

Comité technique C12 de l'AIPRC

Sous-thème: L'utilisation des matériaux non conformes avec les spécifications d'usage et avec le contrôle des terrassements.

Titre: STRUCTURE POUR L'UTILISATION APPROPRIÉE DE MATÉRIAUX MARGINAUX

par

J R Cook and C S Gourley

TRL Limited, Old Wokingham Road, Crowthorne, RG45 6AU, UK

E-mail: jcook@trl.co.uk or cgourley@trl.co.uk

Résumé

Nous sommes de plus en plus conscients des raisons socio-économiques et techniques qu'il y a de développer les infrastructures rurales sur la base de routes scellées à bas volume de trafic dans des environnements appropriés. Cependant, il y a d'importants défis à relever non seulement techniquement mais aussi lorsqu'il faut convaincre les gouvernements et les organismes de financement sur tous les avantages économiques vitaux. Nous pouvons traiter des questions techniques en acceptant le concept d'une étude appropriée, ou environnementalement optimisée. Bien que les méthodes et normes de conception standard pour les routes restent essentiellement appropriées dans le cas de grandes routes, leur applicabilité à des routes principales à bas volume de trafic et à la plus grande partie du réseau secondaire et des voies d'arrivée est contestable.

L'utilisation de matériaux de pavement localement disponibles et convenant à la tâche est une question fondamentale dans le concept d'une étude appropriée. Les matériaux disponibles localement peuvent être hors normes dans l'optique de la conception des routes standards scellées ; cependant le concept de l'adaptabilité au but dans un environnement routier spécifique peut permettre de désigner un grand nombre de ces matériaux comme étant acceptables et appropriés. Leur utilisation a besoin d'être justifiée en termes de coûts et de risques techniques devant des consultants, organismes gouvernementaux et donateurs sceptiques et une séquence d'évaluation vérifiable apportera de la crédibilité à leurs investigations et emploi.

Le Ministère Britannique du Développement International (DFID) et d'autres ont fondé, au fil des ans, leurs recherches sur la sélection et l'utilisation de matériaux marginaux localement disponibles pour la construction routière. Ces études, basées aussi bien sur la construction et la surveillance à long terme d'essais à pleine échelle ainsi que sur une enquête détaillée de certaines sections sélectionnées sur des réseaux routiers existants, montrent qu'il y a de vastes possibilités de relaxation des normes actuelles de sélection des matériaux.

Une récente revue d'une grande partie de ces recherches a mené au développement d'une structure d'évaluation qui reconnaît les besoins de l'environnement de conception des routes. L'approche est fondée sur une synthèse des connaissances actuelles et de l'expérience pratique acquise pendant de nombreuses années par TRL et d'autres, travaillant essentiellement dans des régions tropicales et sub-tropicales. Nous suggérons que les principes de l'approche, qui sont définis dans les grandes lignes dans ce papier, sont également valables pour d'autres régions et aussi pour de nombreux types différents de matériaux.

MOTS CLES

MATÉRIAUX MARGINAUX / ROUTES A BAS VOLUME / PAVAGE

STRUCTURE POUR L'UTILISATION APPROPRIÉE DE MATÉRIAUX MARGINAUX

J R Cook & C S Gourley

1. INTRODUCTION

Les routes de graviers non pavées constituent souvent environ 70 à 90 pour cent du réseau routier désigné dans les pays en développement, tandis que les routes et chemins de terre dominent le réseau non désigné. Ces routes, raccordant généralement les zones agricoles productives au réseau de routes primaires jouent un rôle social et économique vital dans le développement des zones rurales où vit la majorité des populations.

Au cours des 20 dernières années environ, le DFID et d'autres donateurs ont supporté la recherche sur divers aspects des routes à bas volume spécifiquement dans le but de réduire les coûts et augmenter la réalité de la fourniture de telles routes pour les communautés rurales et périurbaines. Une grande partie de cette recherche a été couronnée de succès et a mené à des approches innovatrices et non conventionnelles qui peuvent fournir des solutions hautement bénéfiques et d'un bon rapport coût / efficacité pour les routes à bas volume dans ces pays, par exemple, l'utilisation d'autres surfacages de routes. L'innovation dans la pratique de l'étude, la construction et la maintenance ainsi que des méthodes d'évaluation plus appropriées peuvent apporter davantage d'opportunités pour la fourniture des routes scellées que cela n'était précédemment estimé possible.

La clé de la réussite de ces solutions innovatrices consiste à reconnaître que les hypothèses conventionnelles concernant les critères de conception des routes ont besoin d'être remises en question et que le concept de l'approche par une conception appropriée ou environnementalement optimisée fournit un chemin vers l'avant. Les conceptions et normes des routes à bas volume doivent appuyer la fonction que la route apporte, ainsi que reconnaître, les importantes influences des mécanismes de détérioration. L'utilisation des matériaux de construction de pavement localement disponibles, mais fréquemment inférieurs aux normes, joue un rôle important dans ce concept.

2. ROUTES SCÉLÉES A BAS VOLUME DE TRAFIC

2.1. Le besoin de routes scellées à bas volume

On remarque une tendance croissante vers l'amélioration de la durabilité des réseaux ruraux existants par la fourniture de routes scellées de première génération, même sous la forme de sections courtes à travers des centres de population ou lorsque les conditions difficiles du terrain ou du sol exigent une surface améliorée. Cela peut être réalisé en adoptant des technologies de pavage innovatrices et à faible coût (par exemple des approches à main d'œuvre intensive) et par l'utilisation de matériaux qui ne répondent peut-être qu'à une norme à couche de gravier.

Les routes non pavées exigent une maintenance constante pour arrêter les dégâts aussi bien par le trafic que l'environnement. Il est habituellement nécessaire de refaire la route après une ou deux années de service, ce qui exerce une contrainte considérable sur les

ressources locales, financières, de main d'œuvre et naturelles. Nous sommes maintenant conscients que davantage d'attention doit être portée à l'évaluation des circonstances appropriées pour le surfacage en gravier et à la considération d'autres options pour les routes à bas volume, en particulier pour les communautés rurales.

Au cours des 10 dernières années s'est présenté un ensemble d'options éprouvées de surfacage scellé qui peuvent apporter des solutions appropriées et durables pour des routes à bas volume dans les régions tropicales et sub-tropicales, Tableau 1 (Petts, 2001). Ces options apportent une alternative réelle et durable à l'approche classique d'une couche porteuse de gravier (WSP-DFID, 2001). Les routes étanches à bas volume (LVSR) utilisant des couches bitumineuses minces ou autres surfacages alternatifs peuvent, dans des circonstances appropriées fournir une option d'un bon rapport coût / avantage quant à leur longévité totale. Les principaux avantages des LVSR se rapportent à ce qui suit

- ❑ Moins de maintenance périodique et avantage sur toute la durée de vie
- ❑ Conservation des ressources naturelles
- ❑ Passage par tous les temps
- ❑ Réduction de l'impact sur l'environnement

Tableau 1 – Options de scellage type pour routes à bas volume

Etanchéité / Surface	Avantages	Inconvénients / Contraintes
Surface béton renforcé de bambou	Basé sur la main d'œuvre. Durable avec des coûts de maintenance peu élevés. Bonne capacité d'étalement de la charge.	Disponibilité et état du bambou. Coûts du ciment. Contrôle de qualité sur la construction (les joints en particulier). Mauvaise flexibilité.
Surface étanche sable bitumineux / goudron	Bon historique de service dans le climat d'Afrique du Sud lorsque c'est régulièrement entretenu et re-scellé.	Exige une base de route régulière et en bon état. Exige une maintenance régulière. Exige regrattage et des ouvriers qualifiés.
Surface Ottaseal	Bonne performance en Afrique Tropicale et sub-tropicale. Une qualité marginale d'agrégats peut être utilisée.	Information limitée pour les environnements tropicaux à fortes pluies. Exige des ouvriers qualifiés.
Préparation de surface Bitume / Goudron	C'est une option commune de technologie intermédiaire. Bonne performance si bien construit (4 - 14 ans)	Bon contrôle de la construction sur la préparation de la base et sur l'étalement du liant et des agrégats. Fourniture adéquate d'agrégats de qualité.
Surface étanche de bouillie de bitume (et étanchéité de type "Cape")	Convient pour une approche basée sur la main d'œuvre	Besoin d'une finition de base de route de bonne qualité. Limitation des pentes et des tournants peut exiger un trafic supérieur à 50 v par jour pour la meilleure performance. Exige des ouvriers qualifiés.
Surface Macadam pré mélange bitumineux	Convient pour les pentes fortes. Exige moins de maintenance que certains scellages (par exemple 15, 16).	Coût. Contrôle de qualité de la température au moment du mélange et du placement. Fourniture adéquate d'agrégats de qualité. Exige des ouvriers qualifiés.
Surface macadam à semi pénétration	Procédure bien comprise. Convient pour la construction et la maintenance basées sur la main d'œuvre.	Coût en bitume élevé. Nivellement et compacité de la fondation de pavage
Surface macadam à pleine pénétration	Procédure bien comprise convient pour la construction et la maintenance basées sur la main d'œuvre.	Coût élevé en bitume. Nivellement et compacité de la fondation de pavage

Le tableau 2 résume les questions principales qui entourent l'utilisation des LVSR de préférence à l'approche plus classique de route à graviers.

2.2. Difficultés de mise en œuvre perçues : - Le défi

Un certain nombre de facteurs se combinent pour lancer un défi important au développement et à la mise en œuvre des LVSR. Ces facteurs comprennent :

- ❑ Normes et spécifications. Un nombre insuffisant de recherches a été effectué pour pouvoir justifier un changement quelconque dans les normes et spécifications actuelles. Dans les domaines où la recherche a été effectuée, un nombre limité de fonds est mis à disposition pour une dissémination efficace et la mise en œuvre des changements est souvent inadéquate. On rencontre souvent une réticence à transférer la technologie au-delà des frontières sans mise à l'épreuve locale supplémentaire.
- ❑ Incertitude technique. On rencontre encore beaucoup d'hésitation, en particulier de la part des consultants expatriés et des donateurs, pour utiliser les approches non standard (conception, matériaux locaux, technologie de construction) à cause de la perception d'un plus grand risque de problèmes ou même d'échec. Cela provient d'une faiblesse dans l'état du secteur de l'entreprise et la capacité de maintenance est telle qu'il est nécessaire de choisir des options à basse maintenance – haute norme.

- ❑ Attentes politiques et publiques. Celles-ci sont conditionnées par des normes adoptées pour les routes principales à grand volume et l'acceptation d'une norme plus basse, bien que plus appropriée, pour une LVSR est souvent considérée comme sub-standard.

Ces facteurs sont dans l'ensemble argumentés de façon prudente quant aux risques et présentés comme la raison pour laquelle le status quo doit être maintenu.

Tableau 2.-. Questions de surfacage de routes à bas volume de trafic
(Modifié par : Gourley & Greening, 1999; Lebo & Schelling 2001; WSP-DFID, 2001)

Question	Résumé
Evaluation économique	La justification de l'amélioration des routes non pavées pour passer à une norme de routes étanches, uniquement sur des critères économiques classiques, exige souvent des niveaux de circulation de plus de 200 à 300 véhicules par jour. Ce seuil de trafic reflète les coûts de l'utilisation inappropriée de hautes normes de conception et de construction qui sont souvent appliquées à ces types de routes. Cependant, en adoptant une approche plus réaliste, flexible et innovatrice, vis-à-vis de la conception et de la construction des routes, il est possible de réaliser d'importantes économies de coûts et les routes étanches peuvent être justifiées à des niveaux de trafic très réduits.
Trafic	Les conditions existantes sur les routes à bas volume peuvent contraindre et cacher la demande de volume de trafic. Les volumes de trafic peuvent aussi être relativement bas mais les charges de véhicule souvent élevées, avec souvent d'importantes surcharges.
Demande de maintenance	Le gravier non scellé est une surface à haut risque. Une épaisseur résiduelle, normalement d'environ 8 -10 cm est requise pour que la couche de graviers fonctionne comme protection de la fondation de pavage sous-jacente. Quand le gravier résiduel s'use au-delà de cette épaisseur critique, la surface se brise, formant des nids de poule et des ornières et le gravier restant est contaminé par le sol sous-jacent. D'après l'aspect initial des nids de poule (qui indiquent un problème immédiat) cela ne laisse actuellement qu'un temps insuffisant pour mobiliser les fonds, les ressources ou les entrepreneurs pour effectuer le re-gravelage.
Frais de maintenance	Les routes de graviers classiques non étanches exigent un fréquent re-gravelage pour conserver un réseau routier dans un état raisonnable. En règle générale, les frais de maintenance non escomptés, répartis sur la longévité type d'un réseau rural à bas volume seront égaux aux frais initiaux de construction. A mesure que le gravier se raréfie, les distances et les coûts de transport vont continuellement augmenter.
Conservation des ressources naturelles	Le gravier est une ressource naturelle non remplaçable et dans de nombreux pays en développement, les réserves se produisant naturellement sont rares. Il peut être considéré inapproprié d'utiliser une telle ressource naturelle comme surface de matériaux consommables lorsqu'il est possible de l'utiliser de façon plus permanente comme surfacage.
Technologie de construction et de maintenance	Les coûts du gravelage et re-gravelage comportent habituellement un élément très élevé d'équipement. Pour la maintenance, ces fonds vont des communautés locales aux grands entrepreneurs et aux fournisseurs d'équipement. Certaines des surfaces en alternative pourraient permettre d'effectuer la maintenance par de petites entreprises basées sur le district, utilisant la main d'œuvre et des équipements simples à bas coût, avec une meilleure retenue des dépenses au sein des communautés et peut-être des avantages liés à l'allègement de la pauvreté.
Impact environnemental	Le gravier crée de la poussière pendant la saison sèche, ce qui cause de la pollution pour les utilisateurs des routes et aussi pour les personnes vivant à côté de la route, leur propriété et leurs cultures. Cela peut conduire à des problèmes de propreté et de santé. Il y a également des questions de sécurité de routes associées à la mauvaise visibilité. Le développement continue de zone d'emprunt pour la maintenance et le re-gravelage a d'importantes conséquences pour la santé et la sécurité des communautés locales ainsi qu'un impact sur l'utilisation future des terres.

La promotion réelle des LVSR dans un environnement approprié d'utilisation finale nécessite une compréhension totale et inclusive des demandes et avantages en dehors de ceux qui sont exclusivement techniques. Cela demande une pleine acceptation de la part des participants à de nombreux niveaux, depuis les gouvernements et les agences de financement, jusqu'aux consultants, entrepreneurs et utilisateurs routiers.

La politique du Gouvernement placera la structure juridique et réglementaire en face des responsabilités qui peuvent être déléguées, des risques partagés et des changements mis en œuvre. Le gouvernement est le mieux placé pour influencer et éduquer les perceptions politiques et publiques sur les types et normes des routes et pour démontrer les avantages socio-économiques et autres pour les autorités locales et les communautés, par exemple la création d'emplois, la participation de la communauté et la participation à la gestion de planning et de ressources (développement des petits entrepreneurs). Les outils d'évaluation doivent quantifier les coûts / bénéfices aussi bien sociaux qu'économiques. La sélection des routes et la fixation de priorités doivent être soigneusement gérées, avec des sources de financement durables et robustes.

Les institutions de mise en œuvre ont un à jouer un rôle central dans la gestion du changement. Les normes et spécifications de conception et de construction tomberont sous leur responsabilité. Une grande flexibilité pour revoir et mettre en œuvre le changement ainsi que développer la formation locale appropriée et la construction de la capacité est nécessaire ainsi qu'une forte capacité locale de maintenance pour pouvoir adopter des programmes de maintenance appropriés. Les attributions budgétaires pour la maintenance doivent être très rigideusement engagées.

Le secteur de la construction dans son ensemble, depuis les organismes de formation académiques jusqu'aux autorités de mise en œuvre doit avoir la capacité et les connaissances nécessaires pour concevoir, construire et entretenir des routes étanches.

2.2. Conceptions appropriées

Les coûts de la construction des couches de pavement supérieures (couche de base et de fondation) comptent normalement pour environ 30 à 40 pour cent du coût total de la construction de la route et il est clair que les coûts de construction et de maintenance sont cruciaux pour l'argument concernant les LVSR et que des approches de conception appropriées sont essentielles.

Les principaux éléments du processus de conception sont le choix des matériaux et leur épaisseur dans chaque couche de pavement. L'ingénieur de conception doit cependant aussi comprendre tous les autres impacts externes sur la conception et reconnaître l'influence exercée par ces autres paramètres. On peut "supposer" par exemple qu'une maintenance adéquate est effectuée pendant la période de conception de la route. En pratique cela peut ne pas être le cas.

En réalité, la performance d'une route dépend de toute une gamme de facteurs qui, regroupés, peuvent être décrits comme "l'environnement routier". Les facteurs importants pour l'environnement routier peuvent être essentiellement regroupés en tant que

- ❑ Facteurs environnementaux naturels : – essentiellement incontrôlables
- ❑ Facteurs liés au projet : - essentiellement contrôlables
- ❑ Facteurs de réaction à la conception : - les outils pour une conception appropriée.

Ces facteurs, comme défini dans le tableau 3, décrivent ensemble la matrice des impacts d'environnement routier qui doit être adressée par des facteurs de réaction conceptionnels

tels que type de pavement et épaisseur, géométrie de la route, et terrassement et drainage qui sont en effet les outils d'une stratégie globale d'une conception appropriée. La performance de la route peut être vue comme une fonction directe de l'environnement routier et son interaction avec une conception appropriée. Sous ce rapport, il y a de plus en plus d'éléments suggérant que l'on peut beaucoup plus utiliser les graviers naturels pour la construction des pavements plutôt que les options plus coûteuses et communément adoptées de pierres concassées ou matériaux stabilisés.

Tableau 3 – Facteurs d'environnement routier contrôlables et incontrôlables

Facteur		Description
Incontrôlable	Matériaux de construction	La nature, le caractère technique et la situation des matériaux de construction sont des aspects clés de l'évaluation de l'environnement de la route.
	Climat.	Le climat prévalant influence l'arrivée (précipitation, nappe phréatique), l'évaporation (gamme de températures et extrêmes) et mouvements (gradients de température) de l'eau. Le climat a un impact sur la route quant à l'érosion directe par ruissellement, l'influence sur le régime des eaux souterraines (hydrologie), le régime d'humidité à l'intérieur du pavement et l'accessibilité pour la maintenance.
	Hydrologie de surface et sous surface.	C'est souvent l'action réciproque de l'eau, ou plus spécifiquement son mouvement dans et à côté de la structure de la route qui a un impact prédominant sur la performance de la route.
	Terrain	Le terrain, qu'il soit plat, légèrement ondulé ou montagneux reflète l'histoire géologique et géomorphologique. À part l'influence évidente sur la géométrie à longue section (grade de la route), les caractéristiques du terrain reflèteront et influenceront l'apparition et le type de sol présent, type de végétation, disponibilité de matériaux et ressources (situation, type, caractère approprié, variabilité)
	Conditions de l'infrastructure	L'infrastructure est essentiellement la couche de fondation pour le pavage et en tant que telle, l'évaluation de son état est fondamentale pour apprécier l'environnement de la route.
Contrôlable	Trafic	Les résultats des récentes recherches indiquent que l'influence du trafic est souvent inférieure à celle des autres paramètres d'environnement routier dans les routes à bas volume. Cependant, même pour ces routes, il est nécessaire de bien considérer l'influence du trafic sur la performance de la structure.
	Charges sur essieu	La détérioration des routes pavées causée par le trafic résulte aussi bien de l'importance des charges individuelles sur essieu et de leur fréquence. Aux fins de la conception du pavement, il est nécessaire de considérer non seulement le nombre total de véhicules qui utiliseront la route, mais aussi les charges sur roue (ou de façon pratique les charges sur essieu) de ces véhicules.
	Régime de Construction	Le régime de construction décide si la conception de la route est appliquée de façon appropriée. Les éléments clés comprennent : <ul style="list-style-type: none"> • L'utilisation appropriée du matériel • La sélection et le placement des matériaux • L'assurance qualité • L'obéissance aux spécifications • La supervision technique
	Régime de Maintenance	Toutes les routes, quelle que soient leur conception et leur construction, exigent une maintenance régulière pour s'assurer que la durée de vie prévisionnelle est atteinte. En fait, une bonne maintenance peut souvent s'étendre sur la période pendant laquelle la route peut fonctionner, bien au-delà de sa vie prévisionnelle. Pour réaliser cela, cela dépendra des stratégies de maintenance adoptées, des interventions faites à temps, de la capacité locale et des fonds disponibles pour effectuer les travaux nécessaires.

3. MATERIAUX NON-STANDARDS

3.1. Définition

PIARC a précédemment défini les matériaux non-standards et non traditionnels comme :

"...tout matériau qui n'est pas entièrement conforme à la spécification utilisée dans un pays ou une région pour des matériaux de routes normaux mais qui peut être utilisé avec succès soit dans des conditions spéciales, rendues possibles à cause des caractéristiques climatiques, du récent progrès des techniques routières ou après avoir été soumis à un traitement particulier." (Brunschwig, 1989)

Aux fins de ce papier, le commentaire sur les matériaux non-standards a été limité à des matériaux granulaires produits naturellement pour la base de la route et la surface qui ne sont pas conformes aux spécifications acceptées mais qui peuvent donner de bons résultats en service dans des limites identifiables.

3.2. Le rôle des matériaux locaux non-standards

La nature, le caractère technique et la situation des matériaux de construction sont des aspects essentiels de l'évaluation de l'environnement routier. L'adoption d'une approche de conception appropriée va de pair avec la reconnaissance que les critères établis pour les matériaux routiers ont besoin d'être examinés attentivement quant à leur utilisation technique réelle dans des environnements routiers individuels.

Pour des routes scellées à bas volume, nous reconnaissons maintenant qu'il y a un plus grand besoin de considérer l'application des spécifications et les pratiques de construction en termes "d'environnement routier entier" plutôt qu'en terme de couche de pavage individuelle. Il est possible dans certains cas, et cela est particulièrement vrai pour les routes étanches à bas volume, de considérer une réduction de la norme de spécification quand on considère des types de matériaux particuliers à l'intérieur d'environnements définis. Il est essentiel de reconnaître ce qui convient pour le but recherché et adopter une approche qui "va dans le sens de la nature" pour évaluer l'utilisation appropriée de matériaux non-standards dans des environnements routiers définis.

Les besoins généraux essentiels pour les matériaux de pavement sont résumés dans le Tableau 4. Les spécifications détaillées pour s'assurer que ces besoins sont généralement définis en termes de propriété tels que nivellement, résistance compactée et plasticité (TRL, 1993, Toole & Newill, 1987). Les critères de limites fixés dans les spécifications traditionnelles pour les matériaux de base routière et sub-base sont basés sur des normes universelles ayant trait aux niveaux de trafic. Lorsque ces matériaux ne répondent pas à ces critères, ils sont normalement appelés "marginiaux" et fréquemment par application "sous-norme".

Les études effectuées par DFID et d'autres ont montré que l'utilisation de matériaux localement disponibles peut jouer un rôle crucial dans le contexte de conception appropriée quant à l'économie de coût, à la gestion de ressources et à la protection des environnements, Tableau 5. Les points suivants sont considérés comme cruciaux en ce qui concerne la capacité d'un matériau à remplir sa tâche prévue dans un pavage routier :

- ❑ La connaissance des propriétés techniques clés du matériau
- ❑ La tâche requise du matériau
- ❑ L'environnement routier prédominant
- ❑ Les modifications futures de l'environnement de la route

Tableau 4 Facteurs fondamentaux de sélection de la couche de base

Facteur technique clé	Besoins de matériaux
Résistance	Les particules d'agrégats ont besoin d'être résistantes à toutes charges imposées pendant la construction et la vie prévisionnelle du pavement.
Stabilité mécanique	L'agrégat en tant que couche placée doit avoir une stabilité de masse d'inter blocage mécanique suffisante pour résister aux charges imposées pendant la construction et la vie prévisionnelle du pavement.
Durabilité	Les particules d'agrégat doivent être résistantes au changement minéralogique et à la décomposition physique due aux cycles de mouillage et de séchage imposés pendant la construction ou pendant la vie prévisionnelle du pavement
Distance de transport	Les réserves doivent se situer dans des distances de transport physiquement et économiquement faisables.
Plaçabilité	Les matériaux doivent pouvoir être placés et compactés par le matériel disponible.
Impact sur l'environnement	Les réserves de matériaux doivent pouvoir être obtenues et transportées tout en respectant toute réglementation gouvernant l'impact environnemental.

Par nécessité, les spécifications générales doivent couvrir une très grande gamme de types de matériaux et être adaptés à des environnements climatiques extrêmes. En conséquence, elles contiendront probablement d'importants facteurs intégrés de sécurité. Par implication, cela signifie que des spécifications mises à l'épreuve, tracées pour des matériaux spécifiques et pour des environnements particuliers n'ont pas besoin d'être aussi prudentes dans leur approche et par conséquent peuvent permettre l'utilisation de matériaux précédemment considérés comme non conformes ou marginaux.

Il est nécessaire de s'écarter de la classification de ces matériaux comme "marginaux" ou d'utiliser le terme "marginal" comme descripteur général, lorsqu'en fait ils ont de réelles perspectives d'utilisation efficaces dans une conception appropriée. La marginalité aux yeux des ingénieurs implique un produit sub-standard. Cela n'est pas nécessairement le cas si les matériaux sont évalués, utilisés et encouragés de façon appropriée, par conséquent il est préférable de les décrire par le terme "non standard". Cependant, il semble qu'il est nécessaire d'évaluer le caractère adéquat de ces matériaux de façon techniquement justifiable et démontrable devant les agences de financement et les parties prenantes clés.

3.3. Description et Classification

Les matériaux granulaires marginaux qui pourraient être considérés pour une utilisation dans les couches supérieures de pavement peuvent effectivement être groupés dans un système à cinq étages (TRL, 2002)

- **Groupe I : Roche dure** : Comprennent normalement des matériaux qui exigent le concassage et le traitement mais qui conservent des propriétés qui font que le matériau ne répond pas entièrement aux exigences d'une base de pierre concassée.
- **Groupe II : Roche tendre** : Matériaux tirés de dépôts apparentés faiblement cimentés, mal consolidés ou partiellement érodés.

Tableau 5 Exemples de l'utilisation de matériaux non-standards dans des routes étanches à bas volume

Matériaux références et	Situation	Environnement climatique	Caractéristiques du matériau	Utilisation	Observation
Calcrete Lionjanga et al (1987) Greening and Rolt (1997)	Botswana	Semi-aride	Basse résistance de particule Basse résistance compactée Mauvais nivellement Haute plasticité	Couche de base : Spécifications revues développées pour les conceptions d'accotement aussi bien étanches que non étanches. Utilisé avec succès comme base de route avec performance acceptable (0.3×10^6 esa) pour les matériaux à CBR trempé > 35 % et PI < 30 si les accotements sont étanches.	Spécifications éprouvées seulement pour les régions sèches et semi-arides sur des routes construites sur une fondation de pavage résistante (CBR trempé > 25 %).
Latérite Grace and Toll (1987) Gourley and Greening (1997) CIRIA (1988)	Malawi	Tropical à saison humide	Basse résistance de particule Basse résistance compactée Mauvais nivellement Haute plasticité	Couche de base : <u>Procédure de construction</u> modifiée pour permettre au trafic de passer sur la couche de base pendant une saison des pluies avant roulage, formage et étanchéification au cours de la saison sèche suivante. Tous les sites bien drainés et avec hauteur médiane d'au moins un mètre.	Essai réussi sur les routes principales transportant du trafic jusqu'à $1,0 \times 10^6$ esa. Hauteur médiane et fourniture d'un bon drainage sont un composant essentiel de la performance.
Marl Woodbridge et al (1987)	Belize	Tropical pluvieux humide	Basse résistance particulaire Mauvais nivellement	Couche de base et de fondation : construction de remblai (600 à 750 mm de remblai) utilisée partout à cause de la nappe phréatique haute selon la saison. Utilisation uniquement de matériaux non plastiques ou légèrement plastiques. Compaction lourde contrôlée utilisée pour bloquer le matériau et réalisation > 98 % MDD. Bon régime de maintenance adopté y compris nettoyage régulier des drains et maintenance des accotements non scellés.	Après 20 années de service et de trafic s'élevant à environ 1,4 M esa, le pavement est encore en bon état, avec ornières négligeables. Pour éviter l'érosion de l'accotement, la pénétration de l'humidité et les problèmes de maintenance évitables, des accotements étanches doivent être envisagés.
Basalte Pinard & Jakalas, (1987).	Botswana	Sous tropical	Matériau concassé (avec fines ajoutées) réussissant aux critères de spécification ; mais a eu une durabilité médiocre en service.	Couche de base. L'addition de fines plastiques (actives) pour améliorer le nivellement ainsi que la modification utilisant un pourcentage trop faible de chaux (au-dessous de ICL) (chaux également suspecte c'est-à-dire inactive) ont conduit à une détérioration précoce en raison de l'interaction d'humidité / changement volumétrique dans le matériau de la base routière. Conception avec accotement non étanche.	Des fines de mort-terrain dérivées du basalte en érosion ne doivent pas être utilisées pour améliorer le nivellement. La modification du calcaire doit dépasser ICL. La conception à accotement étanche est recommandée.
Basalte Weathered Gourley and Greening (1999)	Botswana	Sous tropical	Basalte érodé arraché (Grade III+) sélectionné. Nivellement hors de la norme recommandée ; PI < 12 et CBR trempé > 55.	Couche de base : On a adopté une méthodologie de construction normale. Un mètre de remblai et accotements étanches.	A donné de bons résultats avec $0,25 \times 10^6$ esa sur 14 ans.
Coral Cardno & Davies (1994) Beavan (1971)	Papoue Nouvelle Guinée	Tropical humide	Basse résistance de particule Médiocre nivellement (y compris dépassement de taille) Haute plasticité	Couche de base : <u>Spécification modifiée</u> basée sur le besoin d'une haute compaction donnant des couches denses (maximum 150 mm). La sélection de la compaction appropriée est vitale (fonction du nivellement et PI)	Adéquat pour les routes étanches à bas volume pour les types de corail définis. Différents coraux peuvent exiger différentes spécifications.
Graviers de cendre Newill et al (1987)	Ethiopie	Semi-Aride	Basse résistance de particules et haute porosité Nivellement médiocre	Couche de Base : Procédures mises au point pour contrôler la sélection ; stabilisation mécanique avec les fines de cendre et sélection vitale d'un <u>matériel de compaction</u> approprié.	Bon résultat dans l'environnement LVSR. Une étude récente (2000) a confirmé une excellente performance avec peu de détérioration en 20 ans et environ $3,0 \times 10^6$ esa.
Schiste / Phyllithe Fookes & Marsh 1981)	Népal	Subtropical à mousson	Forme d'agrégat médiocre	Procédure de traitement modifiée pour obtenir une meilleure forme.	Pour les opérations à fort apport de main d'œuvre, les techniques de concassage à la main se sont avérées efficaces pour améliorer la forme globale.

- ❑ **Group III : Gravier naturels** : Sols et graviers transportés et résiduels ne répondant pas aux normes de matériaux minimales pour une couche de base en graviers naturels.
- ❑ **Group IV : 'Duricrusts'** : Sols indurés ou partiellement indurés ne répondant pas aux normes minimums des matériaux pour une couche de base à graviers naturels.
- ❑ **Group V : Matériaux manufacturés** : comprend une gamme de matériaux synthétiques qui pourraient effectivement être re-traités comme matériaux de pavage granulaire.

La figure 1 donne des exemples de matériaux que l'on pourrait habituellement associer à chacun des groupes ci-dessus et donne une revue résumée des aspects types non-standards à l'intérieur de chaque groupe.

En théorie, les directives et autres spécifications font référence au matériau dans son état compacté / posé sur la route. Cependant il peut se produire des conflits entre l'acceptabilité du matériau tel que défini par la spécification et le caractère approprié du matériau en tant que performance technique réelle comme matériau de construction de route. Cela se produit pour les raisons suivantes :

- ❑ Applications inappropriées des méthodes d'essai
- ❑ Matériaux d'essai qui ne sont pas dans l'état final compacté / tel que construit
- ❑ Incapacité de mesurer ou d'évaluer les influences environnementales
- ❑ Caractéristiques techniques non standard inhérentes

4. LA STRUCTURE D'EVALUATION

4.1 Objectifs d'une structure d'évaluation

Dans le contexte de la conception appropriée du coût de la route sur la longévité totale et la stratégie plus large d'un développement d'infrastructure rurale, des décisions concernant l'utilisation de matériaux non-standards peuvent entraîner une matrice complexe de questions techniques, économiques et socio-environnementales. Par conséquent, il est utile d'avoir un cadre d'évaluation pour soutenir le praticien de la route qui doit prendre et ensuite justifier ses décisions concernant l'emploi ou le non-emploi de matériaux non-standards.

La structure d'évaluation, présentée à la Figure 2 et au Tableau 6, vise principalement les praticiens dans le secteur des routes étanches à bas volume qui cherchent à utiliser des matériaux localement disponibles pour réduire les coûts de construction et autres, tout en reconnaissant et en prévoyant les risques associés à la structure de la route. Cette approche est fondée sur une synthèse de connaissances pratiques et expériences actuelles acquises sur de nombreuses années dans les tropiques et les régions subtropicales. Sur la base d'une solide structure de connaissances, le but est de donner aux ingénieurs la confiance nécessaire pour adopter et promouvoir des options appropriées, d'un bon rapport coût / efficacité pour des routes étanches à bas volume de trafic. Ce niveau de confiance vient d'une compréhension des exigences imposées au matériau dans le contexte d'une couche porteuse de charge et de toute influence modifiante que l'environnement local et autres facteurs externes peuvent avoir sur sa performance. La procédure vise à fournir une ressource technique sur les personnes locales qui peuvent développer de solides arguments basés sur la technique pour influencer le gouvernement et autres agences de financement afin de pouvoir développer et mettre en œuvre des stratégies "de sélection appropriée des matériaux".

		Groupes de matériaux non standards																		
		Roches résistantes		Roches faibles								Matériaux granulaires naturels								
		Roches métamorphiques foliées	Roches Ignées de base	Dépôts de coraux récents	Marnes et calcaire peu résistant	Breches volcaniques faibles / Agglomérats	Conglomérats peu résistants	Grès peu résistant	Tuf volcanique peu résistant	Calcaire fracturé / érodé	schistes / argilites	Roches résistantes mûries aux intempéries	Sables alluviaux	Dépôts de sables argileux alluviaux	Dépôts de sables éoliens	Dépôts colluviaux	Dépôts de graviers alluviaux	Pyroclastiques volcaniques	Dépôts de sables argileux résiduels	Dépôts de graviers résiduels
Critères de spécification primaires	Fines haut PI																			
	Basse résistance des particules																			
	Mauvais nivellement																			
	Mauvaise durabilité																			
	Mauvaise forme de particules																			
Critères à impacts supplémentaires	Haute teneur en Mica																			
	Haute absorption d'eau																			
	Haute variabilité																			
	Détérioration en service																			
	Fines à bas PI																			



Caractéristiques problématiques potentielles

Figure 1 Groupes de matériaux non-standards et leurs problèmes probables

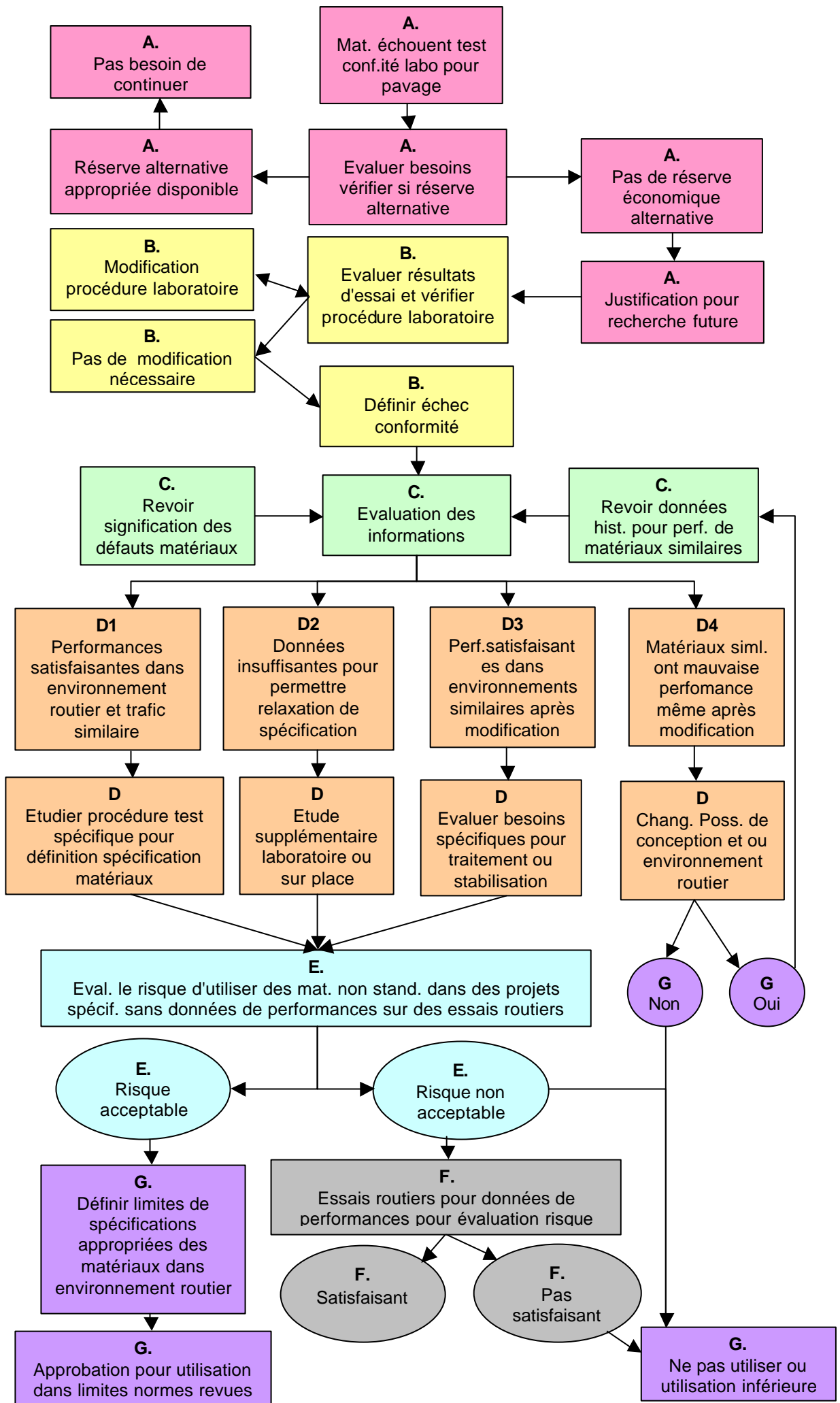


Figure 2 - Evaluation des matériaux non-standardss pour utilisation dans les pavages

Table 6 – Modules d'évaluation pour matériaux non-standards

Module	Bus
A Nécessité d'utilisation d'un matériau non standard	Identifier des raisons techniques, économiques et environnementales claires pour envisager l'utilisation de matériaux non-standards. <i>Conduisant à des raisons justifiables pour envisager plus loin l'utilisation du matériau non standard.</i>
B Définition des propriétés non-standardss	Identification et quantification des propriétés techniques qui font qu'un matériau échoue aux critères de conformité et est défini comme non standard <i>Conduisant à une définition des caractéristiques non standard du matériau</i>
C Evaluation des informations existantes	Evaluation de toutes les données techniques, économiques et environnementales se rapportant à l'utilisation possible du matériau en question comme agrégat de pavement. <i>Conduisant à l'identification des options pour continuer les recherches sur l'utilisation ou la non-utilisation du matériau.</i>
D Evaluation des options	Evaluation de la ou des options, identifiées sur la base des informations existantes <i>Conduisant à une décision de poursuivre l'une des voies suivantes :</i> <ul style="list-style-type: none"> • Une évaluation de l'incertitude technique • Une réévaluation avec un environnement modifié • Une recommandation pour le non-emploi.
E Evaluation de l'incertitude technique	Définir les incertitudes se rapportant à l'utilisation du matériau non standard et identifier tous risques techniques et socio-économiques conséquents <i>Conduisant à la décision de savoir si les incertitudes techniques sont un risque acceptable pour le projet ou non, c'est-à-dire :</i> <ul style="list-style-type: none"> • Risque acceptable à condition que les matériaux obéissent à une norme de conception ou de construction modifiée. • On n'approuve pas l'utilisation immédiate mais on recommande que des essais pleine échelle soient effectués pour être approuvés pour une utilisation inférieure dans l'intérim. • Risque probablement pas acceptable de toute façon
F Essais sur route	Identifier les caractéristiques de performances à long terme et de construction du matériau non standard. <i>Conduisant à la décision de savoir si le matériau est capable de remplir la tâche désignée dans la route, sur la base des données actuelles sur les performances routières.</i>
G Approbation ou non-approbation pour utilisation	Décider, sur la base des informations maintenant disponibles, si l'on doit utiliser ou non le matériau non standard dans l'environnement routier défini. <i>Conduisant à une recommandation d'utilisation ou non-utilisation.</i>

4.2. Description de l'évaluation

La Figure 2 présente un cadre d'évaluation pour estimer le caractère approprié des matériaux de couche de base et couche de fondation qui ont échoué aux critères standards de conformité mais qui néanmoins devraient sur la base d'un jugement ou d'une expérience technique solide, avoir le potentiel d'une performance satisfaisante en service. Ce cadre définit une série logique d'actions et de résultats qui mènent à l'identification des

problèmes et finalement à l'évaluation du niveau de risque acceptable ou non pour la sélection du matériau.

Le but de l'organigramme est de mettre en lumière des questions clés qui doivent être adressées dans l'évaluation avant de prendre une décision d'utiliser, modifier ou rejeter le matériau. Cette procédure suit une séquence de modules :

- ❑ Identification du besoin d'utilisation
- ❑ Définition des propriétés non standard
- ❑ Evaluation des informations existantes
- ❑ Résultats de l'évaluation
- ❑ Evaluation de l'incertitude technique
- ❑ Essais sur route
- ❑ Approbation ou non-approbation pour utilisation

Le Tableau 6 résume les activités clés dans chacun de ces modules

Au début des approches à l'évaluation, il sera nécessaire de justifier l'étude du matériau non standard et son utilisation. Cette justification peut entraîner les questions économiques, techniques, sociales et environnementales. A d'autres points clés au cours de l'évaluation où se trouveront des implications importantes du point de vue coût ou temps, il sera nécessaire de justifier la continuation de l'étude. Cela peut nécessiter une réévaluation des questions d'origine et des hypothèses. La non-justification de la continuation aboutira à l'exploration et l'évaluation de ressources de matériaux en alternative.

Questions de justification

Economique

- ❑ Les sources alternatives entraînent des transports sur longue distance
- ❑ Des matériaux de plus haute qualité sont nécessaires pour des développements à plus long terme
- ❑ Les sources alternatives justifient les implications de coût et de temps

Environnementale

- ❑ Des questions d'impact environnemental sont associées aux sources alternatives (santé, sécurité, pollution, érosion, beauté naturelle)

Technique

- ❑ Il existe au moins certaines preuves que le matériau non standard peut donner de bons résultats
- ❑ Il n'y a pas d'autres sources alternatives en quantité suffisante

5. UN EXEMPLE DE LA PROCEDURE D'EVALUATION

5.1. Le projet

Le département des routes du Ministère des Travaux et Communications du Botswana (MOWC) et TRL ont mené un programme de recherche sur la performance de matériaux de couche de base en calcrète entre 1978 et 1993, dans le Kalahari, sur la route Jwaneng-Kanye, entraînant des essais routiers expérimentaux à pleine échelle. Les sections

suivantes illustrent comment la Figure 2 peut être utilisée comme aide de prise de décision dans le contexte de l'utilisation de matériaux non-standards pour une route LVSR.

5.2. Historique

Le calcrète se forme par suite de la précipitation de solution de carbonate dans un matériau granulaire hôte (par exemple sable ou autre sol). Le carbonate en solution peut être transporté dans un environnement où ses solutions deviennent de plus en plus instables et concentrées jusqu'au point où une précipitation a lieu. Dans des conditions de température élevée continue et de basse humidité, les taux d'évaporation sont élevés, ce qui contribue à la précipitation de carbonate dissous. Les fines particules de carbonate précipité se coalescent et se concentrent avec le temps pour produire des nodules tendres à l'intérieur du matériau hôte, cimentant ensemble les particules de sol. A mesure que le matériau hôte devient de plus en plus cimenté par les particules de carbonate et que les vides sont remplis, la structure du sol devient de plus en plus dense. Selon le degré de consolidation le calcrète résultant peut varier d'un sable calcaire non aggloméré jusqu'à un dépôt nodulaire ou massif sous forme de plaques. Le degré d'induration influence les propriétés techniques résultantes et peut être utilisé pour classer grossièrement les types de calcrète. Bien qu'on puisse définir cinq groupes de calcrète, les caractéristiques techniques à l'intérieur de ces groupes peuvent être très variables (Netterberg, 1971). La nature du dépôt, la méthode de sélection et d'extraction, le mode d'exploration et le type de matériel utilisé sur le site, ainsi que les méthodes d'essais techniques elles-mêmes, tout cela peut influencer les résultats d'essais rapportés.

5.3. Description des modules d'évaluation

Les activités clés, sur la base des Figures 2 et du Tableau 6 sont définies ci-dessous :

A. Nécessité d'utilisation

- I. Source prouvée existante d'agrégats de basalte pour couche de base demandait 300 à 500 km of de transport. Des implications importantes du point de vue coût et environnement étaient associées à ces longues distances de transport. Il n'y avait pas d'autre matériau conforme à la spécification plus près.
- II. Il existait certaines preuves de la performance technique satisfaisante d'un calcrète à gravier provenant de projets routiers ruraux et sans surface.
- III. Une étude de l'utilisation des calcrètes a donc été considérée justifiée et acceptée par le Ministère des Travaux et Communications du Botswana (MOWC, 1982)

B. Définition des propriétés non standard

- I. Les procédures d'essai ont été évaluées comme étant acceptables quant à la procédure et au caractère approprié. Les essais particulièrement pertinents étaient le rétrécissement linéaire, le total des sels solubles et le test de résistance des particules aux pinces. Un tableau d'évaluation a été élaboré pour les calcrètes quant aux critères de spécification

- II. Les sources de calcrète potentielles ont été définies comme étant de caractère très variable et souvent hors de la norme standard en ce qui concerne le criblage, la plasticité et la résistance des particules. Une tendance à la fragmentation sous compaction a également été observée.

C. Evaluation des informations existantes

- I. Plusieurs normes ont été revues dans le contexte de l'environnement routier et des caractéristiques techniques du calcrète. La norme du MOWC a été évaluée comme étant la plus applicable comme point de départ pour le développement de nouveaux critères d'acceptabilité
- II. Les questions clés concernant les propriétés techniques du calcrète ont été perçues comme étant le pourcentage des particules faibles, sa réaction à l'humidité et les mauvaises caractéristiques de criblage. Cela, qui pouvait conduire à une mauvaise capacité de support de charge, un effondrement ou un cisaillement et une dégradation sous le trafic.
- III. L'étude a conclu qu'il n'y avait pas suffisamment d'informations disponibles pour permettre la relaxation des normes sans entreprendre des recherches supplémentaires (Option D2).

D. Evaluation des options

- I. Des essais de laboratoire supplémentaires ont été entrepris, concentrés sur la susceptibilité à l'humidité et son impact sur la résistance compactée. Pour cela, un programme d'essai tri-axial du Texas a été lancé.
- II. Il n'existait pas de route en calcrète similaire pour obtenir des données de performance. Cependant, les résultats d'essais supplémentaires en laboratoire étaient suffisamment prometteurs pour justifier la poursuite d'une évaluation technique de l'incertitude et des risques.

E. Evaluation de l'incertitude technique

- I. L'évaluation a montré qu'il restait une importante incertitude quant à la performance à long terme, en particulier car les essais supplémentaires avaient exposé la sensibilité du calcrète fin à l'humidification. A la lumière de cet important risque identifié il a été conclu que le calcrète ne pouvait pas être recommandé sans autres études supplémentaires. Il a donc été décidé à ce stade d'inclure des options de stabilisation mécanique et chimique dans des études supplémentaires.
- II. Une recommandation pour des essais routiers à long terme a été faite, qui comprenait une couche de base en calcrète aussi bien stabilisée que non stabilisée. Le MOWC du Botswana, comme principal intéressé, a accepté cette procédure.

F. Les essais routiers

- I. La conception des essais était basée sur la variabilité minimale ; tous les facteurs d'environnements routiers restaient constants sauf le type de matériau et son état stabilisé. Les essais comprenaient quatre sections avec des types de calcrète à stabiliser et une section chacune de chaux, ciment et calcrète fin mécaniquement stabilisé. La performance de construction et en service a été surveillée, pendant 13 ans.

- II. L'analyse des résultats des essais a permis de définir les limites de l'utilisation pour chacun des matériaux non stabilisés pour certains niveaux de trafic. Les sections d'essai de stabilisation chimique et mécanique n'ont pas donné de bons résultats

G. Approbation ou non-approbation pour utilisation

- I. Sur la base des résultats des essais, il a été possible de recommander l'utilisation des quatre types de calcrète comme couche de base dans l'environnement routier défini. Des normes et directives pour utilisation appropriée ont été tracées sur cette base, Tableau 7.
- II. L'utilisation du calcrète fin stabilisé chimiquement et mécaniquement n'a pas été recommandée.

Tableau 7 – Normes revues pour les bases en calcrète (accotements étanches) par rapport aux recommandations du manuel d'origine pour la conception des routes au Botswana (BRDM) (échantillons d'emprunts)

Propriété du matériau	BRDM d'origine	Spécifications revues sur la base du trafic variable (esa)				
		0.3 x10 ⁶	0.5 x10 ⁶	0.7 x10 ⁶	1.0 x10 ⁶	1.5 x10 ⁶
Niveau maximum du trafic (esa)		0.3 x10 ⁶	0.5 x10 ⁶	0.7 x10 ⁶	1.0 x10 ⁶	1.5 x10 ⁶
Taille Maximum	53	75	75	75	75	75
Passe le tamis 0,425 mm (maxi)	10-30	80	70	60	50	50
Limite liquide (maxi)	25	70	65	60	50	40
Indice plastique (maxi)	6	30	25	20	15	12
LS x % passant le tamis de 0,425 mm (maxi)	170	1000	800	600	400	250
CBR minimum (trempage à 4 jours)	80 ^(a)	35	40	50	60	60

(a) A compaction 98 % mod. AASHTO (AASHTO T180, 1986)

5.4. Utilité et application

L'exercice historique ci-dessus a indiqué l'utilité d'une approche systématique pour l'évaluation de matériaux de base routiers non-standards. Les principes établis pour l'évaluation des matériaux de couche de base peuvent raisonnablement être adaptés pour traiter des terrassements et des matériaux importés de couche de fondation (sous-couche). La sélection et l'utilisation appropriées des matériaux de remblai peuvent être d'une importance particulière dans les terrains montagneux ou vallonnés pour lesquels les matériaux localement disponibles peuvent ne pas satisfaire des critères d'acceptabilité internationalement acceptés. Une approche pragmatique à la conception des remblais alliée à une évaluation rationnelle des propriétés de remblai peut mener à un classement approprié des matériaux.

6. EVOLUTIONS ULTERIEURES

La procédure d'évaluation définie dans les sections précédentes n'est qu'une structure pour rassembler les informations existantes de façon effective et prendre des décisions concernant la recherche et l'évaluation supplémentaires des risques. Son utilité pratique dépend de la base de connaissance avec laquelle elle peut être alliée. La base de connaissance des matériaux non-standards et de leurs environnements d'utilisation bénéficieraient de travaux supplémentaires dans trois domaines clés :

- *Analyse de l'historique et recueil des recherches archivées.* Des quantités importantes d'informations existantes sur les propriétés et l'application des matériaux non-standards et leur utilisation sont disponibles mais ont besoin d'être rassemblées et stockées sous forme facilement accessible. Il est aussi nécessaire de relier cette information à des ensembles de données séparées sur les environnements routiers.
- *Nouvelle recherche sur les matériaux et les environnements routiers pas encore étudiés.* Bien que le corpus existant d'informations sur les matériaux non-standards soit important, il demeure encore d'importantes lacunes, en particulier en ce qui concerne leur utilisation dans des environnements routiers définis.
- *Mise en service de moyens efficaces de dissémination de la recherche parmi une gamme complète de praticiens routiers.* Le transfert effectif des recherches en avantage technique routier pratique pour les pays en développement continue à être une étape difficile qui exige de plus en plus d'attention. L'utilisation d'une approche rationnelle vis-à-vis de l'utilisation d'un matériau non standard peut être comprise comme moyen de débloquer les connaissances contenues dans les recherches, dont la dissémination sera aidée par l'utilisation de sites Web tel que le site Web de liens sur le transport récemment établi (transport-lonks.org). Cela constitue un pas important vers la possibilité de surmonter les barrières de dissémination.

7. CONCLUSIONS

L'utilisation d'une philosophie appropriée de la conception peut être efficacement utilisée pour apporter des options de routes étanches pour des routes à bas volume qui seraient sinon considérées comme convenant au mieux à la conception couche à gravier.

L'utilisation de graviers naturels non-standards, localement disponibles, est un aspect vital de ce concept de la conception appropriée. Il est cependant nécessaire de communiquer la confiance dans l'utilisation de matériaux qui auraient été normalement classés inacceptables ou, au mieux, marginaux.

Un cadre d'évaluation a été mis au point qui cherche à fournir une base transparente et techniquement sûre pour prendre des décisions rationnelles sur l'utilisation ou la non-utilisation de matériaux non-standards. L'analyse historique de l'utilisation de matériaux non-standards a confirmé l'utilité de cette procédure.

D'autres évolutions sont requises qui viseraient à relier la procédure d'évaluation à une base de connaissance accessible et assurer leur utilisation pratique concrète.

BIBLIOGRAPHIES

Beavan, P J, 1971. Coral and other soft limestone in road building [Coraux et autres calcaires tendres dans la construction des routes]. TRL Overseas Bulletin No. 15. Transport Research Laboratory, Crowthorne Berkshire.

Brunschwig G. 1989. Marginal materials. State of the art [Matériaux marginaux, la situation actuelle]. PIARC, 110pp

Cardno & Davies PNG Pty Ltd, 1994. Research on coronous materials and their use in road construction. Report submitted to PNG Government

CIRIA, 1988. Laterite in road pavements [La latérite dans les pavements routiers]. CIRIA special publication 47, Charman J H ed. Westminster, London.

Fookes P G & Marsh A H, 1981. Some characteristics of construction materials in the low to moderate metamorphic grade rocks of the Lower Himalayas of East Nepal [Quelques caractéristiques des matériaux de construction dans les roches de qualité métamorphique basse à modérée des bas Himalayas du Népal Oriental]. 2 : Engineering characteristics [Caractéristiques techniques]. Proc Inst. Civil Eng., Vol 70, 139-162.

Gidigasu M D & Mate-Korley E N, 1984. Tropical gravel paving materials specifications in relation to the environment [Normes de matériaux de pavage de graviers tropicaux par rapport à l'environnement]. Proc. 8th Regional Conf. for Africa on SMFE, Harare. 267-273

Gourley C S & Greening P A K, 1997. Use of sub-standard laterite gravels as roadbase materials in southern Africa [Utilisation des graviers de latérite sous standard comme matériaux de couche de base en Afrique du Sud]. UNB International Symposium on Thin Pavements, Surface Treatments, and Unbound Roads [Symposium UNB International sur les pavements minces, les traitements superficiels et les routes non liées]. Proceedings of the International Symposium held at the Wu Conference Centre University of Brunswick. June 24-25 1997.

Gourley C.S and Greening P A K, 1999a. Performance of low-volume sealed roads: results and recommendations from studies in southern Africa [Performances des routes étanches à bas volume : résultats et recommandations d'après études en Afrique du Sud]. Vol 1 of Collaborative Research Programme on Highway Engineering Materials in the SADC Region. TRL Project Report PR/OSC/167/99.

Grace H & Toll D G, 1987. Recent investigations into the use of plastic laterites as bases for bituminous surfaced low-volume roads [Récentes études sur l'utilisation des latérites plastiques comme base des routes à bas volume de trafic et surfaces bitumineuses]. 4th Int. Conf. On Low Volume Roads. Transport Res. Rec. 1106, 80-88

Greening P A K and Rolt J R, 1997. The use of marginal materials for road bases in the Kalahari region of southern Africa [L'utilisation des matériaux marginaux pour les bases routières dans la région du Kalahari de l'Afrique du Sud]. UNB International Symposium on

Thin Pavements, Surface Treatments, and Unbound Roads [Symposium International UNB sur les pavements minces, les traitements de surface et les routes non liées]. Proceedings of the International Symposium held at the Wu Conference Centre University of Brunswick. June 24-25 1997.

Lebo J. & Schelling D., 2001. Design and appraisal of rural transport infrastructure, ensuring basic access for rural communities [Conception et évaluation de l'infrastructure des transports ruraux assurant un accès de base aux communautés rurales]. World Bank Technical Paper No. 496.

Lionjanga A V, Toole T & Newill D, 1987. The development of specifications for the use of calccrete in lightly trafficked roads in Botswana [La mise au point de normes pour l'utilisation du calcrète dans les routes à faible trafic du Botswana]. Proc. 4th Conf. on Low Volume Roads, TRB, Washington.

Ministry of Works & Communications, 1982. Botswana Road Design Manual [Manuel de conception des routes du Botswana]. Roads Department

Netterberg F, 1971. Calccrete in road construction [Le calcrète dans la construction des routes]. CSIR Report 286, NITRR, Bull. 10

Newill D, Robinson R & Kassaye Akilu, 1987. Experimental use of cinder gravels on roads in Ethiopia [Utilisation expérimentale des graviers de cendre sur les routes d'Ethiopie]. 9th Reg Conf. For Africa SMFE, Nigeria.

Petts R (2001) Rationale for the compilation of international guidelines for low-cost sustainable road surfacing [Arguments pour la compilation de directives internationales pour des surfaces de routes valables à bas prix]. Low Cost Road Surfacing Project, Working Paper No. 1. Intech Associates - DFID.

Pinard M I & Jakalas P, 1987. Durability aspects of chemically stabilised weathered basaltic materials for low-volume roadbase construction [Aspects de la durabilité des matériaux basaltiques mûris aux intempéries chimiquement stabilisés pour la construction d'une base routière à bas volume]. Proc. 4th Low-Volume Roads Conf, TRB Washington D C.

Robinson P, Oppy T and Giumarra G, 1999. Pavement materials in road building, guidelines for making better use of local materials [Matériaux de pavement dans la construction des routes, directives pour mieux utiliser les matériaux locaux]. Australian Road Research Board (ARRB) Transport Research Ltd.

Roughton International, Birmingham University and Nottingham University, 2000. Appropriate and efficient maintenance of low cost rural roads in developing countries [Maintenance appropriée et efficace des routes rurales à coût peu élevé dans les pays en développement]. Guidelines on materials and borrow pit management for low cost roads. DFID UK.

Toole T & Newill D, 1987. A strategy for assessing marginal quality materials for use in bituminous roads in the tropics [Stratégie pour évaluer les matériaux de qualité marginale pour l'utilisation dans les routes bitumineuses des Tropiques]. Proc. PTRC Transp. & Planning Meeting, Univ. Bath, 1-27.

TRL, 1993. A guide to the structural design of bitumen surfaced roads in tropical and sub-tropical countries [Guide de conception structurelle des routes à surface de bitume dans les pays tropicaux et sub-tropicaux]. Transport Research Laboratory, Overseas Road Note 31

TRL, 1999. A guide to the pavement evaluation and maintenance of bitumen surfaced roads in tropical and sub-tropical countries [Guide de l'évaluation des pavages et de la maintenance des routes à surface de bitume dans les pays tropicaux et sub-tropicaux]. Transport Research Laboratory, Overseas Road Note 18

TRL, 2000. A guide to the selection and use of road construction materials [Guide de sélection et utilisation des matériaux de construction routiers]. Transport Research Laboratory Report (draft project report R6898) to DFID.

Woodbridge M E, Greening P A K, & Newill D, 1987. Evaluation of weak aggregates for surface dressing on low-volume roads [Evaluation des agrégats faibles pour la préparation de surface sur les routes à bas volume]. TRL UK Transport Research Record 1291

WSP – DFID (2001). Rural road surfacing briefing and workshop report [Briefing et rapport d'atelier sur le surfacage des routes rurales]. 2nd Rural Transport Project (RT2) for the Ministry of Transport, Socialist Republic of Vietnam [2^{ème} projet de transport rural (RT2) pour le Ministère des Transports, République Socialiste du Vietnam].