



RECHERCHES TRANSPORT

BULLETIN D'INFORMATION SCIENTIFIQUE

Volume thématique no 10 : mai 1993

UTILISATION DE GRANULATS SCHISTEUX DANS LES FONDATIONS DES CHAUSSÉES : ANALYSE STRUCTURALE

Guy Doré

Chef de la Division des chaussées
Service des sols et chaussées
Transports Québec

MINISTÈRE DES TRANSPORTS
CENTRE DE DOCUMENTATION
700, BOUL. RENÉ-LÉVESQUE EST,
21^e ÉTAGE
QUÉBEC (QUÉBEC) - CANADA
G1R 5H1

INTRODUCTION

La conception des chaussées routières est intimement liée au contexte géologique qui prévaut sur le tracé projeté. Si le sol support est un facteur déterminant dans le dimensionnement structural, la nature et les caractéristiques des matériaux granulaires constituent également un facteur important, qui influencera de façon significative le comportement de la chaussée. Afin d'éviter les problèmes inhérents à l'utilisation de granulats de mauvaise qualité, le ministère des Transports définit périodiquement des normes spécifiant la durabilité requise pour ces matériaux.

Le contexte géologique spécifique à certaines régions du Québec rend toutefois difficile l'accès économique à des sources de matériaux conformes. Il faut alors envisager l'utilisation des matériaux disponibles et chercher à minimiser leur effet négatif sur le comportement de la chaussée.

CANQ
TR
248
V.10

Québec 

OBJECTIFS DE L'ÉTUDE

Depuis plusieurs années, le Service des sols et chaussées s'intéresse aux schistes comme matériau de fondation pour les chaussées. À priori, l'utilisation de granulats schisteux dans le corps de la chaussée ne constitue pas une aberration technique et, pour peu que l'on accepte une réduction (encore mal connue) de la vie de la chaussée, l'option paraît même parfois fort attrayante. C'est donc l'intérêt croissant pour ce matériau qui nous a amenés à entreprendre une étude systématique sur le sujet. Les objectifs formulés étaient alors les suivants :

- évaluer le comportement à long terme de chaussées composées de granulats schisteux ;
- déterminer les facteurs qui modifient de façon significative le comportement des chaussées composées de granulats schisteux ;
- déduire les principes de design susceptibles de minimiser le mauvais comportement attribuable aux propriétés des granulats schisteux ;
- évaluer le bien-fondé de construire des chaussées à fondations schisteuses.

ÉTAT DES CONNAISSANCES

Plusieurs travaux ont été réalisés tant au Québec qu'à l'étranger sur l'utilisation de granulats marginaux dans les chaussées routières, mais bien peu constituent des recherches systématiques ayant un rapport avec nos objectifs. L'opinion des chercheurs et praticiens sur l'utilisation de granulats schisteux dans les assises routières varie considérablement, allant de l'élimination pure et simple à l'utilisation à peine restreinte à tous les niveaux de la chaussée.

Une vingtaine d'études et de rapports internes ont été revus. De façon générale, ils sont favorables à une utilisation restreinte des granulats schisteux dans les fondations routières, tout en soulignant l'importance d'accorder une attention particulière à la préparation et à la réalisation du projet. Plusieurs recommandations y sont proposées, lesquelles gravitent autour de trois idées principales, à savoir :

- l'importance d'une caractérisation et d'une classification adéquate des granulats schisteux ;
- l'importance de protéger le schiste des variations de température quotidiennes et saisonnières ;
- l'importance de maintenir le degré d'humidité dans le granulat à un niveau minimum et constant.

MÉCANISMES DE DÉGRADATION DES GRANULATS SCHISTEUX

Le présent chapitre décrit les différents mécanismes qui entrent en ligne de compte dans la dégradation des granulats schisteux et fait ressortir les facteurs importants de ce processus. Il s'appuie sur quelques articles et sur diverses observations faites sur le terrain.

Revue de la littérature

La littérature fait état de trois mécanismes principaux de dégradation des granulats schisteux à savoir :

- l'éclatement de surface - qui peut être causé par des facteurs tels que les pressions internes dues au gel, à la cristallisation des sels ou à l'hydratation - les mouvements thermiques différentiels de la surface du granulat en présence d'eau et l'expansion des minéraux argileux ;
- l'abrasion ou l'attrition des granulats mous sous diverses actions mécaniques ;
- la fracturation des granulats sous l'effet de chocs ou de pressions intenses.

Afin de mieux comprendre et de quantifier la dégradation des granulats schisteux, nous avons compilé certaines informations sur des projets du Ministère. L'étude de deux remblais de schiste abandonnés nous a permis d'évaluer l'effet de l'intempérisme sur les granulats et l'analyse des données de construction de deux projets nous a fourni des renseignements précieux sur l'effet des opérations de construction sur les granulats.

Observation de l'effet de l'intempérisme

Ce facteur de dégradation a été évalué par des observations et des mesures prises sur deux remblais routiers abandonnés. Ces remblais, situés à La Prairie, ont été construits en 1965 et 1980 en utilisant du schiste d'Utica, dont les particules n'excédaient pas 250 mm. La surface des remblais, non soumise au trafic depuis la construction, présente partout la même texture fine et fermée. Cette couche superficielle fortement altérée a environ 150 mm d'épaisseur et fait progressivement place à un matériau très peu altéré. Trois échantillons ont été prélevés dans le plus vieux des deux remblais : le premier, dans la couche altérée exposée aux agents climatiques depuis la construction du remblais (~20 ans) ; le deuxième, sur une face du remblai exposée à l'intempérisme depuis quatre mois à la suite de travaux de réaménagement ; le troisième, dans la zone non exposée.

Il est intéressant de noter (figure 1) que lors des quatre premiers mois d'exposition, la dégradation du granulat est très rapide et se produit surtout au niveau des particules grossières (>1 mm). Par la suite, le granulat n'évolue que très peu, si ce n'est au niveau des particules fines.

DOR-CEN-MON

CANQ

TR

248

v. 10

DEGRADATION DES GRANULATS SCHISTEUX

Effet de l'intemperisme

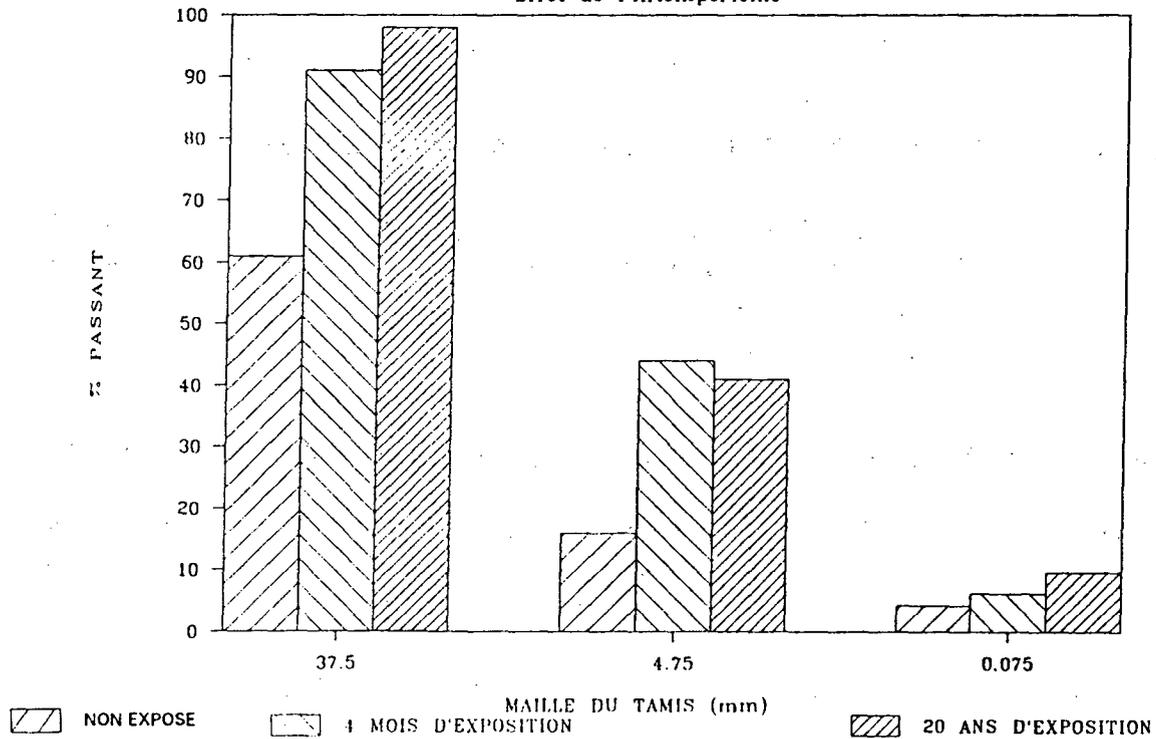


FIGURE 1

DEGRADATION DES GRANULATS SCHISTEUX

Effet de la construction

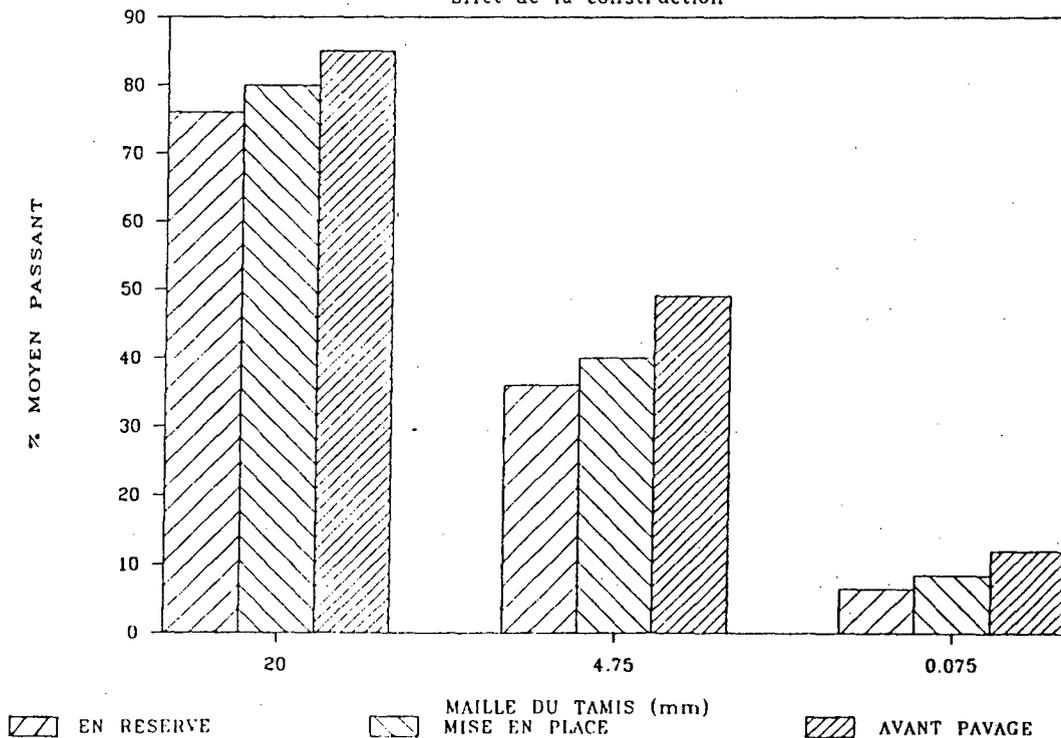


FIGURE 2

Observation de l'effet des opérations de construction

Il est clair que la schiste, matériau fragile, traverse au cours des étapes de mise en place, une phase cruciale qui influence sa performance future. Afin de quantifier ces altérations subies par le granulat pendant la construction, nous avons compilé les résultats d'analyses granulométriques effectuées sur des matériaux schisteux de la région des Appalaches à trois étapes de leur mise en oeuvre, soit :

- après correction lors du concassage ;
- lors de l'exécution des travaux ;
- avant pavage.

Les résultats de cette étude nous indiquent (figure 2) une dégradation marquée des granulats à tous les niveaux granulométriques lors de la mise en place, mais surtout au niveau des particules fines, dont la proportion a presque doublé.

Sommaire des observations

On ne peut évidemment pas généraliser les constatations de ces études effectuées sur des matériaux particuliers et des projets ponctuels. Il est toutefois assez manifeste que les granulats schisteux subissent des altérations importantes lors des opérations de mise en place et lorsqu'ils sont soumis aux agents d'intempérie. Nos observations suggèrent de compenser la dégradation granulométrique par la spécification d'un granulat plus ouvert après concassage et de les isoler des cycles environnementaux nocifs en les recouvrant d'une couche de protection.

ÉTUDE DU COMPORTEMENT DE SECTIONS DE ROUTES CONSTRUITES EN SCHISTE

Au cours des dernières décennies, plusieurs routes ont été construites avec des granulats schisteux dans leur fondation. Cette pratique hors norme est devenue, par souci d'économie, presque nécessaire pour la réalisation de certains projets routiers dans des régions moins bien pourvues en matériaux conformes. Cette situation fait que l'on trouve aujourd'hui dans le Sud du Québec, des sections de routes de toutes catégories construites avec du schiste à divers niveaux de leur fondation.

Méthodologie

Grâce à la précieuse collaboration des Directions régionales, des Districts et des Centres régionaux de la rive sud du Saint-Laurent, il a été possible de localiser 32 sections de routes caractérisées par la présence de schiste dans leur fondation. Ces sections devaient être, dans la mesure du possible, uniformément réparties selon les différents facteurs du tableau 1.

TABLEAU 1 : FACTEURS DE CLASSIFICATION DES SECTIONS EXPERIMENTALES	
Âge de la chaussée	
Région géologique : (voir fig.3)	Amiante Front des Appalaches Appalaches Utica
Nature du gravier :	Naturel (gravière) Concassé (carrière)
Niveau d'utilisation :	Fondation supérieure Fondation inférieure Sous-fondation
Catégorie de route :	Autoroute Route principale Route régionale Route locale

Afin d'évaluer objectivement la performance de ces sections, chacune d'elles a été couplée à une section dite «témoin», laquelle devait correspondre au même portrait (âge, catégorie, trafic, etc.) que sa contrepartie en schiste, mais être constituée de matériaux conformes.

Une base de données a été constituée pour compiler l'information sur les sections étudiées. Quatre catégories d'information y sont consignées, soit les données administratives, l'histoire des travaux les plus importants (construction, réhabilitation), les données structurales et les données de comportement. Le tableau 2 indique le type de données contenues dans chacune de ces catégories.

TABLEAU 2 : INFORMATION RECUEILLIE SUR LES SECTIONS D'ÉTUDE

Données administratives :	Type de section (schiste/témoin) Code de référence Identification (rte/str./sec.) Description Municipalité Longueur
Histoire de la section :	Année de construction Année de réfection
Données structurales :	Région géologique Fondations Épaisseur Nature de l'infrastructure Schiste Niveau d'utilisation Épaisseur de la couche Nature (gravier/concassé) Profondeur d'utilisation Caractéristiques % < 80 microns % schiste Perte MgSO ₄ Perte Micro-Deval
Données de comportement :	Profilométrie Portance Dégradation

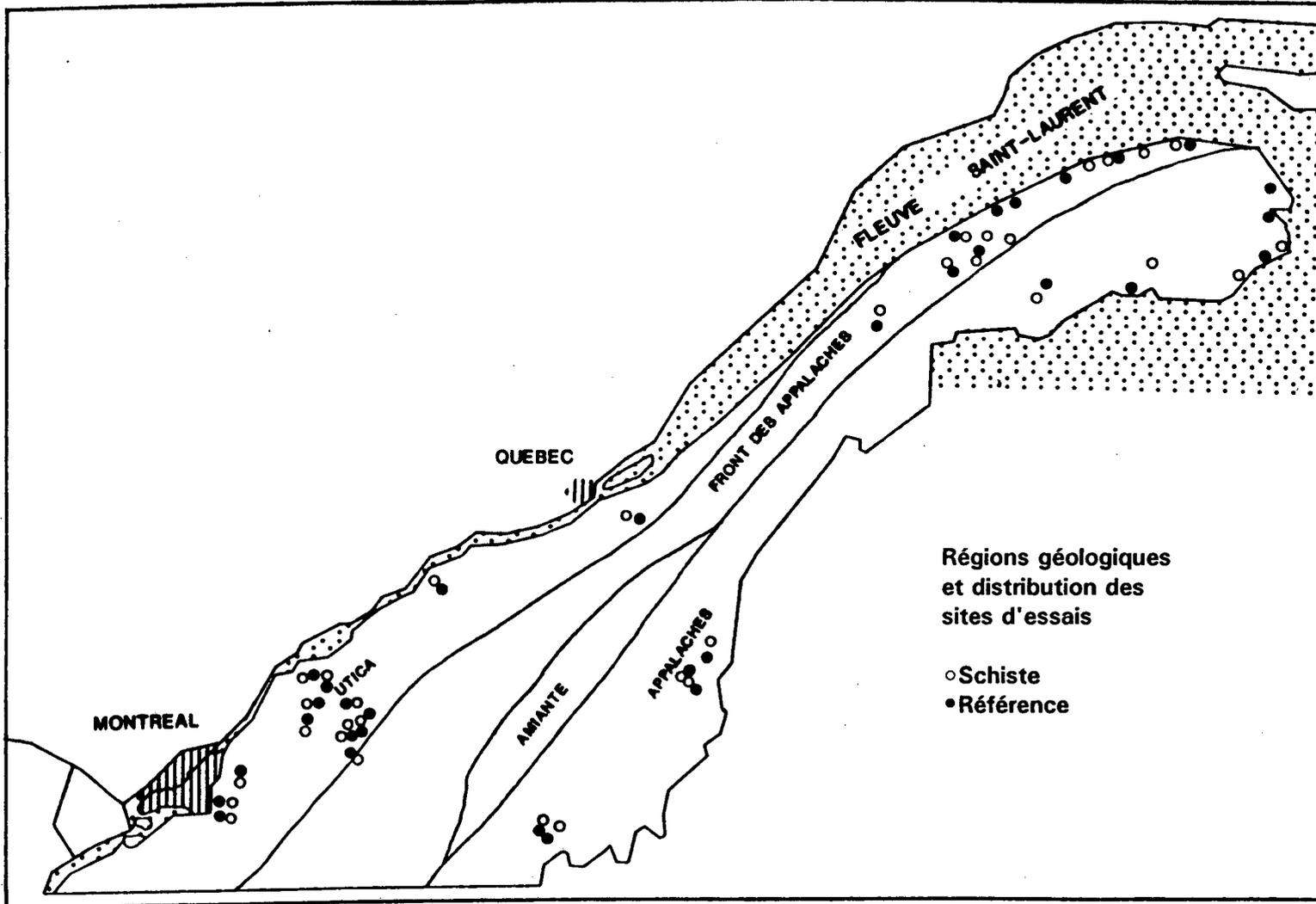


Figure 3

La saisie des données pour les 60 sections étudiées a nécessité les recherches et travaux suivants :

- localisation et identification des sections ;
- évaluation et mesure des caractéristiques structurales ;
- compilation des données historiques et de comportement des sections.

L'information générale recueillie sur les sections étudiées a été complétée par de l'information provenant de divers sites.

ANALYSE DES DONNÉES

L'analyse des données recueillies sur les sections étudiées a été effectuée dans un premier temps en établissant des comparaisons entre les deux groupes. L'attention a été portée dans un deuxième temps sur l'évolution de certaines caractéristiques des chaussées de schiste.

Comparaison entre les deux groupes

Trente-deux sections composées de schiste et 28 sections témoins ont été inventoriées. Le tableau 3 donne les caractéristiques générales des deux groupes étudiés.

TABLEAU 3 : COMPARAISON ENTRE LES GROUPES CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES							
Groupe	Long. totale	Nombre de sections	Âge moyen	Épais. moyenne de fond. (cm)	Trafic moyen (JMA)	Sols (*)	
						C.P.	F.R.P.
Schiste	138,1	32	13	89,3	5392	150	21%
Témoin	120,8	28	17,5	89,0	5548	133	22%

* Valeurs empiriques moyennes de capacité portante (C.P. kn) et facteur de réduction de cette capacité au printemps (F.R.P., indice de gélivité) pour les sols analysés.

Ces données confirment la similitude entre les groupes. Il faut toutefois tenir compte de légères différences quant à l'âge moyen des deux groupes.

Performance relative des groupes

La performance des chaussées d'essai a été évaluée à partir des données contenues dans l'inventaire structural du Ministère. Pour chaque section étudiée, les valeurs moyennes de portance (déflexion à la poutre Benkelman), de roulement (indice Kr) et de dégradation (indices combinés de fissuration et de rapiéçage) ont été compilées en fonction de l'âge de la section durant le premier cycle de vie utile de la chaussée (avant sa première réhabilitation). L'analyse globale des données pour les deux groupes a donné les résultats suivants :

Portance des chaussées

Les chaussées conformes offrent une portance moyenne d'approximativement 10 % supérieure aux chaussées en schiste, et ce malgré un âge moyen de quelque 30 % supérieur au groupe de schiste.

TABLEAU 4 : COMPARAISON ENTRE LES GROUPES DÉFLEXION				
	Nombre de moyennes de sections	Déflexion moyenne	Âge moyen	Performance relative
Schiste	34	721,7	4,8	
Témoin	34	649,2	6,3	

Les figures 4 et 5 nous montrent par ailleurs que la déflexion tend à augmenter avec l'âge pour les deux groupes de chaussées. Cette relation prévisible n'est cependant pas très concluante en raison de la faible corrélation observée. La relation obtenue par régression linéaire pour le groupe «schiste» prédirait un seuil d'intervention à un âge moyen de 10 ans, alors qu'il serait de 21 ans pour le groupe témoin.

DEFLEXION VS AGE

(SCHISTES)

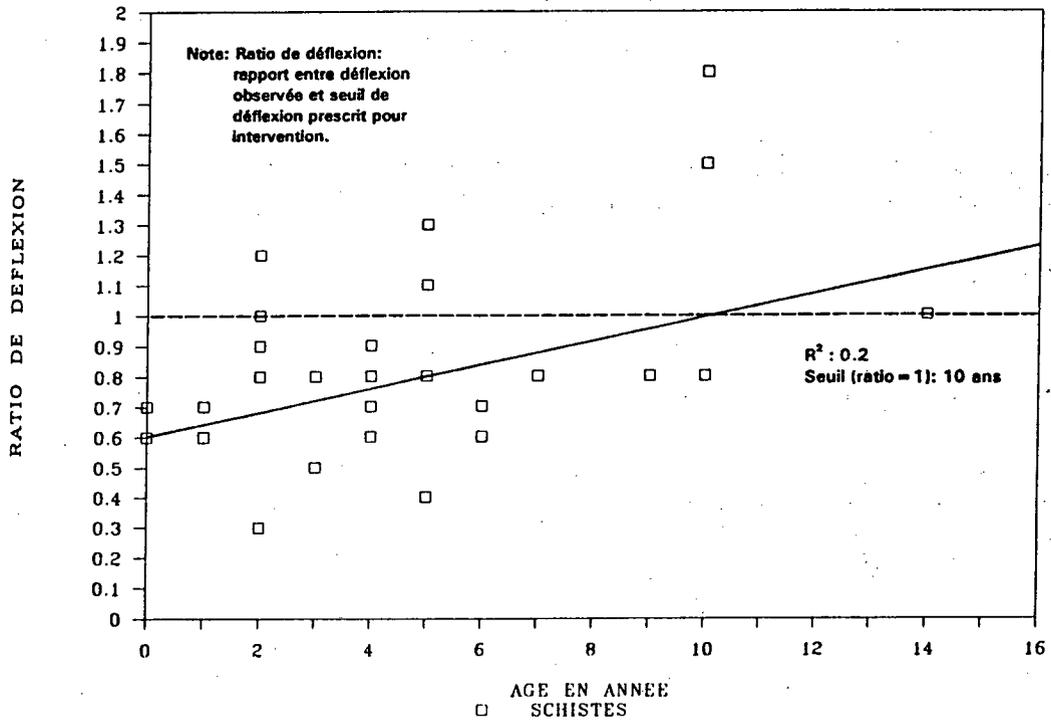


FIGURE 4

DEFLEXION VS AGE

(TEMOINS)

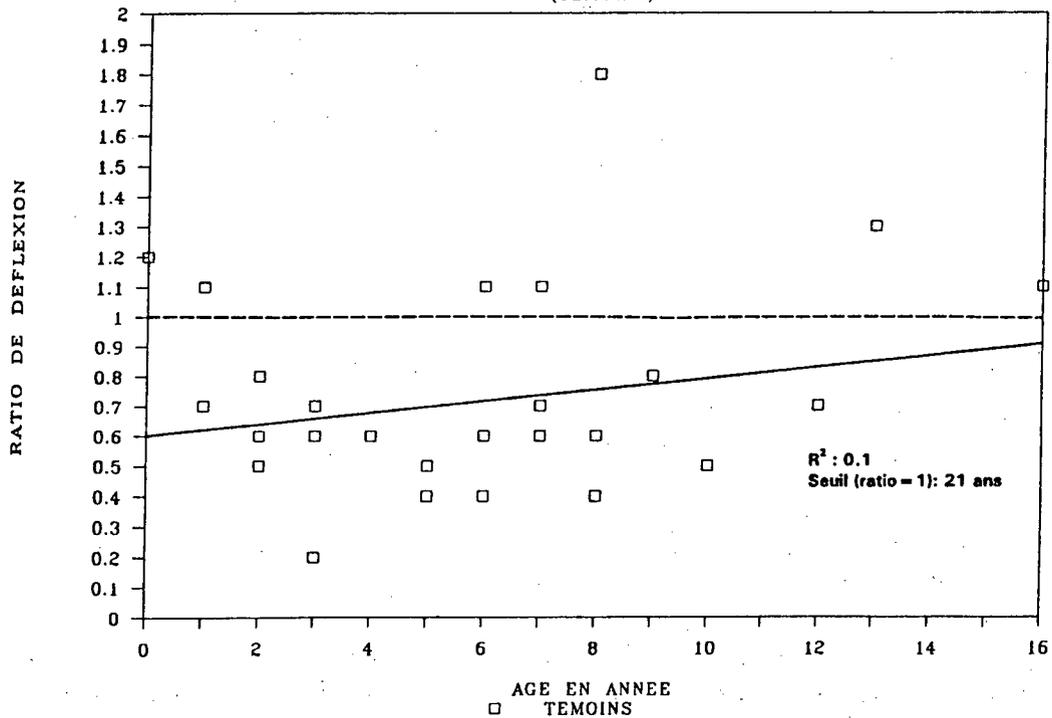


FIGURE 5

Ces deux observations suggèrent que les chaussées de schistes sont moins performantes que les chaussées conventionnelles sur le plan de la portance, et que cette performance relative se situe entre 50 % et 90 %.

Qualité de roulement

Les données de roulement pour les deux groupes indiquent des valeurs moyennes identiques pour des âges moyens de 4.9 ans pour le groupe «schiste» et de 6.5 ans pour le groupe témoin (tableau 5). Cette différence indiquant un meilleur comportement pour le dernier groupe s'observe également sur les figures 6 et 7, qui illustrent la relation entre la qualité de roulement et l'âge pour chacun des groupes. On obtient toutefois par régression linéaire un seuil d'intervention à un âge à peu près identique pour les deux groupes. Ces observations suggèrent encore une fois que les chaussées de schiste sont moins performantes que les chaussées conventionnelles, mais la performance relative serait supérieure à 75 %.

TABLEAU 5 : COMPARAISON ENTRE LES GROUPES ROULEMENT				
	Nombre de moyennes de sections	Indice de roulement moyen (Kr)	Âge moyen	Performance relative
Schiste	58	63,3	4,9	75 %
Témoin	51	63,8	6,5	100 %

Niveau de dégradation

Encore ici, les données compilées indiquent un niveau de dégradation moyen identique à des âges différents (tableau 5). Les figures 8 et 9 illustrent par ailleurs la relation entre le niveau de dégradation et l'âge de chacun des groupes. Par régression linéaire, on peut prédire l'atteinte d'un niveau de dégradation égal à 5 à 13,5 ans pour les chaussées de schiste et à 14,7 ans pour les chaussées conventionnelles. Ces observations suggèrent que les chaussées de schiste se dégradent plus rapidement que les chaussées conventionnelles et que la performance relative sur la base de ce paramètre se situerait entre 75 % et 90 %.

PROFILOMETRIE VS AGE

(SCHISTES)

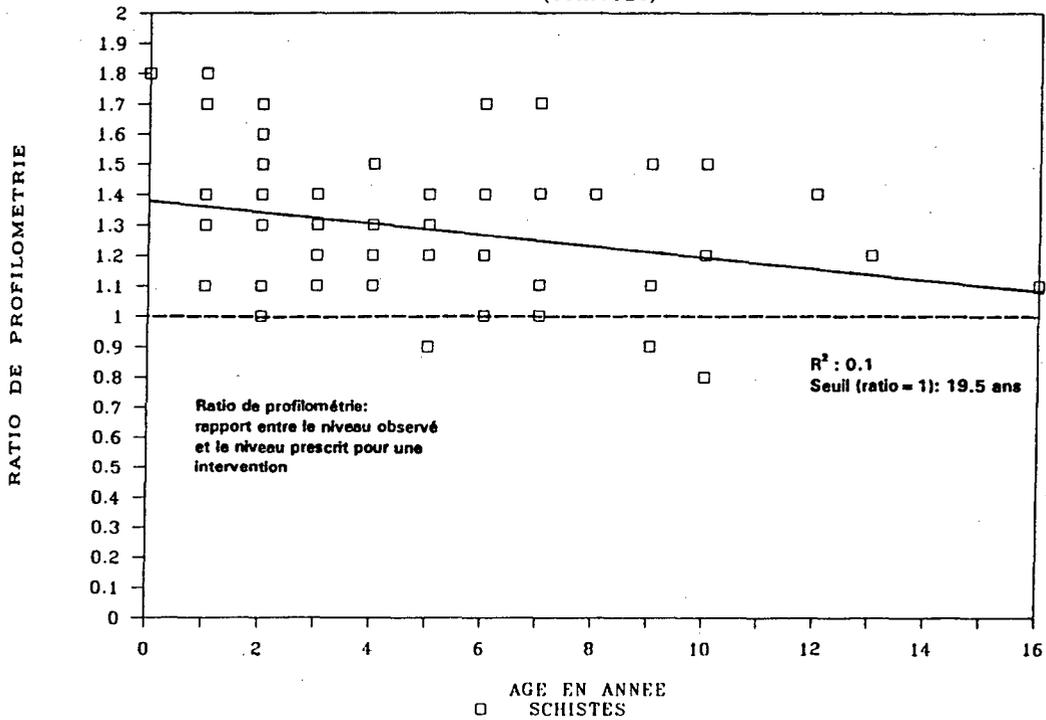


FIGURE 6

PROFILOMETRIE VS AGE

(TEMOINS)

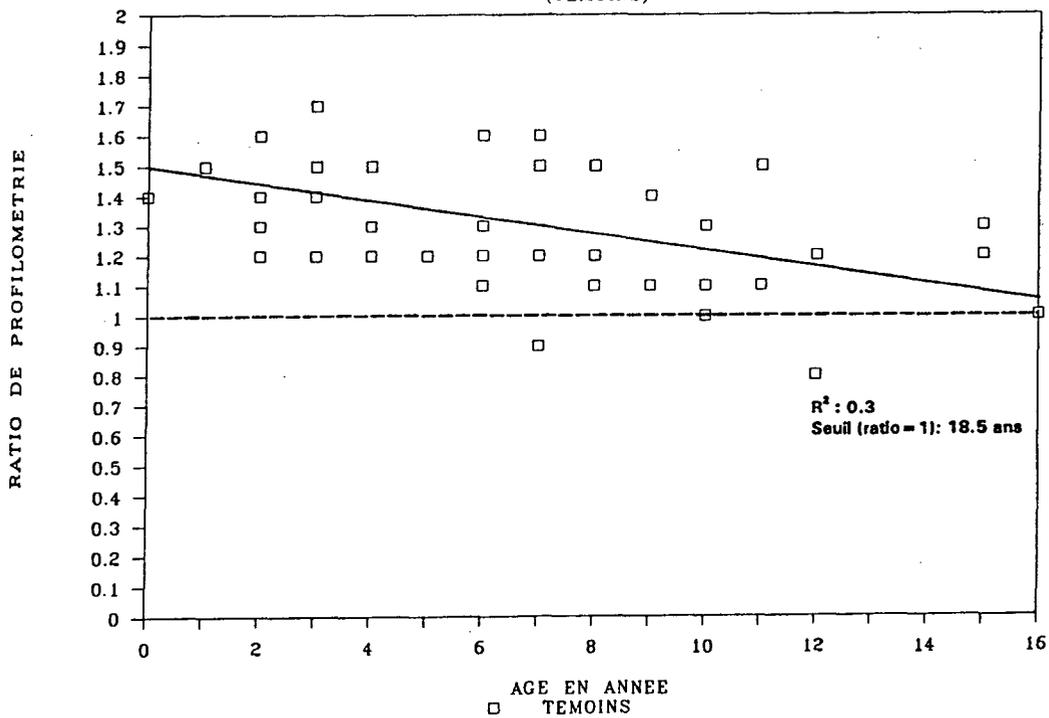


FIGURE 7

DEGRADATION VS AGE

(SCHISTES)

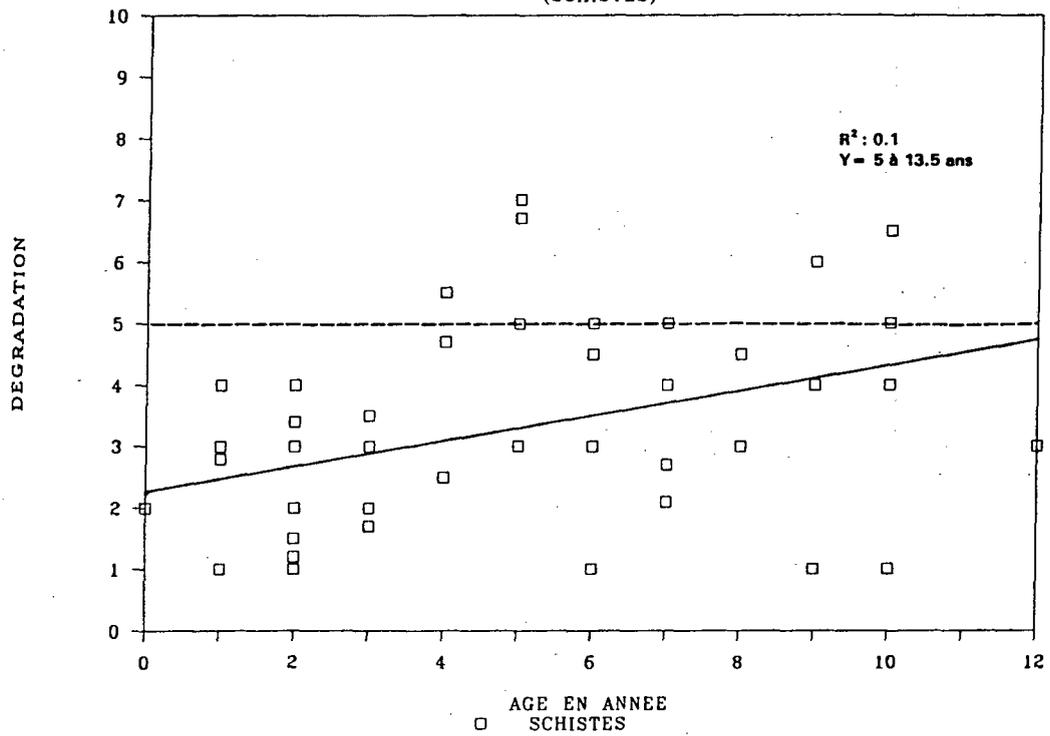


FIGURE 8

DEGRADATION VS AGE

(TEMOINS)

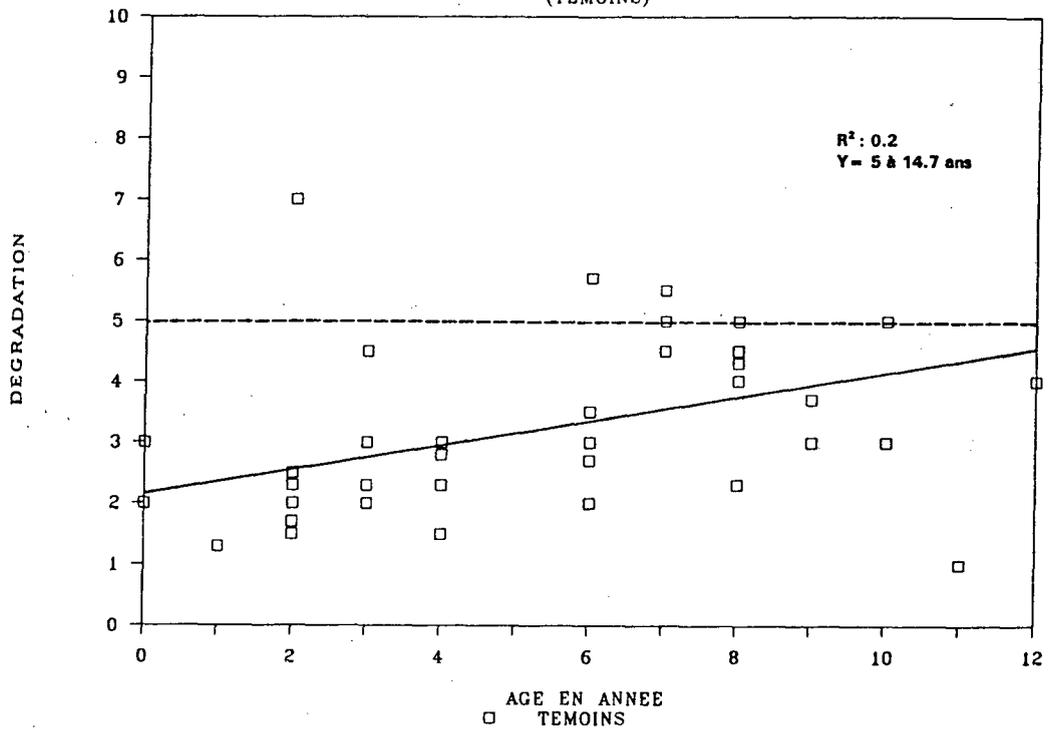


FIGURE 9

TABLEAU 6 : COMPARAISON ENTRE LES GROUPES DÉGRADATION				
	Nombre de moyennes de sections	Indice de dégradation moyen	Âge moyen	Performance relative
Schiste	50	3,40	4,7	76 %
Témoin	45	3,31	6,2	100 %

Sommaire des observations

L'évaluation de la performance structurale des chaussées constituées de schiste a été faite dans un premier temps en utilisant une approche comparative entre un groupe de sections expérimentales et un groupe témoin. Les caractéristiques structurales des deux groupes correspondaient suffisamment bien pour qu'on puisse tirer des conclusions valables quant à leur performance relative. La portance (Benkelman), la qualité de roulement (indice Kr) et l'indice de dégradation (fissuration et rapiéçage), compilés à partir des données d'inventaire, ont été utilisées comme élément de comparaison.

Dans tous les cas, le groupe de chaussées de schiste a eu une performance inférieure au groupe témoin. Selon le critère utilisé, la performance du groupe schiste variait entre 50 % et 90 % de celle du groupe témoin. En moyenne, la chaussée de schiste a eu un cycle de vie égal à 75 % de celui d'une chaussée conforme.

Influence de certains facteurs spécifiques sur la performance des chaussées de schiste

Dans la deuxième étape de notre analyse du comportement des chaussées de schiste, notre attention s'est portée davantage sur l'évaluation de certains facteurs spécifiques.

Il est remarquable de constater que sur les graphiques illustrant le comportement du groupe schiste (Fig. 4, 6 et 8), la dispersion des points est plus grande que sur les graphiques correspondants du groupe témoin. Ceci suggère donc que les chaussées de schiste ont un comportement plus aléatoire, attribuable à une plus grande variabilité des caractéristiques des granulats marginaux qui la composent. Or, il est logique de penser qu'une

comparaison entre les sections de schiste relativement performantes et les sections peu performantes peut nous renseigner sur les facteurs associés au comportement de ces groupes. Nous avons donc classifié les sections de schiste selon leur performance relative (supérieure, moyenne ou inférieure) pour chacun des critères. La comparaison systématique des caractéristiques de chacun des groupes a donné les résultats suivants :

- Corrélation inexistante ou imperceptible entre la performance et le niveau de trafic, l'épaisseur de la couche de schiste et la nature de l'infrastructure.
- Corrélation faible entre la performance des groupes et la profondeur de la couche de schiste ainsi que l'épaisseur totale de la fondation.
- Corrélation intéressante entre la performance des groupes et l'occurrence du gravier schisteux, son origine géologique et le niveau d'utilisation dans la chaussée. Plus spécifiquement :
 - le schiste à l'état de gravier naturel se comporte mieux que le schiste produit par concassage ;
 - les schistes métamorphisés se comportent mieux que les schistes argileux (figure 10) ;
 - le schiste tend à mal se comporter en sous-fondation, alors que son comportement est moyen en fondation supérieure et bon en fondation inférieure (figure 11).
- Corrélation forte entre la performance des groupes et la granulométrie des granulats ainsi que la proportion de schiste dans le granulat :
 - les sections dont les granulats schisteux ont une granulométrie adéquate se comportent bien (figure 12) ;
 - les mélanges graviers conformes/graviers schisteux se comportent mieux que les graviers composés exclusivement de schiste.

Notre étude a mis en évidence cinq facteurs qui semblent avoir une influence significative sur le comportement des chaussées de schiste. Le contrôle de ces facteurs, qui ne sont sûrement pas les seuls en cause, ne peut qu'avoir des effets bénéfiques sur la performance des chaussées.

GEOLOGIE VS COMPORTEMENT MOYEN

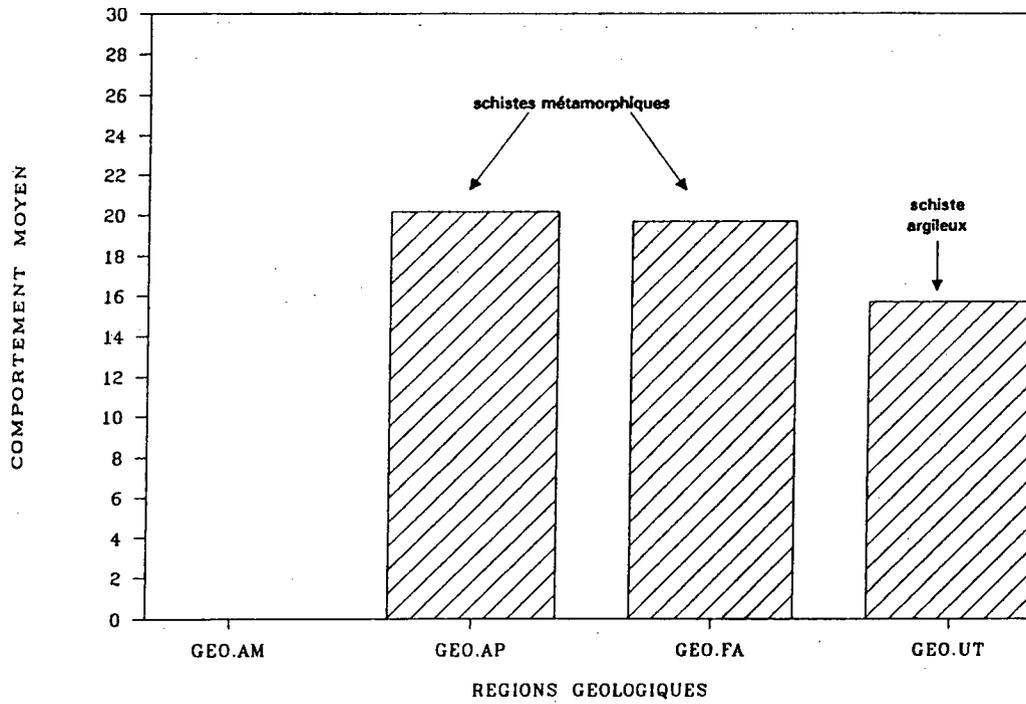


FIGURE 10

NIVEAU D'UTILISATION VS COMPORTEMENT

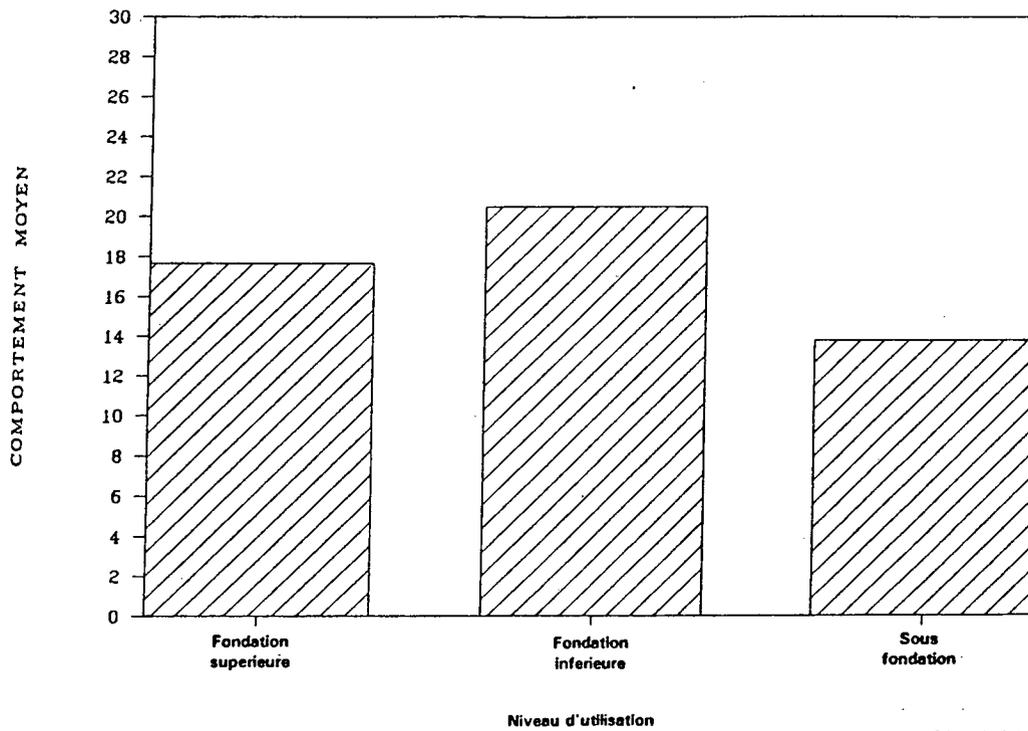


FIGURE 11

TENEUR EN FINES VS COMPORTEMENT

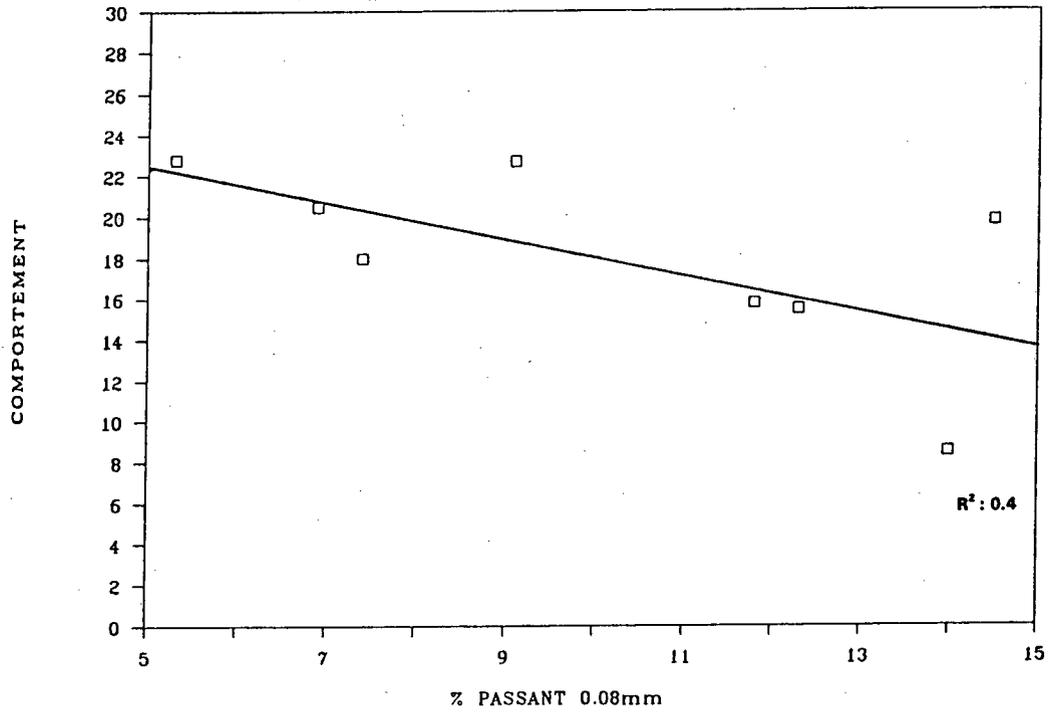


FIGURE 12

RECOMMANDATIONS

Toutes les observations effectuées dans le cadre de cette étude semblent corroborer le fait que l'utilisation de schiste dans les chaussées routières est une option viable. En effet, même si en moyenne les chaussées en schiste ne durent que 75 % de la vie d'une chaussée conforme, elles ont un comportement beaucoup plus variable, associé à la variabilité des matériaux marginaux qui les composent, de sorte que s'il est prévisible qu'une chaussée de schiste mal construite ait un comportement quasi catastrophique, il est aussi prévisible qu'une chaussée de schiste supérieure ait une performance se rapprochant de celui d'une chaussée conventionnelle moyenne. Dans le but de faciliter les choix appropriés pour réaliser de telles chaussées, les prochains paragraphes donnent quelques recommandations concernant la conception, la construction et la spécification des matériaux de construction.

Principes de dimensionnement

Nous croyons que la conception judicieuse d'une chaussée en schiste implique que l'on prenne une certaine distance par rapport au design traditionnel et à la nomenclature qui le caractérise. Ainsi, outre la surface bitumineuse, une chaussée en schiste sera composée des éléments structuraux suivants :

- une fondation granulaire ;
- un noyau schisteux ;
- un coussin drainant.

Les principes de dimensionnement recommandés sont les suivants :

- Dans tous les cas où la chaussée repose sur un sol cohésif, elle devra être protégée de la contamination et de l'humidité par une couche filtrante (CCDG 14.02.1) constituée de matériaux conformes et ayant une épaisseur minimale de 150 mm.

La présence de cette couche est recommandée en raison de la performance relativement pauvre des chaussées construites avec une couche de schiste directement en contact avec le sol naturel. Cette observation est par ailleurs corroborée par plusieurs auteurs qui font état de dégradation accélérée dans les cas de granulats schisteux soumis à une exposition cyclique à l'humidité.

- Le coeur de la chaussée est constitué d'un noyau de granulats schisteux d'épaisseur variable qui assure la double fonction de diminuer la contrainte transmise à l'infrastructure à un niveau acceptable et d'assurer une protection adéquate contre le gel.
- La fondation joue un rôle prépondérant dans la chaussée schisteuse en diminuant les contraintes transmises à la couche de schiste et en isolant cette dernière des variations de température et des cycles de gel/dégel. Cette couche doit être constituée de matériaux conformes aux normes pour une fondation supérieure (CCDG 14.02.1) et avoir une épaisseur minimale de 150 mm. Son épaisseur

devra de préférence être calculée en fonction du trafic et des caractéristiques mécaniques (CBR ou module) de la couche de schiste selon les méthodes conventionnelles. À défaut de connaître ces valeurs, on devra se méfier des schistes argileux et prévoir une surépaisseur de fondation (environ 30 %) lorsqu'ils sont utilisés.

- L'épaisseur totale de la chaussée devra respecter les critères de transmission de contrainte à l'infrastructure et de protection contre le gel utilisés dans les méthodes de dimensionnement reconnues.
- Dans tous les cas, la chaussée doit être protégée par un revêtement afin d'assurer un maximum d'étanchéité à la chaussée.
- Il est fortement recommandé de protéger la pente du talus de la chaussée par un parement constitué d'un matériau non dégradable et résistant à l'érosion.

La chaussée résultante est illustrée à la figure 13.

Principes de construction

Les différentes opérations de mise en oeuvre sont, comme nous l'avons mentionné plus haut, une étape déterminante de la vie d'une chaussée de schiste. Les quelques recommandations qui suivent sont fondées sur nos observations et sont susceptibles d'améliorer sensiblement le comportement des routes construites.

- Délais de mise en place :

La durée d'entreposage des granulats schisteux concassés doit être limitée au strict minimum. Le matériau doit être transporté, mis en place et recouvert le plus rapidement possible afin de minimiser l'action de l'intempérisme, qui cause une dégradation très rapide (quelques jours seulement) des graviers schisteux exposés.

- Action mécanique :

On devra limiter dans la mesure du possible la manipulation des granulats et éliminer la circulation sur les couches schisteuses. L'épandage devra être fait à l'aide d'équipement léger.

- Compactage :

La densification devrait se faire par passage d'un rouleau lisse statique sur des couches n'excédant pas 200 mm. Le nombre de passes sera déterminé en fonction de la texture de la surface et la densification sera arrêtée avant que la surface ne soit jugée trop fermée.

Figure 13: Structure type d'une chaussée de schiste

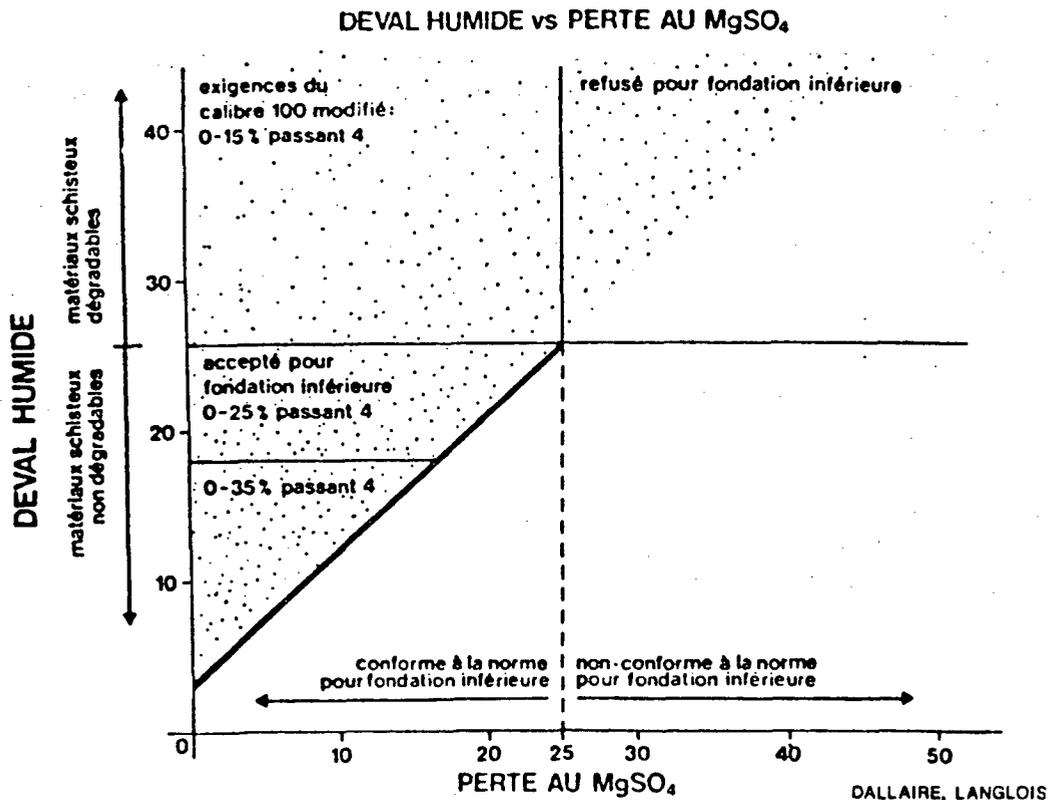
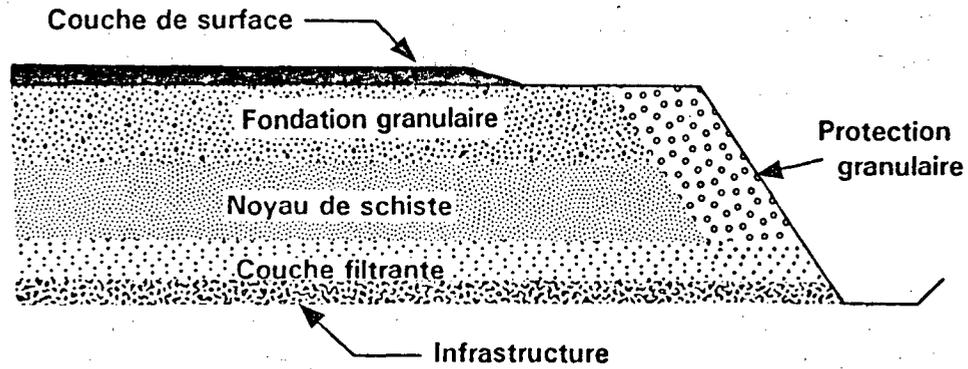


Figure 14

- Recouvrement du schiste :

Afin de soustraire les granulats schisteux à l'action de l'intempérisme et de la circulation, ils devront être rapidement recouverts par la fondation granulaire et par le parement sur le talus. Par ailleurs, la chaussée devra être revêtue le plus rapidement possible après la construction, au cours de la même année.

Matériaux

Combinée à quelques observations complémentaires, notre étude comparative des chaussées de schiste et des chaussées conventionnelles a démontré que la nature et la qualité du granulat influencent de façon significative le comportement et la durée de vie de ces chaussées. Il est bien connu qu'un matériau adéquat doit offrir des caractéristiques granulométriques qui lui confèrent un juste équilibre entre la portance, la perméabilité et la gélivité. De plus, le matériau doit offrir des caractéristiques de durabilité qui lui permettront de conserver ces propriétés essentielles.

Les chercheurs du Laboratoire central du Ministère (Dallaire, Langlois et al.) concluent de leurs études que les matériaux dégradables peuvent être perméables, non sujets au gel, et contribuer à la force structurale des chaussées. Ils préconisent leur utilisation moyennant les conditions suivantes :

- Pour les granulats du noyau schisteux, le passant au 4,75 mm ne doit pas excéder 15 % pour un matériau dégradable (coefficient Deval >26). La norme recommandée pour un matériau non dégradable est de 25%.

Nos observations de l'évolution des caractéristiques granulométriques corroborent cette norme. Ayant toutefois observé la plus forte dégradation granulométrique relative au niveau du passant 0,075 mm (figure 1 et 2), nous croyons important de recommander l'addition d'un second critère d'acceptation granulométrique.

- Pour les granulats dégradables du noyau schisteux, le passant au 0,0075 mm ne doit pas excéder 3 % après concassage.
- Outre ces spécifications granulométriques, le respect des critères de durabilité énoncés dans les rapports cités est fortement recommandé. Ces critères basés sur les essais Deval humide et Perte au MgSO₄ sont indiqués à la figure 14.

CONCLUSION

L'étude réalisée par le Service des sols et chaussées sur quelque 30 sections construites en utilisant des matériaux schisteux à divers niveaux de leurs fondations a démontré qu'une telle pratique était viable moyennant certaines précautions. De manière générale, les chaussées de schiste étudiées ont eut un rendement égal à 75 % du rendement d'une chaussée équivalente construite avec des matériaux conformes. Il est toutefois possible de maximiser la durée de vie d'une chaussée de schiste en adaptant les critères d'acceptation des matériaux, les principes de dimensionnement structural et les techniques de construction aux caractéristiques particulières des granulats schisteux. Notre étude a permis de mettre en évidence plusieurs facteurs de dégradation attribuables aux caractéristiques des schistes et de proposer une série de mesures permettant leur mitigation.

RÉFÉRENCES

1. Andrieux, P. et Lille, L.R., *Emploi de schistes houillers brûlés en techniques routières*, Bulletin de liaison, Laboratoire des ponts et chaussées, 1984-12.
2. Dallaire, G., *Utilisation de l'essai macro Deval humide*, Ministère des Transports du Québec, RTQ-83-02.
3. Dallaire, G., Langlois, P., et al., *Influence de la qualité de granulats dans les fondations d'une chaussée*, Ministère des Transports du Québec, Service du laboratoire central, avril 1981.
4. De Montigny, P., *Dimensionnement structural de chaussées reposant sur du schiste*, Ministère des Transports du Québec, Service des sols et chaussées.
5. Dibbs, T.E., Hughes, D.W., Poole, A.B., *The Identification of Critical Factors Affecting Rock Durability in Marine Environment*, Journal of Engineering Geology, London, 1983, vol. 16.
6. Dunn, J.R. et Hudec, P.P., *Frost and Absorbtion Effect in Argillaceous Rocks*, TRB Transportation Research Records #393.
7. Federal Highway Administration, *Design and Construction of Compacted Shale Embankments : Summary*, U.S. Department of Transportation, FHWA-TS-80-219, avril 1980.

8. Gorle, D., *Matériaux non traditionnels pour sous-fondations, schiste houillers rouges, graves, laitiers, granules et règles de bonne pratique pour l'emploi de matériaux non traditionnels dans les sous-fondations routières*, compte rendu de recherche, Centre de recherche routière, Bruxelles, Belgique.
9. Keyser, J.Hode, *Utilisation du schiste et des matériaux schisteux dans la construction routière*, Présentation au congrès CTAA, Montréal, novembre 1981.
10. Keyser, J.Hode, *Évaluation du comportement des chaussées construites avec des agrégats marginaux et de schiste*, École polytechnique et Faculté d'aménagement, Université de Montréal.
11. Ministère des Transports du Québec, Cahier des charges et devis général, Éditeur officiel.
12. Mugridge S.J. et Young, H.R., *Desintegration of Shale by Cyclic Wetting and Drying and Frost Action*, Canadian Journal of Earth Sciences, 20, 1983.
13. Withiam, J.L. et Andrews, D.E., *Relevance of Durability Testing of Shales to Field Behavior*, TRB Transportation Research Record #873.



MINISTÈRE DES TRANSPORTS



QTR A 056 794