre à la i -ème séance de photographies. On doit remarquer, ici, que x_i est une moyenne composée de 45 mesures. En effet, pour chaque peinture, il y a trois bandes d'essai à chaque endroit. Pour chaque bande, on effectue cinq mesures (voir schéma à l'annexe 1). Donc, comme il y a trois endroits, cela fait un total de 45 mesures pour chaque peinture et chaque séance de photographies. Les valeurs " x_i " doivent être décroissantes pour exprimer correctement la dégradation des bandes de peinture, qui se manifeste par l'apparition graduelle du pavé sous forme de trous de plus en plus grands, amenant une diminution de la réflexion de la lumière. Il faut bien comprendre ici que dans les premières semaines, la dégradation sous forme d'un amincissement du film de peinture ne peut être mesurée par la densitométrie puisque la peinture, demeurant

blanche, donne la même réflexivité. Toutefois, dès l'apparition de "trous" dans le film de peinture, alors ceux-ci peuvent être mesurés si évidemment l'écart est suffisamment important par rapport à la sensibilité de l'appareil. Il s'agit donc ici d'une première caractéristique qui doit être respectée pour que les mesures soient valables.

Parallèlement à cette expérience, la durabilité des peintures est également déterminée par quatre évaluateurs. Par conséquent, dans l'hypothèse où les lectures densitométriques sont correctes et si les évaluateurs ont bien fait leur travail, alors les valeurs x_1 , x_2 , x_3 et x_4 doivent être proportionnelles aux évaluations de nos quatre observateurs. Cette deuxième caractéristique a une conséquence importante. En effet, de façon générale, les évaluations faites sont de 10 pour les premières inspections et aux environs de 4 ou même 3 pour les dernières. Il y a là toute proportion gardée un écart important qui doit se répercuter au niveau des lectures avec la densitométrie. De façon pratique, selon les résultats que nous avons obtenu, cela signifie que les meilleures lectures se situent aux environs de 60 et les plus faibles, en décembre, aux environs de 20 ou 15. Un tel écart permet de suivre assez bien l'évolution de la peinture au cours de la période d'observation. Nous avons obtenu de tels résultats avec les peintures blanches, mais ce ne fut pas le cas avec les peintures jaunes, où l'écart est beaucoup plus faible. Il s'explique de façon assez simple par le fait que la peinture jaune avec une finition en noir et blanc apparaît comme plus foncée que la peinture blanche, donc elle est moins réfléchissante pour le densitomètre.

Nous allons maintenant analyser de façon détaillée les résultats que nous avons obtenus, et cela, à la lumière des caractéristiques que nous venons de définir. Nous déterminerons alors les raisons précises pourquoi ces caractéristiques ne sont pas présentes. Notons qu'en annexe 2, tous les résultats individuels sont

données. Dans cet annexe, on a pour chaque peinture, chaque endroit et chaque relevé, la mesure du fond (moyenne de 5 valeurs) et le résultat au densitomètre (moyenne de 15 valeurs, c'est-à-dire moyenne de 5 mesures pour chacune des 3 bandes). Analysons les résultats de la peinture blanche B-186:

Tableau 1

Mesure moyenne du fond et résultats au densitomètre pour la peinture B-186.
Expérience-pilote de 1981.

<u>DATE DU RELEVÉ</u>	<u>Endroit 1</u>		<u>Endroit 2</u>		<u>Endroit 3</u>	
	Mesure du fond	Résultat	Mesure du fond	Résultat	Mesure du fond	Résultat
81-07-10	77	55	84	44	76	48
81-10-06	86	39	59	46	46	40
81-11-20	82	43	75	45	84	27
81-12-07	81	18	70	51	-	-

Dans ce petit tableau, nous retrouvons à peu près toutes les erreurs possibles par rapport aux difficultés que nous avons rencontrées et par rapport aux caractéristiques que nous venons de définir. En premier lieu, pour les deux premiers endroits, la condition:

$$x_1 \geq x_2 \geq x_3 \geq x_4$$

n'est pas respectée. Ainsi, à l'endroit 2, l'erreur est d'autant plus grande que d'une part $x_1 < x_2$ et $x_1 < x_3 < x_4$ et, d'autre part, $x_2 > x_3$, mais $x_2 < x_4$. Ainsi donc, le premier relevé est le plus petit, alors qu'il devrait être le plus élevé. En ce qui concerne l'endroit 1 seulement le deuxième résultat est un peu trop faible par rapport au troisième.

D'ailleurs, cette dernière situation revient très fréquemment pour l'ensemble des peintures, alors que la situation décrite pour l'endroit 2 se retrouve fréquemment pour cet endroit, mais peu souvent pour les autres. D'autre part, pour l'endroit 3, les résultats semblent à première vue "corrects", si l'on excepte le fait que l'on n'a pas de résultats pour le dernier relevé, situation qui s'explique par le fait que le densitomètre avait été emprunté et qu'on a dû le remettre avant d'avoir terminé le travail. D'autre part, nous pouvons regarder si nos résultats au densitomètre sont proportionnels aux évaluations faites par quatre observateurs. Nous considérerons l'évaluation moyenne pour chaque endroit et pour l'ensemble des trois endroits.

Tableau 2

Comparaison entre les relevés au densitomètre
et les évaluations moyennes pour la peinture blanche B-186,
Expérience-pilote de 1981.

DATE DU RELEVÉ	ENDROIT 1			ENDROIT 2		
	Résultat au densitomètre	Evaluation moyenne	Rapport	Résultat au densitomètre	Evaluation moyenne	Rapport
81-07-10	55	10,0	5,5	44	10,0	4,4
81-10-06	39	9,5	4,1	46	- (1)	-
81-11-20	43	7,6	5,7	45	7,8	5,8
81-12-07	18	4,5	4,0	51	6,1	8,4
DATE DU RELEVÉ	ENDROIT 3			TOTAL		
	Résultat au densitomètre	Evaluation moyenne	Rapport	Résultat au densitomètre	Evaluation moyenne	Rapport
81-07-10	48	9,9	4,8	49	10,0	4,9
81-10-06	40	9,5	4,2	42	9,5	4,4
81-11-20	27	8,0	3,4	38	7,8	4,9
81-12-07	-	6,0	-	35	5,5	6,4

(1) A l'endroit 2, il n'y a pas eu d'évaluations à cause de traces de freinage sur bandes d'essai.

Si on regarde chaque endroit séparément, on s'aperçoit que les résultats au densitomètre ne sont pas proportionnels aux évaluations moyennes. Par contre, si on considère le total, qui est la moyenne des endroits, on se rend compte que la proportionnalité est assez bonne pour les trois premiers relevés. On constate que parallèlement à cette caractéristique, les résultats sont décroissants. C'est là un fait raisonnable puisque les deux caractéristiques vont de pair. Il serait cependant souhaitable de retrouver les mêmes qualités au niveau de chaque endroit. Nous allons considérer un

certain nombre de peintures pour un endroit donné et faire une moyenne pour l'ensemble de ces peintures. En annexe 4, on retrouve ces données. On observe, pour ce groupe de 9 peintures, que le rapport entre la mesure au densitomètre et la moyenne des évaluations est d'environ 5,8. Or, dans nos données ci-dessus, on se rend compte qu'un tel rapport apparaît à plusieurs reprises. De plus, si certains résultats trop faibles avaient été un peu plus élevés aux endroits 1 et 2, nous aurions eu des résultats plus qu'intéressants. Pour l'endroit 3, il semble bien que l'ensemble des résultats sont trop faibles par rapport aux évaluations.

Nous allons maintenant considérer l'ensemble des peintures et de plus, nous considérerons les résultats moyens pour les trois endroits. En annexe 5, tous ces résultats sont fournis. Pour bien analyser les résultats, il faut regrouper les peintures en trois catégories:

1. Peintures blanches soumises au test en 1981: B-181 à B-189
2. Peintures jaunes " " " " " : J-811 à J-821
3. Peintures blanches pour l'expérience-pilote de 1981:
B-190 à B-204 subdivisées en deux groupes.

Peinture no 1: B-190, B-192, B-194, B-195, B-197,
B-198 et B-201 à B-204.

Peinture no 2: B-190, B-193, B-196, B-199 et B-200.

Etudions d'abord les résultats pour la troisième catégorie. On note que pour la peinture no 1, nous l'avons répétée 10 fois, et l'autre, 5 fois. Pour chacune des deux peintures, nous allons calculer un résultat qui sera la moyenne des 10 séries de 3 bandes.

Tableau 3

Valeur densitométrique moyenne, évaluation moyenne
et rapport pour chaque relevé et chaque peinture.

		81-07-10	81-10-06	81-11-20	81-12-07	Moyenne
PEINTURE NO 1	Valeur densitométrique moyenne	43,9	39,3	37,4	32,5	
	Evaluation moyenne	9,9	9,4	7,7	5,3	
	Rapport	4,4	4,2	4,9	6,1	4,9
PEINTURE NO 2	Valeur densitométrique moyenne	43,6	39,3	37,4	27,8	
	Evaluation moyenne	9,9	9,4	7,2	4,7	
	Rapport	4,4	4,2	5,2	5,9	4,9

En analysant ce tableau, deux faits apparaissent et semblent significatifs. Premièrement, le rapport moyen est de l'ordre de 5. Deuxièmement, il apparaît que, sauf pour le deuxième relevé, le rapport a tendance à augmenter, c'est-à-dire que les valeurs densitométriques diminuent moins rapidement que les évaluations faites par nos quatre observateurs. Deux faits pourraient expliquer ce dernier résultats: d'une part, les observateurs sont très critiques vis-à-vis une peinture qui se dégrade alors que, d'autre part, le densitomètre ne rendait pas justice à la peinture en début d'expérience, avec un contraste insuffisant, la peinture

n'étant pas suffisamment blanche par rapport au pavage. De toute manière, il y a là un problème dont il faudra bien en déterminer les causes. En ce qui concerne la première catégorie de peintures, nous pouvons faire à peu près les mêmes observations, compte tenu des résultats suivants:

<u>Relevé</u>	<u>Rapport moyen des 9 peintures</u>
81-07-10	4,4
81-10-06	4,5
81-11-20	5,0
81-12-07	7,2
Moyenne	5,3

Enfin, en ce qui a trait aux peintures jaunes, nous y reviendrons plus loin. Pour le moment, nous allons tenter de déterminer avec précision les motifs pour lesquelles nous n'avons pas toujours obtenu de bons résultats.

La première, est sans doute la plus importante raison et attribuable au fait que nous avons des photos trop pâles, ou trop foncées, ou encore entre les deux et ce manque d'homogénéité n'a pu que nous causer des problèmes. En effet, nous avons voulu éviter ce problème en calculant un différentiel en fonction du fond de la photographie; cependant, une analyse sommaire nous montre que notre travail n'a pas été suffisant. En annexe 3, deux tableaux démontrent assez clairement que notre opération n'a pas corrigé tous les problèmes. Le tableau 3,1, relatif aux peintures blanches, démontre que selon la mesure du fond, nous obtenons des résultats différents. Nous avons calculé le résultat moyen des valeurs obtenues pour une mesure du fond donné. Nous avons estimé que pour les deux premiers relevés, la dégradation était à peu près équivalente et de plus, peu importante. Dans ce cas, nous

devons obtenir la plus grande valeur possible pour qu'un résultat soit satisfaisant. En observant le tableau 3,1, on observera que des valeurs trop faibles sont obtenues lorsque la mesure du fond est inférieure à 60 (fond trop pâle), ou encore lorsqu'elle est supérieure à 80 (fond trop foncé). Ces valeurs peuvent donc être jugées comme étant douteuses du simple fait que le fond est trop pâle ou trop foncé. Il semblerait que le différentiel, notre mesure, ne se comporte pas correctement dans ces cas-là. Nous posons cette affirmation pour des mesures relatives aux deux premiers relevés et nous supposons qu'elle est également vraie pour les deux autres relevés. Si nous examinons à nouveau le tableau no 1, nous devons rejeter plusieurs résultats. Ainsi, à l'endroit 1, le plus mauvais résultat est sans doute, le deuxième avec une mesure de fond de 86, ce deuxième résultat que nous avons déjà jugé douteux, puisque trop faible: la cause serait donc que le fond de la photographie était trop foncé pour que le résultat soit bon. A l'endroit 2, seul le premier résultat serait douteux, alors qu'à l'endroit 3, le deuxième et le troisième le seraient, parce que trop pâle ou trop foncé. En consultant l'annexe 2, nous pourrions retrouver quantité de résultats qui sont douteux pour cette raison. Mais, il y a quand même quelques cas un peu surprenant. C'est le cas, notamment, des peintures blanches B-184 et B-185 à l'endroit 1, où l'on peut observer que la condition " $x_1 \geq x_2 \geq x_3 \geq x_4$ " est respectée, même si le fond est trop foncé pour les deuxième et troisième relevés. Cependant, si nous observons le rapport entre ces mesures et la moyenne des évaluateurs, nous obtenons respectivement pour les 4 relevés:

81-07-10	5,1
81-10-06	3,9
81-11-20	4,6 (Peinture B-184, endroit 1)
81-12-07	3,9

ce qui démontre que, selon nos normes, les trois dernières mesures densitométriques seraient trop faibles par rapport aux évalua-

teurs. Or, pour ces trois mesures, la mesure moyenne est supérieure à 80, ce qui tendrait à confirmer que celles-là sont douteuses. Pour la peinture B-185, à l'endroit 1, les rapports sont:

81-07-10	4,7
81-10-06	4,1
81-11-20	4,5
81-12-07	6,0

ce qui démontre un rapport trop faible pour un fond mesuré à 77 (acceptable), trop faible pour des fonds à 86 et 85 (trop foncés), et correct pour un fond à 80 (à la limite de l'acceptabilité). Il existe plusieurs exemples de ce type et il faut en conclure que plusieurs autres facteurs entrent également en ligne de compte.

Ainsi donc, il faut se demander pourquoi on n'obtient pas de bonnes mesures même lorsque l'on considère la mesure du fond comme étant correcte. C'est le cas notamment de la peinture B-185 à l'endroit 2.

Voici les mesures:

<u>Relevé</u>	<u>Mesure du fond</u>	<u>Résultat</u>	<u>Moyenne des évaluations</u>	<u>Rapport</u>
81-07-10	75	55	10,0	5,5
81-10-06	80	56	-	-
81-11-20	74	49	7,3	6,7
81-12-07	71	51	5,0	10,0

La condition $x_1 \geq x_2 \geq x_3 \geq x_4$ n'est pas respectée et les rapports sont beaucoup trop élevés pour les deux derniers relevés, ce qui indique des valeurs densitométriques trop importantes pour ceux-ci. De fait, ces valeurs sont assez près des deux premières valeurs, comme si l'usure des bandes était presque inexistante après 172 jours d'exposition à la circulation, ce qui ne semble pas raisonnable. Ce cas là n'est pas unique, et il se produit assez souvent. D'une part, il faut bien comprendre qu'à l'endroit 2, l'usure s'est faite sentir moins rapidement qu'ailleurs et on peut le constater avec la moyenne des évaluations. Toutefois, cela n'explique pas tout. Nous donnerons quelques raisons qui pourraient expliquer les résultats obtenus.

En premier lieu, il faut constater que le densitomètre qualifie la durabilité à partir de mesures prises à des endroits bien précis sur les bandes (voir annexe 1). Or, d'un relevé à l'autre, nous suivons exactement le même diagramme, mais nous ne sommes pas absolument assurés que les endroits physiques (où les mesures sont prises) correspondent exactement d'une fois à l'autre. Compte tenu que l'appareil mesure un endroit relativement petit alors, au relevé suivant, le moindre écart pourrait faire en sorte que l'on mesure un endroit tout au moins partiellement différent et ainsi, les mesures ne correspondent plus. Pour chaque peinture et chaque relevé, on prend 15 mesures, ce qui devrait normalement réduire cette erreur. Toutefois, compte tenu de la procédure, l'erreur peut être systématique et forcément, apparaît sur la valeur de la moyenne. De toute manière, il est bien évident que d'un relevé à l'autre, les photographies n'ont pas été prises exactement de la même position et il va de soi que les coordonnées des points mesurés peuvent varier d'un relevé à l'autre. Pour prendre les mesures au densitomètre et pour que le travail se fasse rapidement, nous avons utilisé un gabarit et pour cette raison, on peut supposer que d'un relevé à l'autre, les endroits mesurés ne correspondent pas nécessairement aux mêmes endroits physiques. C'est pourquoi la comparabilité des résultats devient assez aléatoire.

Pour éviter ce problème, il aurait peut-être fallu prendre de plus grandes précautions au moment de la prise des photographies, soit être plus prudent avec notre gabarit, soit de déterminer des régions plutôt que des points et prendre plusieurs mesures pour chaque région, ou soit combiner ces trois possibilités. Il va de soi que c'est un problème important et pas nécessairement facile à résoudre, et qui pourrait devenir plus important si les points mesurés étaient encore plus petits.

En deuxième lieu, il existe la possibilité que les bandes de peinture soient plus ou moins propres. Ainsi, l'on a observé des traces de freinage, suffisamment prononcées à l'endroit 2 pour éviter de faire des observations manuelles. On a également observé de la neige ou de la glace au mois de décembre. Il s'agit là des principaux phénomènes. Cependant, le densitomètre peut détecter de la saleté beaucoup moins apparente. Ainsi, un film de poussière qui fait grisonner la peinture amènera des lectures plus faibles, sans que l'usure de la peinture soit vraiment en cause. Et par ailleurs, s'il a plu la journée précédente, la peinture bien qu'asséchée, sera plus propre, le blanc sera plus blanc et le densitomètre pourra donner une meilleure lecture. Il s'agit là également d'un facteur qui a son importance.

En troisième lieu, il y a le problème de la peinture jaune. Ce problème provient du fait que sur une photographie en noir et blanc, le jaune apparaît un peu plus gris que le blanc et les lectures densitométriques vont, selon toute apparence, refléter cet état de fait. En consultant l'annexe 2, mais surtout le tableau 3,2 de l'annexe 3, on se rend compte immédiatement que les lectures sont beaucoup plus faibles. Afin de vérifier cette assertion, on peut établir, à l'aide de l'annexe 5, le rapport moyen entre les lectures densitométriques et les évaluations pour les 11 peintures jaunes à l'essai en 1981. Les résultats sont les suivants:

<u>Relevé</u>	<u>Rapport moyen</u>
81-07-10	3,3
81-10-06	3,6
81-11-20	3,0
81-12-07	4,7
Moyenne	3,7

Cete moyenne est beaucoup plus faible que pour les peintures blanches et c'est d'ailleurs la même chose pour chacun des relevés. Toutefois, le tableau 3,2 nous démontre également que dans peu de cas, pour la peinture jaune, nous avons obtenu une mesure moyenne du fond qui correspond aux normes d'acceptabilité, établies avec les peintures blanches. C'est pourquoi, notre interprétation est sujette à caution, puisque nous pourrions attribuer à des fonds trop pâles ou trop foncés, le fait d'obtenir des lectures plus faibles. Quoi qu'il en soit, il apparaît que l'écart entre la meilleure lecture et la plus faible n'est pas aussi prononcé que dans le cas des peintures blanches et cela ne peut que causer des problèmes. Par ailleurs, sous d'autres aspects, il semble que les problèmes observés chez les peintures blanches, se manifestent également chez les peintures jaunes.

3- CONCLUSION

Nous avons observé que les résultats obtenus ne correspondent pas à ce que nous aurions dû obtenir. Il existe donc un écart que plusieurs causes peuvent expliquer. Toutefois, cet écart n'est pas si grand que l'on doive absolument abandonner toute idée d'obtenir des résultats valables par la densitométrie. Afin de bien réaliser que les résultats sont quand même encourageants, considérons les deux peintures reproduisent respectivement 10 et 5 fois. Dans ce cas, nous pourrions calculer le coefficient de corrélation linéaire entre les résultats au densitomètre et les moyennes des évaluations. Nous obtenons un coefficient de corrélation de 0,93, ce qui est une valeur plutôt significative. La relation observée sera donnée par l'équation:

$$Y = 15 + 2,8 X$$

où "X" représente la moyenne des 4 évaluateurs et Y, les valeurs densitométriques. Il est bien évident que cette équation ne reflète ce que théoriquement l'on pourrait espérer. En effet, cette équation donnerait une valeur densitométrique de 15 pour une évaluation de 0. D'autre part le coefficient de X devrait s'approcher de 4,9, le rapport moyen calculé au tableau 3. Toutefois, cela démontre bien qu'il y a possibilité d'aller chercher des résultats valables si nous pouvons éviter de retomber dans les mêmes problèmes que nous avons eus lors de cette première expérience.

Nous avons trois problèmes pour lesquelles il faudra trouver une solution:

- 1- problème d'uniformité au niveau de la finition des photographies.
- 2- problème d'identification de l'endroit précis où nous devons prendre des mesures sur les bandes.
- 3- problème des peintures jaunes sur des photographies en noir et blanc.

Suite à l'étude que nous venons de faire, il semble bien qu'il s'agit là des trois problèmes principaux que nous avons identifiés et nous allons maintenant tenter d'ouvrir des avenues que pourraient solutionner ces problèmes.

Au départ, il est important de considérer notre procédure pour photographier les bandes d'essai. Nous devons maintenant considérer que ces photographies seront étudiées par densitométrie et qu'en général, tout est une question de contrastes: le pavé est noir et les peintures blanches. S'il y a de l'usure, elle se manifeste sous forme de petits trous dans la peinture et le pavé noir apparaît, et c'est ce que doit mesurer le densitomètre. Si le blanc est gris ou si le pavé est pâle ou trop pâle, le densitomètre ne pourra pas donner de bons résultats. D'un relevé à l'autre, il faut autant que possible garder une certaine uniformité dans les couleurs noirs et blancs pour que les résultats soient comparables. Pour réaliser cet objectif, il faut prendre un certain nombre de précautions au moment de la prise des photographies et également au moment du développement de la pellicule. Cela implique, en particulier, que l'on doit être attentif à l'éclairage, c'est-à-dire que la quantité de lumière qui atteindra la pellicule doit être la plus constante possible d'un relevé à l'autre. Il faut remarquer ici que les différents relevés sont faits dans des saisons différentes, et ainsi les conditions d'éclairage ne sont pas identiques. Tout peut se corriger avec un bon appareil: cependant, il faut s'assurer que les corrections amènent bien le résultat escompté: une quantité de lumière bien définie. Au niveau du développement de la pellicule, il y a là encore plusieurs précautions à prendre afin que les transformations amènent des résultats identiques, du moins dans la mesure du possible. Il serait sans doute intéressant d'utiliser la photographie aérienne pour se limiter, si possible, à une seule photographie par planche d'essai et par relevé. Ainsi, au total pour 4 relevés, il n'y aurait que douze photographies. Il serait, par ailleurs, important d'utiliser un type de pellicule qui reproduirait le mieux possible les contrastes à observer.

Compte tenu du fait qu'il y a trois planches d'essai et probablement 4 relevés, on ne pourra pas être assuré d'une totale uniformité des photographies. Pour cette raison, il apparaît important de placer sur les planches d'essai un standard amovible pour chaque couleur de peinture, lequel standard servira de base commune pour tous les endroits et tous les relevés. Il faut remarquer ici qu'un seul standard sera suffisant pour les peintures blanches, alors que pour les jaunes, on devra peut-être en avoir plus d'un, s'il y a plusieurs types de couleur jaune à l'essai: en effet, on ne peut pas espérer une parfaite uniformité de couleur pour le jaune.

Finalement, en rapport avec ce problème d'uniformité des photographies, il serait sans doute préférable de travailler avec le négatif, plutôt que le positif. Cela éviterait une opération, ce qui réduirait d'autant les problèmes au niveau de la finition.

Il faut réaliser qu'en utilisant le négatif, il est certain que les bandes de peinture seront minuscules surtout si l'on a une seule photographie par planche d'essai. Il faudra donc se tourner vers la micro-densitométrie. Cela nous amène à traiter du deuxième problème: celui de l'identification de l'endroit précis où l'on prend la mesure. Au premier coup d'oeil, il apparaît assez clair que la moindre erreur au niveau de la localisation de l'endroit précis où l'on prend la mesure pourra avoir des conséquences désastreuses quant aux résultats avec un micro-densitomètre. Pour éviter ces erreurs, il faudra sûrement avoir un bon système pour repérer cet endroit de façon précise. Si cela n'est pas possible, il faudra penser à une façon de procéder. Celle-ci pourrait consister à définir un périmètre un peu plus grand, facilement repérable et prendre une série de mesures à l'intérieur de ce périmètre. La moyenne de ces mesures serait le résultat recherché pour remplacer chacune des cinq mesures par bande. Cette seconde façon de procéder peut être très valable en autant que, lors de sa réalisation, on puisse procéder facilement pour calculer la valeur moyenne. De plus, le nombre de mesures à prendre dépendra de la

surface considérée: plus celle-ci sera grande, plus il faudra prendre de mesures. Il y a là un point important à considérer en termes de coûts. Il s'agit là de deux façons de résoudre le problème de localisation de l'endroit où l'on doit prendre la mesure. On pourra prendre l'une ou l'autre selon ce qu'il est possible de faire.

Quant au dernier problème à résoudre relativement à la couleur "jaune", une solution possible est tout probablement l'utilisation de la photographie couleur. Il m'est cependant difficile de déterminer avec précision comment on pourrait procéder exactement et s'il est possible d'obtenir les résultats désirés, c'est-à-dire des résultats de même type que ceux obtenus pour les peintures blanches avec un contraste suffisant.

En faisant l'hypothèse que nous trouverons sans doute des solutions valables aux problèmes principaux énoncés plus haut, nous pouvons espérer que l'étude des photographies par densitométrie nous fournira une réponse adéquate à notre préoccupation, c'est-à-dire de déterminer à l'aide d'un appareil de mesure la durabilité des peintures de pavage. D'autre part, cet appareil pourrait faire un peu plus. En effet, présentement, nous déterminons l'usure de la peinture dans les roulières, c'est-à-dire aux endroits où l'usure est la plus prononcée et cela ne correspond pas tout-à-fait à la réalité. Pour cette raison, au début de l'hiver, la dégradation est rapide. Mais, aux autres endroits, les conditions sont moins dures. Nous pourrions, avec les mêmes photographies étudier le rendement des peintures ailleurs que dans les roulières. Nous verrions alors si les meilleures peintures dans les roulières sont également et de façon significative, les meilleures peintures en-dehors des roulières. Cela pourrait peut-être justifier ou non l'emploi d'une peinture de meilleure qualité, en extrapolant sur la durée en-dehors des roulières. De toute façon, cela pourrait être une application très intéressante du densitomètre.

4. ANNEXES - Liste des annexes (Tableaux statistiques)

Annexe 1: Localisation des points de lecture densitométrique

Annexe 2: Mesure du fond de la photographie et résultats densitométriques.

Annexe 3: Relation entre la mesure du fond et les résultats densitométriques moyens pour les peintures selon la couleur.

Annexe 4: Comparaison entre les mesures au densitomètre et les évaluations moyennes de la durabilité.

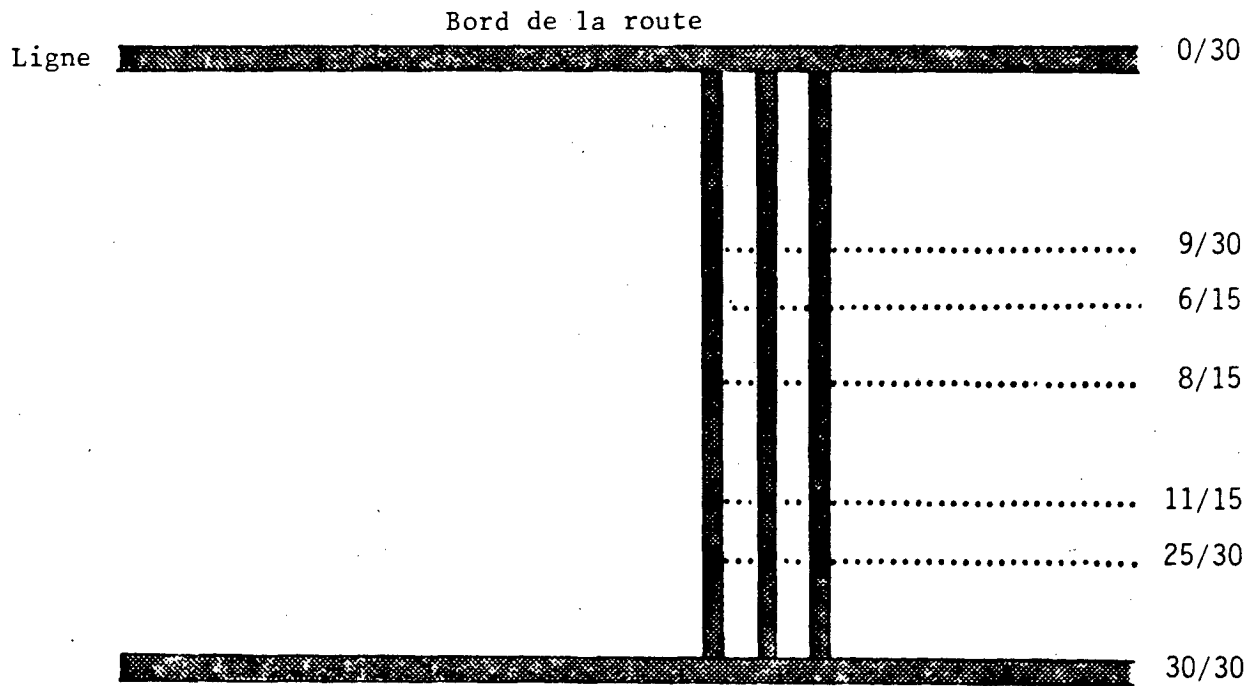
Annexe 5: Résultats de densitométrie par peinture - Moyenne des trois endroits pour chaque relevé.

ANNEXE 1

LOCALISATION DES POINTS DE LECTURE DENSITOMÉTRIQUE

ÉTUDE DES BANDES DE PEINTURE DE PAVAGE

Localisation des points
de lecture densitométrique



ANNEXE 2

MESURE DU FOND DE LA PHOTOGRAPHIE
ET RÉSULTATS DENSITOMÉTRIQUES

Mesure du fond de la photographie et résultat
obtenu par la peinture tels que calculés par un densi-
tomètre à chacun des endroits et pour chaque relevé.
Expérience - pilote de 1981.

B-186	Endroit 1		Endroit 2		Endroit 3	
	Mesure du fond	Résultat	Mesure du fond	Résultat	Mesure du fond	Résultat
RELEVÉ						
81-07-10	77	55	84	44	76	48
81-10-06	86	39	59	46	46	40
81-11-20	82	43	75	45	84	27
81-12-07	81	18	70	51	-	-

B-183	Endroit 1		Endroit 2		Endroit 3	
	Mesure du fond	Résultat	Mesure du fond	Résultat	Mesure du fond	Résultat
RELEVÉ						
81-07-10	77	51	84	46	76	50
81-10-06	86	36	59	49	46	42
81-11-20	83	41	75	46	84	39
81-12-07	80	20	70	52	-	-

B-184	Endroit 1		Endroit 2		Endroit 3	
	Mesure du fond	Résultat	Mesure du fond	Résultat	Mesure du fond	Résultat
RELEVÉ						
81-07-10	77	50	84	45	76	50
81-10-06	86	36	59	50	46	41
81-11-20	83	31	75	44	84	35
81-12-07	80	11	70	40	-	-

B-189	Endroit 1		Endroit 2		Endroit 3	
	Mesure du fond	Résultat	Mesure du fond	Résultat	Mesure du fond	Résultat
RELEVÉ						
81-07-10	77	43	84	45	84	21
81-10-06	86	39	80	52	44	40
81-11-20	83	40	74	48	82	30
81-12-07	80	21	71	41	-	-

B-185	Endroit 1		Endroit 2		Endroit 3	
	Mesure du fond	Résultat	Mesure du fond	Résultat	Mesure du fond	Résultat
RELEVÉ						
81-07-10	77	47	75	55	84	24
81-10-06	86	39	80	56	44	40
81-11-20	85	33	74	49	82	31
81-12-07	80	26	71	51	-	-

Mesure du fond de la photographie et résultat
 obtenu par la peinture tels que calculés par un densi-
 tomètre à chacun des endroits et pour chaque relevé.
 Expérience - pilote de 1981.

B-181	Endroit 1		Endroit 2		Endroit 3	
	Mesure du fond	Résultat	Mesure du fond	Résultat	Mesure du fond	Résultat
RELEVÉ						
81-07-10	77	48	75	55	84	27
81-10-06	86	38	80	51	44	39
81-11-20	85	27	74	36	82	27
81-12-07	80	16	71	41	-	-

B-182	Endroit 1		Endroit 2		Endroit 3	
	Mesure du fond	Résultat	Mesure du fond	Résultat	Mesure du fond	Résultat
RELEVÉ						
81-07-10	81	49	75	57	84	37
81-10-06	86	36	60	47	44	40
81-11-20	85	27	66	46	81	33
81-12-07	80	16	70	45	-	-

B-187	Endroit 1		Endroit 2		Endroit 3	
	Mesure du fond	Résultat	Mesure du fond	Résultat	Mesure du fond	Résultat
RELEVÉ						
81-07-10	81	45	75	58	84	36
81-10-06	83	35	60	47	44	39
81-11-20	85	23	66	47	81	32
81-12-07	81	9	70	48	-	-

B-188	Endroit 1		Endroit 2		Endroit 3	
	Mesure du fond	Résultat	Mesure du fond	Résultat	Mesure du fond	Résultat
RELEVÉ						
81-07-10	81	45	83	47	84	38
81-10-06	83	39	60	50	44	40
81-11-20	85	24	66	53	81	37
81-12-07	81	12	70	52	-	-

B-190	Endroit 1		Endroit 2		Endroit 3	
	Mesure du fond	Résultat	Mesure du fond	Résultat	Mesure du fond	Résultat
RELEVÉ						
81-07-10	74	49	80	50	85	41
81-10-06	84	34	52	45	82	41
81-11-20	85	27	69	57	82	31
81-12-07	86	15	76	53	-	-

Mesure du fond de la photographie et résultat
 obtenu par la peinture tels que calculés par un densi-
 tomètre à chacun des endroits et pour chaque relevé.
 Expérience - pilote de 1981.

B-191	Endroit 1		Endroit 2		Endroit 3	
	Mesure du fond	Résultat	Mesure du fond	Résultat	Mesure du fond	Résultat
RELEVÉ						
81-07-10	74	47	80	50	85	37
81-10-06	84	31	83	33	56	44
81-11-20	85	30	71	49	82	28
81-12-07	86	6	73	41	-	-

B-192	Endroit 1		Endroit 2		Endroit 3	
	Mesure du fond	Résultat	Mesure du fond	Résultat	Mesure du fond	Résultat
RELEVÉ						
81-07-10	74	47	80	52	85	39
81-10-06	84	34	83	34	56	43
81-11-20	85	30	71	56	82	31
81-12-07	86	8	73	50	-	-

B-193	Endroit 1		Endroit 2		Endroit 3	
	Mesure du fond	Résultat	Mesure du fond	Résultat	Mesure du fond	Résultat
RELEVÉ						
81-07-10	80	51	80	54	85	37
81-10-06	84	33	83	32	48	39
81-11-20	85	24	71	50	82	29
81-12-07	86	6	73	45	-	-

B-194	Endroit 1		Endroit 2		Endroit 3	
	Mesure du fond	Résultat	Mesure du fond	Résultat	Mesure du fond	Résultat
RELEVÉ						
81-07-10	80	50	81	50	85	37
81-10-06	83	39	83	35	48	41
81-11-20	82	23	74	51	81	29
81-12-07	84	9	70	52	-	-

B-195	Endroit 1		Endroit 2		Endroit 3	
	Mesure du fond	Résultat	Mesure du fond	Résultat	Mesure du fond	Résultat
RELEVÉ						
81-07-10	80	47	81	51	85	26
81-10-06	83	37	83	36	48	42
81-11-20	82	29	74	54	81	33
81-12-07	84	12	70	53	-	-

Mesure du fond de la photographie et résultat
 obtenu par la peinture tels que calculés par un densi-
 tomètre à chacun des endroits et pour chaque relevé.
 Expérience - pilote de 1981.

B-196	Endroit 1		Endroit 2		Endroit 3	
	Mesure du fond	Résultat	Mesure du fond	Résultat	Mesure du fond	Résultat
RELEVÉ						
81-07-10	80	43	81	51	85	24
81-10-06	83	32	83	35	55	47
81-11-20	82	25	74	50	80	26
81-12-07	84	9	70	48	-	-

B-197	Endroit 1		Endroit 2		Endroit 3	
	Mesure du fond	Résultat	Mesure du fond	Résultat	Mesure du fond	Résultat
RELEVÉ						
81-07-10	81	50	81	54	85	25
81-10-06	53	39	83	32	55	47
81-11-20	74	31	74	53	80	31
81-12-07	84	9	72	47	-	-

B-198	Endroit 1		Endroit 2		Endroit 3	
	Mesure du fond	Résultat	Mesure du fond	Résultat	Mesure du fond	Résultat
RELEVÉ						
81-07-10	81	49	74	54	85	27
81-10-06	53	39	83	29	55	46
81-11-20	74	29	74	54	80	31
81-12-07	85	15	72	53	-	-

B-199	Endroit 1		Endroit 2		Endroit 3	
	Mesure du fond	Résultat	Mesure du fond	Résultat	Mesure du fond	Résultat
RELEVÉ						
81-07-10	81	47	74	56	85	26
81-10-06	53	40	83	32	69	49
81-11-20	78	16	74	48	79	38
81-12-07	85	12	72	51	-	-

B-200	Endroit 1		Endroit 2		Endroit 3	
	Mesure du fond	Résultat	Mesure du fond	Résultat	Mesure du fond	Résultat
RELEVÉ						
81-07-10	81	48	74	59	85	25
81-10-06	83	40	-	-	69	50
81-11-20	78	18	68	41	79	40
81-12-07	85	9	70	47	-	-

Mesure du fond de la photographie et résultat
 obtenu par la peinture tels que calculés par un densi-
 tomètre à chacun des endroits et pour chaque relevé.
 Expérience - pilote de 1981.

B-201	Endroit 1		Endroit 2		Endroit 3	
	Mesure du fond	Résultat	Mesure du fond	Résultat	Mesure du fond	Résultat
RELEVÉ						
81-07-10	46	32	74	57	85	24
81-10-06	83	40	-	-	69	51
81-11-20	78	20	68	50	79	44
81-12-07	84	17	70	54	-	-

B-202	Endroit 1		Endroit 2		Endroit 3	
	Mesure du fond	Résultat	Mesure du fond	Résultat	Mesure du fond	Résultat
RELEVÉ						
81-07-10	46	34	74	56	85	22
81-10-06	83	39	-	-	83	37
81-11-20	86	12	68	52	79	44
81-12-07	84	19	70	53	-	-

B-203	Endroit 1		Endroit 2		Endroit 3	
	Mesure du fond	Résultat	Mesure du fond	Résultat	Mesure du fond	Résultat
RELEVÉ						
81-07-10	46	34	74	56	79	59
81-10-06	82	44	-	-	83	36
81-11-20	86	11	68	53	79	43
81-12-07	84	18	75	50	-	-

B-204	Endroit 1		Endroit 2		Endroit 3	
	Mesure du fond	Résultat	Mesure du fond	Résultat	Mesure du fond	Résultat
RELEVÉ						
81-07-10	46	30	74	55	79	56
81-10-06	82	45	-	-	83	35
81-11-20	86	11	68	57	79	42
81-12-07	84	19	75	54	-	-

	Endroit 1		Endroit 2		Endroit 3	
	Mesure du fond	Résultat	Mesure du fond	Résultat	Mesure du fond	Résultat
RELEVÉ						
81-07-10						
81-10-06						
81-11-20						
81-12-07						

Mesure du fond de la photographie et résultat
 obtenu par la peinture tels que calculés par un densi-
 tomètre à chacun des endroits et pour chaque relevé.
 Expérience - pilote de 1981.

B-205	Endroit 1		Endroit 2		Endroit 3	
	Mesure du fond	Résultat	Mesure du fond	Résultat	Mesure du fond	Résultat
RELEVÉ						
81-07-10					79	63
81-10-06					62	46
81-11-20					79	40
81-12-07					-	-

B-206	Endroit 1		Endroit 2		Endroit 3	
	Mesure du fond	Résultat	Mesure du fond	Résultat	Mesure du fond	Résultat
RELEVÉ						
81-07-10					80	63
81-10-06					62	50
81-11-20					79	41
81-12-07					-	-

B-207	Endroit 1		Endroit 2		Endroit 3	
	Mesure du fond	Résultat	Mesure du fond	Résultat	Mesure du fond	Résultat
RELEVÉ						
81-07-10					80	61
81-10-06					66	51
81-11-20					80	39
81-12-07					-	-

B-208	Endroit 1		Endroit 2		Endroit 3	
	Mesure du fond	Résultat	Mesure du fond	Résultat	Mesure du fond	Résultat
RELEVÉ						
81-07-10					80	59
81-10-06					66	53
81-11-20					80	39
81-12-07					-	-

B-209	Endroit 1		Endroit 2		Endroit 3	
	Mesure du fond	Résultat	Mesure du fond	Résultat	Mesure du fond	Résultat
RELEVÉ						
81-07-10					80	57
81-10-06					66	49
81-11-20					80	37
81-12-07					-	-

Mesure du fond de la photographie et résultat
 obtenu par la peinture tels que calculés par un densi-
 tomètre à chacun des endroits et pour chaque relevé.
 Expérience - pilote de 1981.

J-815	Endroit 1		Endroit 2		Endroit 3	
	Mesure du fond	Résultat	Mesure du fond	Résultat	Mesure du fond	Résultat
RELEVÉ						
81-07-10	81	37	83	39	84	28
81-10-06	83	33	84	23	78	39
81-11-20	85	13	67	40	81	20
81-12-07	81	12	75	38	-	-

J-814	Endroit 1		Endroit 2		Endroit 3	
	Mesure du fond	Résultat	Mesure du fond	Résultat	Mesure du fond	Résultat
RELEVÉ						
81-07-10	81	37	83	36	84	30
81-10-06	52	36	84	22	78	37
81-11-20	85	9	67	41	81	18
81-12-07	82	7	75	36	-	-

J-813	Endroit 1		Endroit 2		Endroit 3	
	Mesure du fond	Résultat	Mesure du fond	Résultat	Mesure du fond	Résultat
RELEVÉ						
81-07-10	82	41	83	36	84	32
81-10-06	52	35	84	24	78	38
81-11-20	85	12	67	45	81	18
81-12-07	82	9	75	38	-	-

J-818	Endroit 1		Endroit 2		Endroit 3	
	Mesure du fond	Résultat	Mesure du fond	Résultat	Mesure du fond	Résultat
RELEVÉ						
81-07-10	82	38	83	41	84	23
81-10-06	52	34	58	41	54	36
81-11-20	85	11	68	28	81	12
81-12-07	82	7	76	27	-	-

J-819	Endroit 1		Endroit 2		Endroit 3	
	Mesure du fond	Résultat	Mesure du fond	Résultat	Mesure du fond	Résultat
RELEVÉ						
81-07-10	82	34	83	40	84	27
81-10-06	79	30	58	39	54	33
81-11-20	86	8	68	34	81	14
81-12-07	83	3	76	36	-	-

Mesure du fond de la photographie et résultat
 obtenu par la peinture tels que calculés par un densi-
 tomètre à chacun des endroits et pour chaque relevé.
 Expérience - pilote de 1981.

J-817	Endroit 1		Endroit 2		Endroit 3	
	Mesure du fond	Résultat	Mesure du fond	Résultat	Mesure du fond	Résultat
RELEVÉ						
81-07-10	82	36	83	43	85	9
81-10-06	79	32	58	44	54	34
81-11-20	86	10	68	42	81	17
81-12-07	83	5	76	32	-	-

J-812	Endroit 1		Endroit 2		Endroit 3	
	Mesure du fond	Résultat	Mesure du fond	Résultat	Mesure du fond	Résultat
RELEVÉ						
81-07-10	82	43	83	48	85	11
81-10-06	79	37	79	36	56	36
81-11-20	86	11	62	40	81	21
81-12-07	83	3	76	41	-	-

J-816	Endroit 1		Endroit 2		Endroit 3	
	Mesure du fond	Résultat	Mesure du fond	Résultat	Mesure du fond	Résultat
RELEVÉ						
81-07-10	82	39	83	42	85	9
81-10-06	82	32	79	31	56	33
81-11-20	85	16	62	40	81	20
81-12-07	86	9	76	42	-	-

J-811	Endroit 1		Endroit 2		Endroit 3	
	Mesure du fond	Résultat	Mesure du fond	Résultat	Mesure du fond	Résultat
RELEVÉ						
81-07-10	82	36	83	42	85	20
81-10-06	82	29	79	35	56	34
81-11-20	85	16	62	45	81	21
81-12-07	86	9	76	46	-	-

	Endroit 1		Endroit 2		Endroit 3	
	Mesure du fond	Résultat	Mesure du fond	Résultat	Mesure du fond	Résultat
RELEVÉ						
81-07-10						
81-10-06						
81-11-20						
81-12-07						

Mesure du fond de la photographie et résultat
 obtenu par la peinture tels que calculés par un densi-
 tomètre à chacun des endroits et pour chaque relevé.
 Expérience - pilote de 1981.

J-820	Endroit 1		Endroit 2		Endroit 3	
	Mesure du fond	Résultat	Mesure du fond	Résultat	Mesure du fond	Résultat
RELEVÉ						
81-07-10			83	43	85	27
81-10-06			52	37	82	29
81-11-20			69	40	82	15
81-12-07			76	41	-	-

J-821	Endroit 1		Endroit 2		Endroit 3	
	Mesure du fond	Résultat	Mesure du fond	Résultat	Mesure du fond	Résultat
RELEVÉ						
81-07-10			83	40	85	28
81-10-06			52	38	82	29
81-11-20			69	40	82	15
81-12-07			76	38	-	-

	Endroit 1		Endroit 2		Endroit 3	
	Mesure du fond	Résultat	Mesure du fond	Résultat	Mesure du fond	Résultat
RELEVÉ						
81-07-10						
81-10-06						
81-11-20						
81-12-07						

	Endroit 1		Endroit 2		Endroit 3	
	Mesure du fond	Résultat	Mesure du fond	Résultat	Mesure du fond	Résultat
RELEVÉ						
81-07-10						
81-10-06						
81-11-20						
81-12-07						

	Endroit 1		Endroit 2		Endroit 3	
	Mesure du fond	Résultat	Mesure du fond	Résultat	Mesure du fond	Résultat
RELEVÉ						
81-07-10						
81-10-06						
81-11-20						
81-12-07						

ANNEXE 3

RELATION ENTRE LA MESURE DU FOND ET LES RÉSULTATS DENSITOMÉTRIQUES
MOYENS POUR LES PEINTURES SELON LA COULEUR

Tableau 3,1

Résultats moyens pour l'ensemble des peintures blanches
pour les deux premier relevés selon la mesure moyenne
du fond de la photographie.

Mesure moyenne du fond	RESULTATS INDIVIDUELS pour les trois endroits et les deux premiers relevés	Nom- bre	Résultat moyen	Ecart- type
44	40,40,39,40,39,40	6	39,7	0,4
45				
46	35,34,34,30,40,42,41	7	36,6	4,1
47				
48	39,41,42	3	40,7	1,2
49				
50				
51				
52	45	1	45	-
53	39,39,40	3	39,3	0,5
54				
55	47,47,46	3	46,7	0,5
56	44,43	2	43,5	0,5
57				
58				
59	46,49,50	3	48,3	1,7
60	47,47,50	3	48,0	1,4
61				
62	46,50	2	48,0	2,0
63				
64				
65				
66	51,53,49	3	51,0	1,6
67				
68				
69	49,50,51	3	50,0	0,8
70				
71				
72				
73				
74	49,47,47,54,56,59,57,56,56,55	10	53,6	4,1
75	55,55,57,58	4	56,3	1,3
76	48,50,50	3	49,3	0,9
77	55,51,50,43,47,48	6	48,8	3,7
78				
79	59,56,63	3	59,3	2,9
80	51,50,47,43,50,50,52,54,63,61,59,57,52,56,51	15	53,1	5,2
81	49,45,45,50,49,47,48,50,51,51,54	11	49,0	2,6
82	44,45,41	3	43,3	1,7
83	47,35,39,39,37,32,40,40,39,33,34,32,35,36,35,32,29,32, 37,36,35	21	35,9	3,9
84	44,46,45,45,21,24,27,37,36,38,34,31,34,33	14	35,4	7,6
85	41,37,39,37,37,26,24,25,27,26,25,24,22	13	30,0	6,7
86	39,36,36 39,39,38,36	7	37,6	1,4

Tableau 3,2

Résultats moyens pour l'ensemble des peintures
jaunes pour les deux premiers relevés selon la mesure
moyenne du fond de la photographie.

Mesure moyenne du fond	RESULTATS INDIVIDUELS pour les trois endroits et deux premiers relevés	Nombre	Résultat moyen	Ecart- type
52	36,35,34,37,38	5	36,0	1,4
53				
54	36,33,34	3	34,3	1,2
55				
56	36,33,34	3	34,3	1,2
57				
58	41,39,44	3	41,3	2,1
59				
60				
61				
62				
63				
64				
65				
66				
67				
68				
69				
70				
71				
72				
73				
74				
75				
76				
77				
78	39,37,38	3	38,0	0,8
79	30,32,37,36,31,35	6	33,5	2,6
80				
81	37,37	2	37,0	0,0
82	41,38,34,36,43,39,32,36,29,29,29	11	35,1	4,7
83	33,39,36,36,41,40,43,48,42,42,43,40	12	40,3	3,8
84	23,28,22,30,24,32,23,27	8	26,1	3,4
85	9,11, 9,20,27,28	6	17,3	8,1

ANNEXE 4

COMPARAISON ENTRE LES MESURES AU DENSITOMÈTRE ET
LES ÉVALUATIONS MOYENNES DE LA DURABILITÉ

Tableau 4,1

Comparaison entre les mesures du densitomètre et les évaluations moyennes de la durabilité pour 9 types de peintures sur le boul. Charest Ouest, Expérience-pilote de 1981.

	81-07-10		81-08-10	81-09-10	81-10-06		81-11-03	81-11-23		81-12-07		81-12-14
	1	2			1	2		1	2	1	2	
B-186	10	63	9,8	9,8	9,5	47	9,4	7,6	55	4,5	24	3,9
B-183	10	64	9,9	9,8	9,6	45	9,4	7,6	51	5,3	25	4,5
B-184	9,9	62	9,9	9,7	9,3	40	8,7	6,8	39	2,8	14	2,0
B-189	10	53	9,9	9,8	9,6	49	9,4	7,9	52	4,3	30	3,5
B-185	10	58	9,9	9,7	9,5	49	9,0	7,3	42	4,3	30	3,0
B-181	10	60	9,9	9,6	9,4	48	8,9	6,1	37	2,8	20	2,0
B-182	10	59	10	9,8	9,5	46	9,3	6,3	34	2,9	19	2,0
B-187	10	55	10	9,8	9,5	42	9,4	7,1	29	2,8	11	2,0
B-188	10	57	10	9,7	9,5	49	9,2	6,9	31	2,8	15	2,0
Moyenne	10	59	9,9	9,7	9,5	46	9,2	7,1	41	3,6	21	2,8

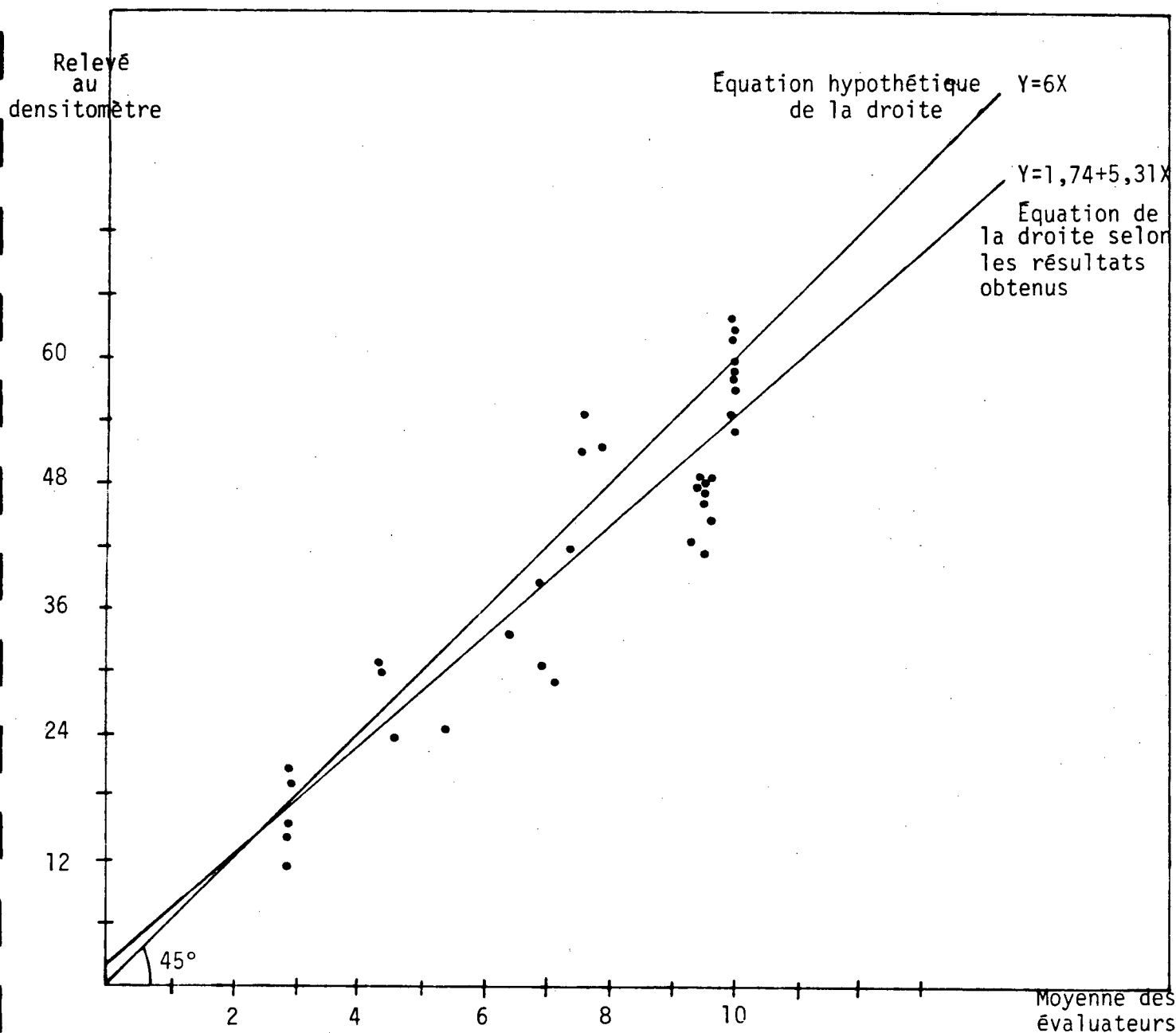
Remarques: a) 1 : moyenne des 4 évaluateurs
2 : mesure au densitomètre

b) Rapport entre la moyenne des 4 évaluateurs et la mesure au densitomètre pour chaque relevé

Date	Jours depuis l'application	Mesure au densitomètre	Moyenne des 4 évaluateurs	Rapport
81-07-10	22	59	10	5,9
81-10-06	110	46	9,5	4,8
81-11-23	158	41	7,1	5,8
07-12-81	172	21	3,6	5,8

Graphique no 4,1

Comparaison entre les mesures du densitomètre et les évaluations moyennes de la durabilité pour 9 types de peintures sur le boul. Charest ouest, Expérience-pilote 1981.



Sources: Tableau 4,1

Note: Valeurs prédites pour les évaluations moyennes de 9 peintures selon la droite $Y=1,74+5,31X$ et celle $Y=6X$

Date	$Y=1,74+5,31X$	$Y=6X$	Valeurs obtenues
81-07-10	54,8 (10)	60 (10)	59 (10)
81-10-06	52,2 (9,5)	57 (9,5)	46 (9,5)
81-11-23	39,4 (7,1)	42,6 (7,1)	41 (7,1)
81-12-07	20,9 (3,6)	21,6 (3,6)	21 (3,6)

ANNEXE 5

RÉSULTATS DE DENSITOMÉTRIE PAR PEINTURE
MOYENNE DES TROIS ENDROITS POUR CHAQUE RELEVÉ

ANNEXE 5: Résultats de chaque peinture, à chaque endroit et pour 4 relevés, obtenus à l'aide du densitomètre et comparaison avec la moyenne des évaluations de 4 observateurs.

Peinture no B-182	Relevé du 81-07-10	Relevé du 81-10-06	Relevé du 81-11-20	Relevé du 81-12-07
Endroit 1	49	36	27	16
Endroit 2	57	47	46	45
Endroit 3	37	40	33	-
Moyenne des endroits	48	41	35	31
Moyenne selon les évaluateurs	10	9,5	6,8	4,1
Rapport entre les 2 moyennes	4,8	4,3	5,1	7,6

Peinture no B-187	Relevé du 81-07-10	Relevé du 81-10-06	Relevé du 81-11-20	Relevé du 81-12-07
Endroit 1	45	35	23	9
Endroit 2	20	47	47	48
Endroit 3	36	39	32	-
Moyenne des endroits	34	40	34	29
Moyenne selon les évaluateurs	10	9,5	7,4	4,2
Rapport entre les 2 moyennes	3,4	4,2	4,6	6,9

Peinture no B-188	Relevé du 81-07-10	Relevé du 81-10-06	Relevé du 81-11-20	Relevé du 81-12-07
Endroit 1	45	39	24	12
Endroit 2	47	50	53	52
Endroit 3	38	40	37	-
Moyenne des endroits	43	43	38	32
Moyenne selon les évaluateurs	10	9,6	8,2	5,1
Rapport entre les 2 moyennes	4,3	4,5	4,6	6,3

ANNEXE 5: Résultats de chaque peinture, à chaque endroit et pour 4 relevés, obtenus à l'aide du densitomètre et comparaison avec la moyenne des évaluations de 4 observateurs.

Peinture no B-186	Relevé du 81-07-10	Relevé du 81-10-06	Relevé du 81-11-20	Relevé du 81-12-07
Endroit 1	55	39	43	18
Endroit 2	44	46	45	51
Endroit 3	48	40	27	-
Moyenne des endroits	49	42	38	35
Moyenne selon les évaluateurs	10	9,5	7,8	5,5
Rapport entre les 2 moyennes	4,9	4,4	4,9	6,4

Peinture no B-183	Relevé du 81-07-10	Relevé du 81-10-06	Relevé du 81-11-20	Relevé du 81-12-07
Endroit 1	51	36	41	20
Endroit 2	46	49	46	52
Endroit 3	50	42	39	-
Moyenne des endroits	49	42	42	36
Moyenne selon les évaluateurs	10	9,5	7,8	5,7
Rapport entre les 2 moyennes	4,9	4,4	5,4	6,3

Peinture no B-184	Relevé du 81-07-10	Relevé du 81-10-06	Relevé du 81-11-20	Relevé du 81-12-07
Endroit 1	50	36	31	11
Endroit 2	45	50	44	40
Endroit 3	50	41	35	-
Moyenne des endroits	48	42	37	26
Moyenne selon les évaluateurs	9,9	9,3	6,3	3,7
Rapport entre les 2 moyennes	4,8	4,5	5,9	7,0

ANNEXE 5: Résultats de chaque peinture, à chaque endroit et pour 4 relevés, obtenus à l'aide du densitomètre et comparaison avec la moyenne des évaluations de 4 observateurs.

Peinture no B-189	Relevé du 81-07-10	Relevé du 81-10-06	Relevé du 81-11-20	Relevé du 81-12-07
Endroit 1	43	39	40	21
Endroit 2	45	52	48	51
Endroit 3	21	40	30	-
Moyenne des endroits	36	44	39	36
Moyenne selon les évaluateurs	10	9,6	8,2	5,1
Rapport entre les 2 moyennes	3,6	4,6	4,8	7,1

Peinture no B-185	Relevé du 81-07-10	Relevé du 81-10-06	Relevé du 81-11-20	Relevé du 81-12-07
Endroit 1	47	39	33	26
Endroit 2	55	56	49	51
Endroit 3	24	40	31	-
Moyenne des endroits	42	45	38	39
Moyenne selon les évaluateurs	10	9,5	7,2	5,0
Rapport entre les 2 moyennes	4,2	4,7	5,3	7,8

Peinture no B-181	Relevé du 81-07-10	Relevé du 81-10-06	Relevé du 81-11-20	Relevé du 81-12-07
Endroit 1	48	38	27	16
Endroit 2	55	51	36	41
Endroit 3	27	39	27	-
Moyenne des endroits	43	43	30	29
Moyenne selon les évaluateurs	10	9,4	6,4	3,2
Rapport entre les 2 moyennes	4,3	4,6	4,7	9,1

ANNEXE 5: Résultats de chaque peinture, à chaque endroit et pour 4 relevés, obtenus à l'aide du densitomètre et comparaison avec la moyenne des évaluations de 4 observateurs.

Peinture no B-190	Relevé du 81-07-10	Relevé du 81-10-06	Relevé du 81-11-20	Relevé du 81-12-07
Endroit 1	49	34	32	15
Endroit 2	50	45	57	53
Endroit 3	41	41	31	-
Moyenne des endroits	47	40	40	34
Moyenne selon les évaluateurs	9,9	9,5	7,9	5,6
Rapport entre les 2 moyennes	4,7	4,2	5,1	6,1

Peinture no B-191	Relevé du 81-07-10	Relevé du 81-10-06	Relevé du 81-11-20	Relevé du 81-12-07
Endroit 1	47	31	27	6
Endroit 2	50	33	49	41
Endroit 3	37	44	28	-
Moyenne des endroits	45	36	35	24
Moyenne selon les évaluateurs	9,90	9,38	7,34	4,54
Rapport entre les 2 moyennes	4,5	3,8	4,8	5,3

Peinture no B-192	Relevé du 81-07-10	Relevé du 81-10-06	Relevé du 81-11-20	Relevé du 81-12-07
Endroit 1	47	34	30	8
Endroit 2	52	34	56	50
Endroit 3	39	43	31	-
Moyenne des endroits	46	37	39	29
Moyenne selon les évaluateurs	9,93	9,93	7,68	5,14
Rapport entre les 2 moyennes	4,6	4,0	5,1	5,6

ANNEXE 5: Résultats de chaque peinture, à chaque endroit et pour 4 relevés, obtenus à l'aide du densitomètre et comparaison avec la moyenne des évaluations de 4 observateurs.

Peinture no B-193	Relevé du 81-07-10	Relevé du 81-10-06	Relevé du 81-11-20	Relevé du 81-12-07
Endroit 1	51	33	24	6
Endroit 2	54	32	50	45
Endroit 3	37	39	29	-
Moyenne des endroits	47	35	34	26
Moyenne selon les évaluateurs	9,92	9,38	6,93	4,58
Rapport entre les 2 moyennes	4,7	3,7	4,9	5,7

Peinture no B-194	Relevé du 81-07-10	Relevé du 81-10-06	Relevé du 81-11-20	Relevé du 81-12-07
Endroit 1	50	39	23	9
Endroit 2	50	35	51	52
Endroit 3	37	41	29	
Moyenne des endroits	46	38	34	31
Moyenne selon les évaluateurs	9,94	9,40	7,49	5,29
Rapport entre les 2 moyennes	4,6	4,0	4,5	5,9

Peinture no B-195	Relevé du 81-07-10	Relevé du 81-10-06	Relevé du 81-11-20	Relevé du 81-12-07
Endroit 1	47	37	26	12
Endroit 2	51	36	54	53
Endroit 3	26	42	33	-
Moyenne des endroits	41	38	38	33
Moyenne selon les évaluateurs	9,94	9,40	7,53	5,23
Rapport entre les 2 moyennes	4,1	4,0	5,0	6,3

ANNEXE 5: Résultats de chaque peinture, à chaque endroit et pour 4 relevés, obtenus à l'aide du densitomètre et comparaison avec la moyenne des évaluations de 4 observateurs.

Peinture no B-196	Relevé du 81-07-10	Relevé du 81-10-06	Relevé du 81-11-20	Relevé du 81-12-07
Endroit 1	43	32	25	9
Endroit 2	51	35	50	48
Endroit 3	24	47	26	-
Moyenne des endroits	39	38	34	29
Moyenne selon les évaluateurs	9,89	9,34	7,27	4,92
Rapport entre les 2 moyennes	3,9	4,1	4,7	5,9

Peinture no B-197	Relevé du 81-07-10	Relevé du 81-10-06	Relevé du 81-11-20	Relevé du 81-12-07
Endroit 1	50	39	31	17
Endroit 2	54	32	53	47
Endroit 3	25	47	31	-
Moyenne des endroits	43	39	38	21
Moyenne selon les évaluateurs	9,96	9,48	7,68	5,15
Rapport entre les 2 moyennes	4,3	4,1	4,9	4,1

Peinture no B-198	Relevé du 81-07-10	Relevé du 81-10-06	Relevé du 81-11-20	Relevé du 81-12-07
Endroit 1	49	39	29	15
Endroit 2	54	29	54	53
Endroit 3	27	46	31	-
Moyenne des endroits	43	38	38	34
Moyenne selon les évaluateurs	9,95	9,45	7,71	5,50
Rapport entre les 2 moyennes	4,3	4,0	4,9	6,2

ANNEXE 5: Résultats de chaque peinture, à chaque endroit et pour 4 relevés, obtenus à l'aide du densitomètre et comparaison avec la moyenne des évaluations de 4 observateurs.

Peinture no B-199	Relevé du 81-07-10	Relevé du 81-10-06	Relevé du 81-11-20	Relevé du 81-12-07
Endroit 1	47	40	16	12
Endroit 2	56	32	48	51
Endroit 3	26	49	38	-
Moyenne des endroits	43	40	34	32
Moyenne selon les évaluateurs	9,92	9,41	7,32	4,90
Rapport entre les 2 moyennes	4,3	4,3	4,6	6,5

Peinture no B-200	Relevé du 81-07-10	Relevé du 81-10-06	Relevé du 81-11-20	Relevé du 81-12-07
Endroit 1	48	40	18	9
Endroit 2	59	-	41	47
Endroit 3	25	50	40	-
Moyenne des endroits	44	45	33	28
Moyenne selon les évaluateurs	9,92	9,35	7,15	4,67
Rapport entre les 2 moyennes	4,4	4,8	4,6	6,0

Peinture no B-201	Relevé du 81-07-10	Relevé du 81-10-06	Relevé du 81-11-20	Relevé du 81-12-07
Endroit 1	35	40	20	17
Endroit 2	57	-	50	54
Endroit 3	24	50	44	-
Moyenne des endroits	39	45	38	36
Moyenne selon les évaluateurs	9,95	9,39	7,74	5,49
Rapport entre les 2 moyennes	3,9	4,8	4,9	6,6

ANNEXE 5: Résultats de chaque peinture, à chaque endroit et pour 4 relevés, obtenus à l'aide du densitomètre et comparaison avec la moyenne des évaluations de 4 observateurs.

Peinture no B-202	Relevé du 81-07-10	Relevé du 81-10-06	Relevé du 81-11-20	Relevé du 81-12-07
Endroit 1	34	39	12	19
Endroit 2	56	-	52	53
Endroit 3	22	37	44	-
Moyenne des endroits	37	38	36	36
Moyenne selon les évaluateurs	9,94	9,44	7,67	5,38
Rapport entre les 2 moyennes	3,7	4,0	4,7	6,7

Peinture no B-203	Relevé du 81-07-10	Relevé du 81-10-06	Relevé du 81-11-20	Relevé du 81-12-07
Endroit 1	34	44	11	18
Endroit 2	56	-	53	50
Endroit 3	59	36	43	-
Moyenne des endroits	50	40	36	34
Moyenne selon les évaluateurs	9,94	9,44	7,70	5,33
Rapport entre les 2 moyennes	5,0	4,2	4,7	6,4

Peinture no B-204	Relevé du 81-07-10	Relevé du 81-10-06	Relevé du 81-11-20	Relevé du 81-12-07
Endroit 1	30	45	11	19
Endroit 2	55	-	57	54
Endroit 3	56	35	42	-
Moyenne des endroits	47	40	37	37
Moyenne selon les évaluateurs	9,96	9,48	7,73	5,23
Rapport entre les 2 moyennes	4,7	4,2	4,8	7,1

ANNEXE 5: Résultats de chaque peinture, à chaque endroit et pour 4 relevés, obtenus à l'aide du densitomètre et comparaison avec la moyenne des évaluations de 4 observateurs.

Peinture no J-812	Relevé du 81-07-10	Relevé du 81-10-06	Relevé du 81-11-20	Relevé du 81-12-07
Endroit 1	43	37	11	3
Endroit 2	48	36	40	41
Endroit 3	11	36	21	-
Moyenne des endroits	34	36	24	22
Moyenne selon les évaluateurs	10	9,4	7,9	5,6
Rapport entre les 2 moyennes	3,4	3,8	3,0	3,9

Peinture no J-816	Relevé du 81-07-10	Relevé du 81-10-06	Relevé du 81-11-20	Relevé du 81-12-07
Endroit 1	39	32	16	9
Endroit 2	42	31	40	42
Endroit 3	9	33	20	-
Moyenne des endroits	30	32	25	26
Moyenne selon les évaluateurs	10	9,5	8,2	6,3
Rapport entre les 2 moyennes	3,0	3,4	3,0	4,1

Peinture no J-811	Relevé du 81-07-10	Relevé du 81-10-06	Relevé du 81-11-20	Relevé du 81-12-07
Endroit 1	36	29	16	9
Endroit 2	42	35	45	46
Endroit 3	20	34	21	-
Moyenne des endroits	33	33	27	28
Moyenne selon les évaluateurs	10	9,5	8,1	6,4
Rapport entre les 2 moyennes	3,3	3,5	3,3	4,4

ANNEXE 5: Résultats de chaque peinture, à chaque endroit et pour 4 relevés, obtenus à l'aide du densitomètre et comparaison avec la moyenne des évaluations de 4 observateurs.

Peinture no J-815	Relevé du 81-07-10	Relevé du 81-10-06	Relevé du 81-11-20	Relevé du 81-12-07
Endroit 1	37	33	13	12
Endroit 2	39	23	40	38
Endroit 3	28	39	20	-
Moyenne des endroits	35	32	24	25
Moyenne selon les évaluateurs	10	9,5	8,0	5,5
Rapport entre les 2 moyennes	3,5	3,4	3,0	4,5

Peinture no J-814	Relevé du 81-07-10	Relevé du 81-10-06	Relevé du 81-11-20	Relevé du 81-12-07
Endroit 1	37	36	9	7
Endroit 2	36	22	41	36
Endroit 3	23	37	18	-
Moyenne des endroits	32	32	23	22
Moyenne selon les évaluateurs	10	9,5	7,7	5,4
Rapport entre les 2 moyennes	3,2	3,4	3,0	4,1

Peinture no J-813	Relevé du 81-07-10	Relevé du 81-10-06	Relevé du 81-11-20	Relevé du 81-12-07
Endroit 1	41	35	12	9
Endroit 2	36	24	45	38
Endroit 3	27	38	18	-
Moyenne des endroits	35	32	25	24
Moyenne selon les évaluateurs	10	9,5	7,8	5,5
Rapport entre les 2 moyennes	3,5	3,4	3,2	4,4

ANNEXE 5: Résultats de chaque peinture, à chaque endroit et pour 4 relevés, obtenus à l'aide du densitomètre et comparaison avec la moyenne des évaluations de 4 observateurs.

Peinture no J-818	Relevé du 81-07-10	Relevé du 81-10-06	Relevé du 81-11-20	Relevé du 81-12-07
Endroit 1	38	34	11	7
Endroit 2	41	41	28	27
Endroit 3	30	36	12	-
Moyenne des endroits	36	37	17	17
Moyenne selon les évaluateurs	10	9,4	6,9	4,4
Rapport entre les 2 moyennes	3,6	3,9	2,5	3,9

Peinture no J-819	Relevé du 81-07-10	Relevé du 81-10-06	Relevé du 81-11-20	Relevé du 81-12-07
Endroit 1	34	30	8	3
Endroit 2	40	39	34	36
Endroit 3	32	36	14	-
Moyenne des endroits	35	35	19	20
Moyenne selon les évaluateurs	10	9,5	7,6	4,6
Rapport entre les 2 moyennes	3,5	3,7	2,5	4,3

Peinture no J-817	Relevé du 81-07-10	Relevé du 81-10-06	Relevé du 81-11-20	Relevé du 81-12-07
Endroit 1	36	32	10	5
Endroit 2	43	44	42	32
Endroit 3	9	38	17	-
Moyenne des endroits	29	38	23	19
Moyenne selon les évaluateurs	10	9,5	7,2	4,5
Rapport entre les 2 moyennes	2,9	4,0	3,2	4,2

ANNEXE 5: Résultats de chaque peinture, à chaque endroit et pour 4 relevés, obtenus à l'aide du densitomètre et comparaison avec la moyenne des évaluations de 4 observateurs.

Peinture no J-820	Relevé du 81-07-10	Relevé du 81-10-06	Relevé du 81-11-20	Relevé du 81-12-07
Endroit 1				
Endroit 2	43	37	40	41
Endroit 3	27	29	15	-
Moyenne des endroits	35	33	28	41
Moyenne selon les évaluateurs	9,9	9,6	8,2	5,7
Rapport entre les 2 moyennes	3,5	3,4	3,4	7,2

Peinture no J-821	Relevé du 81-07-10	Relevé du 81-10-06	Relevé du 81-11-20	Relevé du 81-12-07
Endroit 1				
Endroit 2	40	38	40	38
Endroit 3	28	29	15	-
Moyenne des endroits	34	34	28	38
Moyenne selon les évaluateurs	10	9,6	8,3	5,9
Rapport entre les 2 moyennes	3,4	3,5	3,4	6,4

Peinture no	Relevé du 81-07-10	Relevé du 81-10-06	Relevé du 81-11-20	Relevé du 81-12-07
Endroit 1				
Endroit 2				
Endroit 3				
Moyenne des endroits				
Moyenne selon les évaluateurs				
Rapport entre les 2 moyennes				

ETUDE SUR LES MICROBILLES

DE VERRE

EXPERIENCE DE 1982

Avril 1983

Jean David, stat.
Service de la statistique
Ministère des Transports

PLAN DU RAPPORT

1- Principales constatations

2- Introduction

3- Analyse des résultats:

a) Description de l'expérience.

b) Analyse des résultats en termes des effets sur chacun des facteurs de performance et principalement pour la visibilité de nuit.

c) Analyse des effets sur le WT.

4. Conclusion

Annexe 1: Résultats des tests sur les microbilles de verre.

Annexe 2: Résultats moyens de chaque évaluation lors des tests sur les microbilles de verre - Représentation graphique.

1- PRINCIPALES CONSTATATIONS

1. Les facteurs "apparence" et "durabilité" sont très peu affectés par la quantité de microbilles contenues dans la peinture.
2. En ce qui concerne la visibilité de nuit, la performance diminue de façon significative, mais dans une proportion moindre, avec la diminution de la quantité de microbilles. Toutefois, les quantités quatre et cinq livres obtiennent des résultats équivalents.
3. Par contre, la période de temps avant d'atteindre la valeur 4, valeur qui indique un facteur de performance trop faible, est significativement plus élevée pour les peintures avec quatre ou cinq livres que pour celles avec six livres de microbilles.
4. La constatation 3 indiquerait donc qu'à partir d'une certaine quantité de microbilles, lorsque des billes commencent à s'arracher de façon importante, l'apparence, la durabilité et la visibilité de nuit se détériorent plus rapidement avec six livres qu'avec quatre ou cinq livres. Cela pourrait indiquer un surdosage avec six livres.
5. Sans microbilles de verre, la peinture n'est même pas suffisamment réfléchissante pour atteindre la valeur 4 au moment de son application ou peu après.

2- INTRODUCTION

Les microbilles de verre sont utilisées pour améliorer les qualités réfléchissantes de la peinture et ainsi augmenter la visibilité de nuit des peintures pour le marquage des chaussées. Elles sont projetées directement sur le film de peinture qui vient d'être déposé sur la chaussée et il est bien évident qu'une partie non négligeable des billes n'adhère pas à la peinture à cause de leur élasticité ou encore parce que le film de peinture ne peut les retenir. Jusqu'à maintenant, on a utilisé six livres de microbilles de verre par gallon de peinture pour un rendement satisfaisant. Cependant, on se demande si cette quantité ne pourrait pas être réduite, car cela représente des coûts assez importants. On pourrait certainement songer à déterminer la quantité de billes qui sont perdues au moment de la pose et en améliorant la façon de procéder lors du marquage des chaussées, on pourrait alors diminuer la quantité de billes, puisque l'on en perdrait moins. D'autre part, on peut également se demander si dans les conditions actuelles, il n'y a pas du surdosage. En 1981, on a effectué une première expérience avec quatre livres de microbilles de verre par gallon. On a alors observé que le facteur "visibilité de nuit" a diminué d'environ 11%, alors que le nombre de jour avant d'atteindre la valeur 4 n'a été réduit que d'un seul. Suite à cette mini-expérience, on décida de procéder à une nouvelle expérience en 1982 avec différentes quantités de microbilles de verre. Le présent rapport a pour but essentiel de relater ce qui a pu alors être observé.

3- ANALYSE DES VEHICULES

a) Description de l'expérience

Le but premier de l'expérience de 1982 était de déterminer le plus précisément possible quel serait l'effet sur le facteur "visibilité de nuit" et sur le WT de l'utilisation de différentes quantités de microbilles de verre dans la peinture. Les quantités retenues furent 2, 3, 4, 5 et 6 livres de microbilles par gallon de peinture. Pour chacune de ces quantités, on a tracé cinq séries de trois bandes et chaque série de bandes fut évalué distinctement et indépendamment. A cela, on ajouta cinq autres séries de trois bandes avec la même peinture, mais cette fois, sans microbilles de verre. La peinture utilisée fut la peinture qui servit au marquage des chaussées en 1981. Les essais eurent lieu sur un seul site, soit sur la route 20, à Saint-Romuald, direction est, sur la voie de droite. Ils eurent lieu en même temps que les tests réguliers et quatre évaluations furent faites pour chacun des facteurs de performance, soit aux dates suivantes:

Evaluation 1: le 31 août, 43 jours après l'application
Evaluation 2: le 6 octobre, 36 jours plus tard
Evaluation 3: le 9 novembre, 34 jours après la 2e évaluation
Evaluation 4: le 7 décembre, 28 jours après la 3e évaluation ou
141 jours après l'application.

Lors de la dernière évaluation, le facteur "visibilité de nuit" était encore supérieur à la valeur 4, pour les peintures ayant plus de quatre livres de microbilles. Pour évaluer le facteur WT, on a dû procéder par extrapolation au lieu d'interpolation, comme on doit normalement le faire.

En annexe 1, les résultats moyens pour les cinq séries de bandes sont donnés pour chacune des quantités de microbilles de verre, chaque facteur de performance et chaque évaluation. On y retrouve également un W,T et WT moyen. Pour la quantité 0 livre de microbille, le facteur "visibilité de nuit", le W,T et WT n'ont pas été calculés, car la peinture par elle-même n'assure pas d'obtenir une valeur 4 à l'aide du rétro-réfectomètre Ecolux pour le facteur "visibilité de nuit", et

cela, dès l'application. Cette première constatation, déjà connue d'ailleurs, montre l'importance des microbilles de verre.

b) Analyse des résultats

TABLEAU 1

Valeur moyenne de chacun des facteurs
de performance selon la quantité de microbilles
Expérience de 1982

Livres par gallon de peinture	APPARENCE		DURABILITÉ		VISIBILITE DE NUIT	
	Valeur	%	Valeur	%	Valeur	%
0	8,08	96,1	7,86	91,1	-	-
2	8,27	98,3	8,38	97,1	4,61	58,8
3	8,27	98,3	8,34	96,6	5,15	65,7
4	8,26	98,2	8,48	98,3	6,19	79,0
5	8,25	98,1	8,39	97,2	6,42	81,9
6	8,41	100%	8,63	100%	7,84	100%

Note: Les pourcentages expriment les valeurs relatives de chaque facteur de performance par rapport à la valeur du même facteur avec six livres de microbilles, la quantité reconnue jusqu'à maintenant.

Ainsi, il ressort assez clairement de ce tableau 1 que les facteurs "apparence" et "durabilité" ne sont que très peu affectés par la quantité de microbilles que l'on retrouve dans la peinture. Par contre, le facteur "visibilité de nuit" est beaucoup plus affecté. En consultant les graphiques de l'annexe 2, on peut se rendre compte que pour les trois premières évaluations, les facteurs "apparence" et "durabilité" sont presque identiques quelle que soit la quantité de microbilles. Par contre, à la quatrième évaluation, la peinture avec six livres de microbilles semblent se détériorer beaucoup plus rapidement que pour les autres quantités de microbilles. Se pourrait-il que les microbilles causent cette détérioration plus accentuée? Cela est possible surtout si effectivement il y aurait surdosage. On notera ici que nous n'avons pas considéré le cas avec aucune microbille. Quant à la visibilité de nuit, le portrait est très différent des deux autres facteurs, à l'exception du fait que les peintures avec quatre et cinq livres de microbilles semblent vouloir atteindre la valeur 4 plus tard que celle avec six livres de microbilles. D'ailleurs, on peut démontrer que, statistiquement parlant, le résultat avec cinq livres de microbilles est supérieur à celui de six livres pour cette quatrième évaluation, ce qui est un résultat différent des trois premières évaluations où c'est la situation inverse qui prévaut. Pour les quatre évaluations, les résultats suivants sont valables:

- les valeurs pour quatre et cinq livres sont équivalentes;
- les valeurs décroissent de façon significative avec la diminution de la quantité de billes, sauf pour les cas précédents.

Le tableau 2 donne les résultats comparatifs de chacune des évaluations et selon les quantités de microbilles pour la visibilité de nuit. Nos observations relativement à la quatrième évaluation, à l'effet que la valeur avec cinq livres de microbilles est supérieure à celle de six livres, conduisent tout naturellement à affirmer que le nombre de jours avant d'atteindre la valeur 4 sera significativement plus élevé que dans le cas des six livres. Si à ces affirmations, nous ajoutons le fait que le facteur "apparence" et "durabilité" obtienne de moins bonnes valeurs avec six livres de microbilles, nous avons en quelque sorte une certaine

TABLEAU 2

Résultats moyens de chacune des évaluations de la
visibilité de nuit selon les quantités de microbilles de verre
Expérience 1982

Livres de microbilles de verre par gallon	Évaluation				Nombre de jours avant d'atteindre la valeur «4»
	1	2	3	4	
2	5,04	4,70	4,02	3,82	115
3	6,01	5,46	4,48	3,88	134
4	7,71	7,06	5,44	4,26	151
5	8,13	7,28	5,72	4,46	152
6	9,61	9,08	7,48	4,18	143

anomalie, car sur l'ensemble de la période avant d'atteindre la valeur 4, les peintures avec six livres de microbilles dépassent de près de 20% les valeurs obtenues avec quatre et cinq livres. La clé de la réponse se situerait donc au niveau de la durée de la période: les peintures avec six livres de microbilles sont meilleures que les autres, mais pour moins longtemps. Il faut donc en arriver à la conclusion qu'à partir du moment où les billes commencent à s'arracher, les marques sur la chaussée se détériorent plus rapidement et cela se manifeste pour les trois facteurs de performance.

Ce qui affaiblit quelque peu les conclusions précédentes, c'est le fait que les écarts observés entre les séries de bandes avec la même quantité de microbilles augmentent lorsque la quantité de microbilles diminue. L'écart-type et la variance témoignent de ce fait, comme en fait foi le tableau 3.

TABLEAU 3

Nombre moyen de jours avant d'atteindre
la valeur 4, écart-type et variance selon la
quantité de microbilles

Livres de microbilles par gallon	Nombre de jours avant d'atteindre la valeur «4»	Ecart-type	Variance
2	115	12	144
3	134	10	100
4	151	9	81
5	152	6	36
6	143	1	1

Cela indique que d'une série de trois bandes à un autre, les variations sont de plus en plus importantes à mesure que la quantité de microbilles diminue. Ainsi, la détérioration des peintures ne se fait pas de façon aussi uniforme avec moins de microbilles qu'avec plus de microbilles. Avec moins de microbilles, certains secteurs pourraient se détériorer plus rapidement que d'autres, alors qu'avec six livres, la peinture durerait en moyenne moins longtemps, mais d'un secteur à l'autre, cela se ferait de façon plus uniforme. C'est là un aspect qu'il ne faut pas négliger.

c) Analyse des valeurs du WT

Nous allons maintenant nous attarder de façon moins précise à chacun des facteurs de performance et considérer l'ensemble, c'est-à-dire le WT selon la quantité de microbilles.

TABLEAU 4

Valeur du W, T et WT selon la quantité
de microbilles de verre
Expérience 1982

Livres de microbilles de verre par gallon	W		T		WT	
	Valeur	%	Valeur	%	Valeur	%
2	6,49	79,0	115	80,4	749,43	64,0
3	6,74	82,1	134	93,7	904,44	77,3
4	7,31	89,0	151	105,6	1100,53	94,0
5	7,39	90,0	152	106,3	1126,10	96,2
6	8,21	100%	143	100%	1170,59	100%

On remarque, en premier lieu, que le WT pour les peintures avec quatre et cinq livres de microbilles n'est que légèrement inférieur à celui des peintures avec six livres de microbilles. Toutefois, la différence est significative. Si on ne considère que le W, les résultats sont les mêmes, mais de façon plus accentuée. De quatre à trois livres, la différence est plus marquée pour le WT que pour le W; les différences sont également significatives dans les deux cas. Il en va ainsi de trois à deux. Par conséquent, on peut affirmer que pour quatre et cinq livres,

les résultats sont équivalents, alors que dans tous les autres cas, la différence est significative. Dans la diminution de six à cinq, l'écart est moins important pour le WT à cause de l'écart positif pour le temps T qui nous vient du facteur "visibilité de nuit", car il est bien évident qu'autrement l'écart aurait été plus important. D'autre part, l'écart qui existe entre les peintures contenant les mêmes quantités de microbilles augmente avec la diminution de microbilles, comme nous l'avions déjà remarqué pour le temps T. Voici d'ailleurs, à cet effet, le tableau 5:

TABLEAU 5

Valeur du WT, de l'écart-type et de la
variance selon la quantité de microbilles de verre

Livres de microbilles de verre par gallon de peinture	WT	ECART-TYPE	VARIANCE
2	749,43	82,94	6879,04
3	904,44	82,07	6735,48
4	1100,53	38,36	1471,49
5	1126,10	32,71	1069,94
6	1170,59	13,32	177,42

4- CONCLUSION

Il ressort principalement de cette étude que les peintures avec six livres de microbilles de verre par gallon de peinture sont sans doute significativement plus réfléchissantes que celles avec moins de microbilles. La relation n'est cependant pas proportionnelle. En effet, on peut enlever une quantité plus importante de microbilles pour une moindre diminution de la visibilité de nuit. Ainsi, en particulier, les quantités de quatre et cinq livres de microbilles donnent des résultats équivalents entre eux, bien qu'inférieurs à ceux obtenus avec six livres.

D'autre part, il y a également une deuxième conclusion qui me semble très intéressante, soit le nombre de jours avant d'atteindre la valeur 4 qui est significativement plus élevé avec quatre ou cinq livres qu'avec six livres. Cela semblerait indiquer qu'à partir d'un certain moment, l'usure se manifesterait de façon beaucoup plus rapide avec six livres qu'avec quatre ou cinq livres. En d'autres termes, les peintures avec six livres sont plus réfléchissantes, mais moins longtemps. Il faut également noter que les résultats obtenus sont beaucoup plus stables avec six livres de microbilles qu'avec tout autre quantité. Cela veut dire que d'une série de bandes à l'autre, pour une même quantité de microbilles, les résultats sont plus stables. Ainsi, avec quatre ou cinq livres, les peintures dureraient en moyenne plus longtemps, mais pour des résultats individuels, c'est-à-dire d'un endroit à un autre, il y aurait de plus grandes variations, des écarts plus prononcés entre le temps le plus court et le plus long. Il y a là, sans aucun doute, un élément à considérer.

En guise de conclusion, on peut donc affirmer que l'expérience effectuée apporte un éclairage assez complet sur le phénomène. Toutefois, les conclusions ne sont pas nécessairement très claires. On peut donc en discuter et, dépendamment de ce que l'on désire, on prendra une décision ou une autre, car comme nous l'avons déjà dit, les peintures avec six livres de microbilles sont plus visibles que les autres, mais elles sont visibles moins longtemps.

ANNEXE I

RESULTATS DES TESTS SUR
LES MICROBILLES DE VERRE

LISTE DES TABLEAUX

- TABLEAU 1,1 Résultats moyens de chacun des facteurs de performance pour cinq séries de trois bandes avec environ six livres de microbilles de verre par gallon de peinture. Expérience de 1982.
- TABLEAU 1,2 Résultats moyens de chacun des facteurs de performance pour cinq séries de trois bandes avec environ cinq livres de microbilles de verre par gallon de peinture. Expérience de 1982.
- TABLEAU 1,3 Résultats moyens de chacun des facteurs de performance pour cinq séries de trois bandes avec environ quatre livres de microbilles de verre par gallon de peinture. Expérience de 1982.
- TABLEAU 1,4 Résultats moyens de chacun des facteurs de performance pour cinq séries de trois bandes avec environ trois livres de microbilles de verre par gallon de peinture. Expérience de 1982.
- TABLEAU 1,5 Résultats moyens de chacun des facteurs de performance pour cinq séries de trois bandes avec environ deux livres de microbilles de verre par gallon de peinture. Expérience de 1982.
- TABLEAU 1,6 Résultats moyens de chacun des facteurs de performance pour cinq séries de trois bandes sans microbilles de verre dans la peinture. Expérience de 1982.

TABLEAU 1.1

Résultats moyens de chacun des facteurs de performance pour
cinq séries de trois bandes avec environ
six livres de microbilles de verre par gallon de peinture

Expérience de 1982

FACTEUR DE PERFORMANCE	EVALUATION				TEMPS CUMULATIF AVANT D'ATTEINDRE LA VALEUR «4»	VALEUR MOYENNE DU FACTEUR DE PERFORMANCE, Rx
	1	2	3	4		
Apparence	9,83	9,49	9,11	4,62	145	8,41
Durabilité	9,98	9,95	9,36	4,62	145	8,63
Visibilité	9,61	9,08	7,48	4,18	143	7,84
W = 8,21		T = 143			WT = 1170,59	

TABLEAU 1,2

Résultats moyens de chacun des facteurs de performance pour
cinq séries de trois bandes avec environ
cinq livres de microbilles de verre par gallon de peinture

Expérience de 1982

FACTEUR DE PERFORMANCE	EVALUATION				TEMPS CUMULATIF AVANT D'ATTEINDRE LA VALEUR «4»	VALEUR MOYENNE DU FACTEUR DE PERFORMANCE, R _x
	1	2	3	4		
Apparence	9,82	9,64	9,20	6,30	164	8,25
Durabilité	9,97	9,90	9,29	6,30	162	8,39
Visibilité	8,13	7,28	5,72	4,46	152	6,42
W = 7,39		T = 152			WT = 1126,10	

Résultats moyens de chacun des facteurs de performance pour cinq séries de trois bandes avec environ quatre livres de microbilles de verre par gallon de peinture

FACTEUR DE PERFORMANCE	EVALUATION				TEMPS CUMULATIF AVANT D'ATTEINDRE LA VALEUR «4»	VALEUR MOYENNE DU FACTEUR DE PERFORMANCE, Rx
	1	2	3	4		
Apparence	9,83	9,62	9,18	6,25	163	8,26
Durabilité	9,99	9,95	9,43	6,26	161	8,48
Visibilité	7,71	7,06	5,44	4,26	151	6,19
W = 7,31		T = 151			WT = 1100,53	

Résultats moyens de chacun des facteurs de performance pour
cinq séries de trois bandes avec environ
trois livres de microbilles de verre par gallon de peinture

FACTEUR DE PERFORMANCE	EVALUATION				TEMPS CUMULATIF AVANT D'ATTEINDRE LA VALEUR «4»	VALEUR MOYENNE DU FACTEUR DE PERFORMANCE, Rx
	1	2	3	4		
Apparence	9,83	9,65	9,26	6,31	163	8,27
Durabilité	9,93	9,85	9,27	6,31	163	8,34
Visibilité	6,01	5,46	4,48	3,88	134	5,15
W = 6,74 T = 134 WT = 904,44						

TABLEAU 1.5

Résultats moyens de chacun des facteurs de performance pour
cinq séries de trois bandes avec environ
deux livres de microbilles de verre par gallon de peinture

Expérience de 1982

FACTEUR DE PERFORMANCE	EVALUATION				TEMPS CUMULATIF AVANT D'ATTEINDRE LA VALEUR «4»	VALEUR MOYENNE DU FACTEUR DE PERFORMANCE, Rx
	1	2	3	4		
Apparence	9,82	9,67	9,17	6,26	162	8,27
Durabilité	9,99	9,92	9,21	6,26	162	8,38
Visibilité	5,04	4,70	4,02	3,82	115	4,61
W = 6,49		T = 115			WT = 749,43	

TABLEAU 1.6

Résultats moyens de chacun des facteurs de performance pour
cinq séries de trois bandes sans microbilles
de verre dans la peinture

Expérience de 1982

FACTEUR DE PERFORMANCE	EVALUATION				TEMPS CUMULATIF AVANT D'ATTEINDRE LA VALEUR «4»	VALEUR MOYENNE DU FACTEUR DE PERFORMANCE, Rx
	1	2	3	4		
Apparence	9,90	9,49	8,74	6,26	166	8,08
Durabilité	9,69	9,11	8,58	6,26	168	7,86
Visibilité	2,81	2,70	2,92	3,14	-	-
W = -- T = -- WT = --						

ANNEXE 2

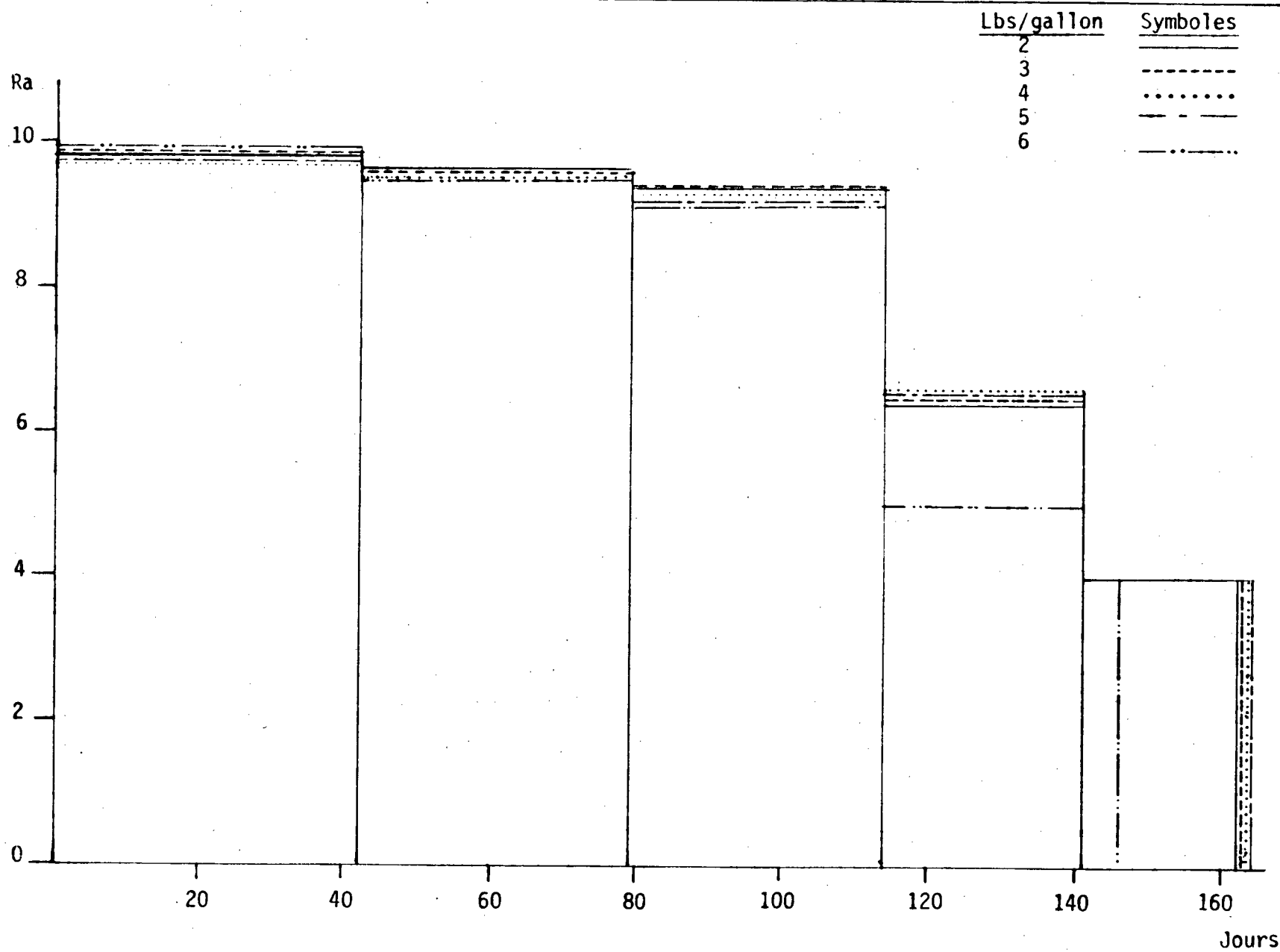
RÉSULTATS MOYENS DE CHAQUE ÉVALUATION
LORS DES TESTS SUR LES MICROBILLES DE VERRE

LISTE DES GRAPHIQUES

- GRAPHIQUE 2,1 Résultats moyens de chaque évaluation du facteur "apparence" selon la quantité de microbilles de verre. Expérience de 1982.
- GRAPHIQUE 2,2 Résultats moyens de chaque évaluation du facteur "durabilité" selon la quantité de microbilles de verre. Expérience de 1982.
- GRAPHIQUE 2,3 Résultats moyens de chaque évaluation du facteur "visibilité de nuit" selon la quantité de microbilles de verre. Expérience de 1982.

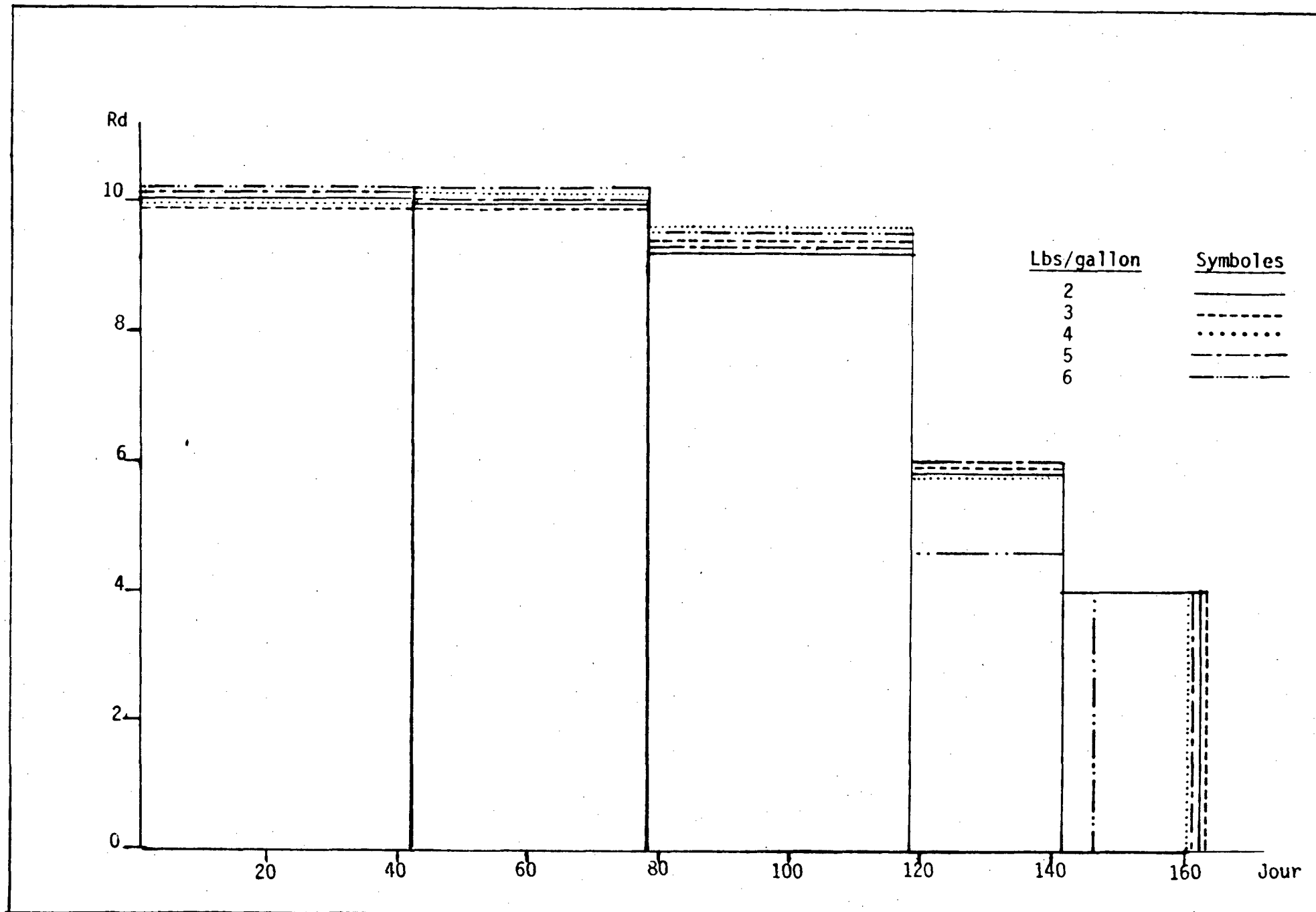
GRAPHIQUE 2,1

RÉSULTATS MOYENS DE CHAQUE ÉVALUATION AU FACTEUR "APPARENCE"
SELON LA QUANTITÉ DE MICROBILLES DE VERRE. EXPÉRIENCE DE 1982



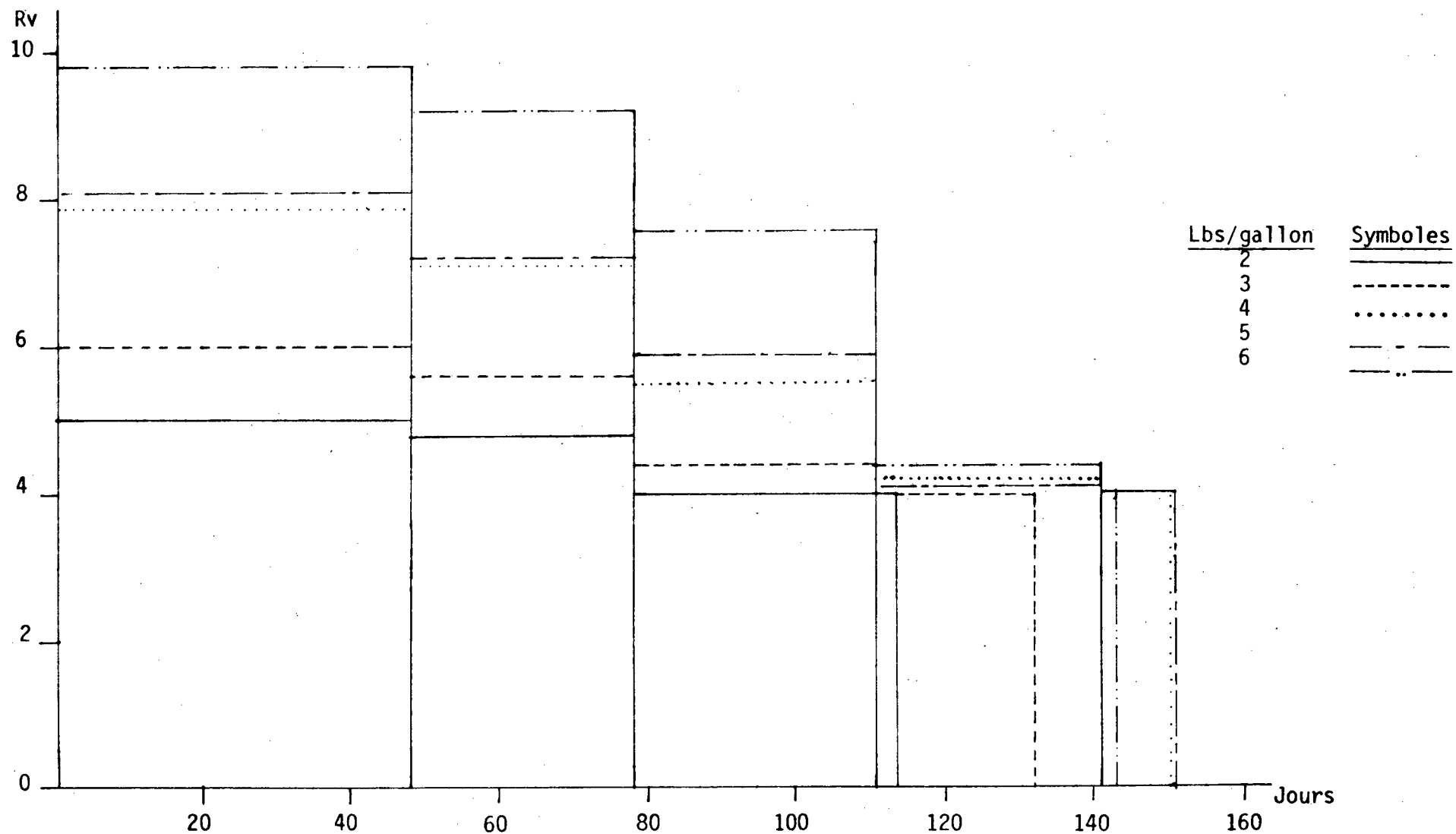
GRAPHIQUE 2,2

RÉSULTATS MOYENS DE CHAQUE EVALUATION DU FACTEUR "DURABILITÉ"
 SELON LA QUANTITÉ DE MICROBILLES DE VERRE - EXPÉRIENCE 1982



GRAPHIQUE 2,3

RÉSULTATS MOYENS DE CHAQUE ÉVALUATION DU FACTEUR "VISIBILITÉ DE NUIT"
SELON LA QUANTITÉ DE MICROBILLES DE VERRE - EXPÉRIENCE DE 1982



ÉTUDE SUR DIVERS TYPES DE

MICROBILLES DE VERRE

Janvier 1984

JEAN DAVID
Service de la statistique

TABLE DES MATIÈRES

	PAGE
INTRODUCTION	1
DESCRIPTION DE L'EXPÉRIENCE	1
ANALYSE DES RÉSULTATS	3
CONCLUSION	4
ANNEXE: RÉSULTATS DÉTAILLÉS	5

INTRODUCTION

L'été dernier, lors d'une rencontre avec des gens de la compagnie Potters Industries, fournisseur du ministère des Transports du Québec en microbilles de verre, il avait été décidé de faire une petite expérience avec des microbilles de verre de divers types, dans le but de déterminer avec quels types de microbilles la peinture donnait la meilleure performance.

Nous allons maintenant décrire cette expérience et en analyser les principaux résultats.

DESCRIPTION DE L'EXPÉRIENCE

Nous décrirons, en premier lieu, les types de microbilles de verre utilisées et, par la suite, nous ferons certaines remarques générales.

Quatre types de microbilles ont été listés et comparés avec le type "standard", c'est-à-dire "hydrofugées". Voici ces quatre types:

1. "Floating" (6 lbs/g)
2. "Silane" (6 lbs/g)
3. "Floating" (3 lbs/g) et "Silane" (3 lbs/g)
4. "Premix" (3,5 lbs/g) et "Standard" (2,5 lbs/g)

Le type "floating" correspond à des billes recouvertes d'une substance de telle sorte que la microbille s'enfonce dans la peinture d'environ 50% de sa taille et surtout que cette bille "baisse" avec la peinture lorsque celle-ci s'assèche, contrairement à ce que font les billes hydrofugées, s'élevant au-dessus de la peinture pendant le séchage. En deuxième lieu, le type "silane" correspond à des billes recouvertes d'un agent qui

réagit avec la peinture et a pour effet d'ancrer la bille dans la peinture. Ainsi, au départ, la visibilité de nuit serait moins bonne, mais comme la bille est bien ancrée dans la peinture, la visibilité de nuit serait meilleure à plus long terme. Le type no. 3 est un mélange des deux premiers types et devrait donner les meilleurs résultats. Quant au type no. 4, il correspond à des microbilles de type "standard" mélangées à la peinture avant la pose. Au moment de la pose, on saupoudre la peinture fraîche de microbilles du type "hydrofuge" pour donner une bonne visibilité de nuit car, autrement, toutes les billes seraient recouvertes de peinture.

On notera, en premier lieu, que pour ce mélange "premix-standard", il a été impossible de mesurer avec exactitude l'épaisseur du feuil frais de peinture. On n'a donc pas pu être assuré qu'il avait bien $15 \pm 0,5$ mils d'épaisseur, comme pour les autres types de microbilles. Notons que la peinture utilisée fut la peinture blanche retenue en 1983 pour le marquage des routes. Remarquons, en second lieu, que pour chaque type de microbilles, cinq séries de trois bandes ont été appliquées sur la route 20 à Saint-Romuald, le 23 août 1983. Il s'agit là évidemment d'une date plutôt tardive pour effectuer de tels essais. Par conséquent, les résultats ne doivent être considérés que de façon très relative. Finalement, on notera que les évaluations pour cette expérience ont eu lieu au même moment que pour les tests habituels de performance et cela, à compter du 23 août.

En tenant compte de ces remarques, nous allons donc analyser les résultats en comparant ces quatre types de microbilles avec le type standard.

ANALYSE DES RÉSULTATS

Notre analyse se fera en deux étapes. En premier lieu, nous comparerons les facteurs de performance (Ra, Rd, Rv et WT) de chacun des types avec le type standard. En second lieu, nous regarderons la courbe de dégradation des peintures.

En annexe, au tableau 1, on trouve de façon détaillée chacun des résultats obtenus. Il faut remarquer qu'il s'agit là de résultats moyens et que de ce fait, il comporte des erreurs. En regard du WT, le mélange "floating-silane" obtient un résultat significativement supérieur au type "silane", au type "standard" et au type "premix-standard". D'autre part, en regard de chacun des facteurs de performance, il est supérieur au type "standard", bien que devancé de façon significative par le type "premix-standard" pour l'apparence. Cependant, le type "premix-standard" est significativement inférieur à tous les autres pour la visibilité de nuit et également pour le WT. Il a cependant une bonne durabilité. On notera que le type "floating" ne se démarque pas de façon significative du type "standard".

Cette analyse comparative donne des résultats valables même si l'expérience a été faite à une date assez tardive en nous indiquant certaines tendances, la principale étant que le type "floating-silane" serait le plus intéressant. D'autre part, si on veut savoir de combien il est supérieur au type "standard", on peut noter:

- il est de 1,1% supérieur au point de vue de l'apparence;
- il est de 1,0% supérieur au point de vue de la durabilité;
- il est de 5,9% supérieur au point de vue de la visibilité de nuit;
- il est de 6,9% supérieur en termes du WT.

Cependant, ces pourcentages doivent être utilisés avec précaution puisque l'expérience a été faite de façon tardive et que le nombre d'essais (5) est assez restreint.

En second lieu, nous pouvons jeter un coup d'oeil à l'évolution des facteurs de performance dans le temps pour chacun des types de microbilles. Les tableaux 2, 3 et 4 de l'annexe montrent assez bien cette évolution. Ainsi, au point de vue de l'apparence, le mélange "floating-silane" est, au départ, plus faible que le type "standard". Toutefois, il le rejoint assez rapidement et demeure meilleur par la suite. Ce même mélange a une durabilité comparable au type "standard" au départ et le dépasse vers la fin. Au tableau 4, on observera que pour la visibilité de nuit, le type "silane" et le mélange "floating-silane" donnent de bons résultats.

CONCLUSION

Il apparaît donc que même si l'expérience fut commencée à une date assez tardive, les résultats indiquent clairement que le mélange "floating-silane" donne des résultats très intéressants. Il faudrait cependant remarquer que cette analyse comparative ne tient pas compte des coûts des divers types de microbilles et qu'une analyse complète devrait tenir compte de cet aspect.

ANNEXE

RÉSULTATS DÉTAILLÉS

TABLEAU 1

Résultats moyens des facteurs de performance selon
le type de microbilles utilisés
Expérience spéciale de 1983

TYPE DE MICROBILLES	APPARENCE		DURABILITÉ		VISIBILITÉ NUIT		WT	
	MOY.	ÉCART-TYPE	MOY.	ÉCART-TYPE	MOY.	ÉCART-TYPE	MOY.	ÉCART-TYPE
Floating	8,51	0,03	8,72	0,03	8,06	0,54	873,75	36,30
Silane	8,35	0,09	8,59	0,06	8,69	0,08	879,20	5,49
Floating + silane	8,54	0,04	8,82	0,06	8,65	0,07	902,56	12,70
Standard	8,45	0,03	8,73	0,03	8,17	0,09	844,01	23,51
Premix + standard	8,72	0,09	8,82	0,06	5,92	0,49	691,50	15,53

TABLEAU 2

Évaluations moyennes de l'apparence après un certain nombre
de jours selon le type de microbilles
Expérience spéciale de 1983

TYPE DE MICROBILLES	Après 9 jrs	Après 49 jrs	Après 70 jrs	Après 84 jrs	Après 100 jrs	Nombre de jours pour atteindre valeur "4"
Floating	9,51	9,59	9,43	8,52	5,84	107
Silane	9,32	9,55	9,37	7,63	5,81	106
Floating + silane	9,27	9,54	9,47	8,30	5,92	105
Standard	9,56	9,54	9,43	7,75	4,53	101
Premix + standard	9,82	9,79	9,46	7,28	2,03	94

TABLEAU 3

Évaluations moyennes de la durabilité après un certain nombre
de jours selon le type de microbilles
Expérience spéciale de 1983

TYPE DE MICROBILLES	Après 9 jrs	Après 49 jrs	Après 70 jrs	Après 84 jrs	Après 100 jrs	Nombre de jours pour atteindre valeur "4"
Floating	10	9,93	9,74	8,41	5,86	107
Silane	10	9,90	9,65	7,67	5,80	106
Floating + silane	9,99	9,90	9,73	8,54	6,05	105
Standard	10	9,89	9,73	7,96	4,54	101
Premix + standard	9,99	9,92	9,63	7,13	1,97	94

TABLEAU 4

Évaluations moyennes de la visibilité de nuit après un certain nombre
de jours selon le type de microbilles
Expérience spéciale de 1983

TYPE DE MICROBILLES	Après 9 jrs	Après 49 jrs	Après 70 jrs	Après 84 jrs	Après 100 jrs	Nombre de jours pour atteindre valeur "4"
Floating	10	9,67	8,48	6,82	4,62	104
Silane	10	10	10	7,74	4,4	102
Floating + silane	10	10	10	7,80	4,66	104
Standard	10	10	8,02	6,66	4,02	100
Premix + standard	9,32	6,80	4,62	4,84	3,64	98

MINISTÈRE DES TRANSPORTS



QTR A 092 183