

NOUVELLE TECHNIQUE DE
CONSTRUCTION DES CHAUSSEES
AVEC UN TRAITEMENT IN-SITU

A. KHALDOUN

Résumé :

L'utilisation des matériaux nobles pour construire ou renforcer des routes n'est pas toujours économiquement rentable. Le recours à des techniques spécifiques, favorisant l'utilisation des matériaux locaux, permet non seulement de palier aux problèmes de pénurie des matériaux nobles mais aussi d'améliorer les performances structurelles de la route. L'objectif de la présente communication est de présenter l'utilité de traitement des matériaux aux liants hydrauliques à travers les résultats des expérimentations réalisées par SINTRAM.

1- INTRODUCTION

Lorsqu'on a construire des routes ou de les renforcer, la recherche des matériaux nobles couramment utilisés pour les techniques traditionnelles vient en premier lieu à l'esprit. Mais quand on se trouve devant une situation de pénurie de matériaux nobles ou devant des matériaux qui présentent quelques défauts par rapport aux spécifications relatives aux techniques d'apport (dureté insuffisante, excès de plasticité, excès de fines...), il faut soit aller les chercher à des endroits lointains en supportant les surcroûts de transport, soit faire appel à des techniques spécifiques pour utiliser les matériaux locaux.

Pour faire face aux problèmes de pénurie de matériaux ou au manque de leurs performances, les pays développés ont innové des techniques spécifiques à ces problèmes.

Par ailleurs, avec le développement économique de ces pays, il s'est posé le problème de routes ayant un trafic fort, lourd et agressif.

Suite à des recherches et expérimentations, ces pays ont conclu que la meilleure solution est technique de traitement aux liant, hydrauliques notamment "le ciment". Au Maroc depuis les années 80, plusieurs recherches et expérimentations ont été menées par différents intervenants dans le domaine routier. Ces recherches ont été

concluantes et sont actuellement à la phase élaboration d'une directive sur la technique de la grave traitée au ciment, par le Centre National d'Etudes et de Recherches Routières.

Le présent exposé a pour objectif une sensibilisation sur l'intérêt de la technique de traitement aux liants hydrauliques et sur la possibilité de l'adopter comme solution notamment en cas de pénurie de matériaux nobles.

2 PRESENTATION DE LA TECHNIQUE DE TRAITEMENT AUX LIANTS HYDRAULIQUES (Chaussées semi-rigides)

a- Définitions - Objectifs

La technique de traitement aux liants hydrauliques consiste en la réalisation d'un mélange intime d'un matériau qui peut être une grave ou un sol avec un ou plusieurs liants hydrauliques, qui peuvent être le ciment, la cendre volante, le laitier, la chaux vive ou éteinte et ce en présence d'eau.

En fonction du matériau d'une part et du liant hydraulique d'autre part on parle d'une grave ciment, d'un sable ciment, d'un sol ciment ou d'un sol chauxetc.

Les objectifs du traitement des matériaux aux liants hydrauliques sont :

- L'amélioration, même temporaire, des propriétés physiques et géotechnique du matériau qui permet essentiellement de le mettre en oeuvre et de le compacter avec des engins classiques de terrassement et de compactage ;
- La stabilisation des matériaux qui permet de revaloriser, de manière substantielle, ses caractéristiques à moyen et à long terme, afin d'obtenir un matériau stable en permanence, possédant des propriétés mécaniques et des résistances durables notamment sous l'action de l'eau.

Dans le premier cas le traitement concerne principalement la construction de remblais où la mise en oeuvre de couches de forme pour rendre le sol maniable, compactable et viable pour les engins de chantier.

Dans le second cas, il permet d'obtenir un matériau durable et plus rigide, pouvant être utilisé dans le corps de la chaussée afin d'en améliorer les performances structurelles pour faire face aux sollicitations de la circulation et de l'environnement.

L'utilisation de matériaux marginaux peut être préconisée pour des raisons liées à l'économie ou à la protection de l'environnement ou bien à l'économie de l'énergie.

Cependant, ces matériaux peuvent ne pas être conformes aux spécifications en vigueur (Granularité non adéquate, Plasticité élevée, mauvaise Forme); Ils doivent alors être traités pour répondre aux exigences de spécifications non pas d'identification mais de comportement : Portance, Résistance à l'eau, au gel le cas échéant . Ces performances peuvent être obtenues par traitement in-situ ou en centrale.

L'utilisation de matériaux traités dans la couche de chaussées appropriée dépend des caractéristiques de ces matériaux mais également du trafic affectant la route.

En général, pour les chaussées à fort trafic, l'utilisation d'un matériau marginal traité sera limitée à la couche de fondation alors que pour les chaussées à faible trafic, son utilisation pourra être également étendue à la couche de base.

Les granulats de qualité élevée, répondant strictement aux spécifications relatives à la granularité, la plasticité, la dureté, la propreté ...etc et qui sont accessibles de point de vue financier, sont utilisés pour obtenir des couches procurant à la chaussée une portance élevée et une résistance améliorée à la fatigue. Ceci est recherché dans le cas d'un trafic lourd.

Les effets du traitement aux liants hydrauliques varient donc selon :

- Les caractéristiques du matériau lui même,
- Le type du liant utilisé,
- Les dosages du mélange,
- Les méthodes de mise en oeuvre qui doivent être compatibles avec les objectifs recherchés.

A titre d'illustration de ces effets on parlera ci-après des cas de graves traitées au ciment.

b- Effets du traitement au ciment d'une couche granulaire

Pour illustrer, sur le plan technique, l'intérêt du traitement au ciment d'une couche granulaire, il est utile de rappeler comment se transmettent les charges de la surface de la chaussée au sol support, et ce dans le cas d'une chaussée souple d'une part et dans le cas d'une chaussée semi-rigide d'autre part.

Tout d'abord la nécessité d'une structure de chaussée est justifiée par le fait que le sol naturel seul ne peut pas supporter les charges des véhicules notamment les poids lourds. En effet l'apparition rapide des dégradations types ornières rendra la route impraticable.

La réponse à deux questions permettra d'apprécier l'effet du traitement au ciment :

- Que se passe-t-il si on interpose entre le sol et la roue une couche granulaire non liée ?
- Que se passe-t-il si on interpose entre le sol et la roue une couche granulaire traitée au ciment ?

Dans le premier cas, la couche granulaire travaille uniquement en compression, elle transmet au sol support la totalité de la charge en la répartissant d'une façon non uniforme. Juste pour schématiser ce mode de fonctionnement (fig1) imaginons une charge P sur une bille ; Celle-ci va transmettre $P/2$ à chacune des 2 billes sous-jacentes qui à leur tour transmettent les charges de la même façon et ainsi de suite...

Lorsque la pression transmise au sol dépasse la résistance de ce dernier il y aura poinçonnement du sol qui apparaît en surface sous forme de déformations qui gênent la circulation.

Dans le second cas, l'existence de liaisons entre les grains modifie la transmission de la charge (fig 2). En effet il y'a deux effets ;

- Répartition uniforme de la charge sur le sol support. Donc contraintes de compression sur le sol relativement faibles ;
- Apparition de deux types de contraintes au sein de la couche liée :

* Une contrainte de compression dont la valeur est très inférieure à la résistance en compression du matériau,

* Une contrainte de traction par flexion à la base de la couche traitée.

En conclusion une structure routière est écran entre le véhicule et le sol qui a pour but de répartir les charges sur une plus grande surface et de réduire les pressions transmises au sol jusqu'à une valeur admissible.

Par son mode de fonctionnement une couche granulaire liée présente comme avantage un important étalement des efforts au niveau du sol support ; ce dernier n'étant que peu sollicité. Ceci est d'autant plus recherché que le trafic est lourd et agressif ; dans ce cas une couche granulaire non liée, même à grande épaisseur, risque de transmettre au sol une charge qui dépasse la limite.

admissible de ce dernier. C'est justement dans ce cas où la technique de traitement au ciment est avantageuse.

3- COMPARAISON DU TRAITEMENT EN CENTRALE AVEC LE TRAITEMENT EN PLACE

Au niveau de la mise en oeuvre, on distingue le mélange en place et le mélange en centrale.

a- Mélange en place

Cette méthode exige une attention particulières aux points suivants :

- L'épandage du liant dépend, en premier lieu, du type d'épandeuse utilisée (dosage en fonction du volume ou du poids). Le dosage en poids donne des résultats meilleurs que celui en volume (un coefficient de variation de 8 % contre 10 à 20 %).
- Il faut respecter la teneur en eau optimal,
- La profondeur maximale de malaxage est de 40 cm pour les sols en gravier sablonneux ayant un grain maximum < 60 mm. En cas d'un gravier au grain maximum 0 70 mm, on utilise un concasseur mobile pour réduire les grains grossiers à un diamètre < 40 mm suivi par l'engin de malaxage.

En cas de sol sableux sans gros éléments la profondeur maximale de malaxage est de 50 cm.

b- Mélange en centrale :

On distingue deux types de centrales de malaxage :

- Centrale de malaxage discontinu,
- Centrale de malaxage continu,

Il est essentiel de choisir le type de centrale qui répond le mieux au débit requis. Pour les projets d'envergures, il faut contrôler la centrale avant le commencement des travaux.

Le tapis d'alimentation de la trémie de dosage des granulats est la cause principale de la ségrégation. Celle ci peut être prévue en installant un dispositif prévenant l'éjection des particules grossières.

c- Comparaison :

Chacun des traitements précités (mélange en place ou en centrale) présente des avantages et des inconvénients qui sont récapitulés dans le tableau ci-après :

	Avantages	Inconvénients
Traitement en centrale	Maîtrise des dosages maîtrise de malaxage	Transport : * Ségrégation * Risque d'évaporation de l'eau * Grande distance
Traitement en place	Coût faible de transport Coût global	Personnel Attention aux : * Dosage * épaisseur de malaxage

4- TECHNIQUE DE BROyage SUR PLACE

a- Historique

Dans le temps les techniques routières étaient basées sur l'utilisation massive de la main d'oeuvre (pavé, pierre cassée en macadam et hérisson), et avec le progrès technologique et par souci d'économie la mécanisation des techniques routières a vu le jour et sont apparus sur les marchés les concasseurs, les broyeurs fixes, les niveleuses,.....etc.

La mécanisation a posé de nouveaux problèmes de fabrication des matériaux qui doivent respecter un ensemble d'exigences liées entre autres à la granulométrie et à la propreté, et ce pour résister aux sollicitations dues au trafic qui a connu une évolution importante aussi bien en nombre de véhicules par jour qu'en agressivité.

Pour faire face à ces problèmes posés par ce type de routes, il a été nécessaire d'innover un matériel qui permet de satisfaire les exigences de fabrication des graves et de leur mise en oeuvre. Ainsi ont vu le jour les différents types de machines de

fabrication et de mise en oeuvre notamment les installations de concassage et les broyeurs.

Ces broyeurs dont les caractéristiques techniques diffèrent en fonction du constructeur et de l'usage avaient plusieurs utilisations :

- Broyage des pierres des chemins ruraux ou forestiers,
- Broyage des pierres dans les champs,
- Broyage des macadams,
- Broyage des bois,
-

b- Présentation du broyeur :

Le broyeur à pierres est tracté par un tracteur de 200 chevaux de puissance. Il comprend essentiellement le Rotor, l'Enclume et la Coque.

Le rotor est le système porteur de 3 rangés d'axes de porte marteaux. Ces marteaux en acier à haute limite élastique sont rechargés d'éléments carburés anti-abrasion et rechargeables au fur et à mesure de leur usure.

L'enclume est le système qui soulève les pierres posées par terre à un niveau où les marteaux peuvent les casser.

La coque est un monobloc en acier rigide qui sert de couverture pour empêcher la perte des particules broyées et limitant la propagation de la poussière.

Les caractéristiques du broyeur utilisé exposé ci-après sont les suivantes :

- Profondeur de pioche : 40 cm ;
- Largeur de travail : 250 cm ;
- Prise de force : 1000 tours ;
- Entraînement double : gauche et droite ;
- Poids : 4 tonnes
- Endurance et résistance mécanique : 300 m/h ;
- Broyeur tracté par un tracteur de 200 cv et équipé d'une vitesse rampante (300 m/h).

c- Fonctionnement :

Pendant l'avancement du broyeur le rotor tourne en sens inverse de l'enclume frappant ainsi les pierres de bas en haut. L'énergie de broyage est fonction de la vitesse d'avancement, de la vitesse de rotation du rotor et du nombre de passes (fig 3). En fonction de la dureté des pierres et de leurs dimensions on adopte une certaine vitesse de rotation du rotor en un nombre de passes préalablement déterminés par une opération d'étalonnage. La vitesse de translation recommandée par le constructeur est de 6 km/h (c'est la vitesse de moindre usure) ; la vitesse de rotation peut atteindre 3000 tours par minute.

d- Etalonnage :

Pour une utilisation optimale du broyeur plusieurs essais de broyage ont été réalisés sur deux types de pierres de dureté différentes. Lors de ces derniers ont été testées les épaisseurs de pierres, leur répartition par unité de surface ainsi que leur dimensions. La photos ci-après illustre les dimensions des pierres, leur répartition en surface d'une part et le produit broyé après une passe et 1500 tours par minute de rotation du rotor. On constate une réduction importante de la granulométrie.

En fonction de la nature de la pierre on obtient une granulométrie plus ou moins discontinue. On a alors pensé à la stabilisation de la pierre broyée par un matériau correcteur comportant des éléments plus fins.

5- TECHNIQUE DE STABILISATION MECANIQUE

a- Importance de la granulométrie

La granulométrie d'un matériau joue un rôle essentiel à la mise en oeuvre sur sa compactabilité et sa traficabilité ainsi que sur les performances mécaniques. L'expérience et les études ont conduit à définir des fuseaux avec un diamètre maximal limité pour éviter la ségrégation et une teneur en fine dans un interval donné pour concilier Cohésion et Sensibilité aux écarts de teneur au eau. Le tableau n° 1 ci-après regroupe des exemples de fuseaux granulaires pour routes non revêtues proposés par différents organismes CEBTP, LPEE et le CNER.

b- Stabilisation mécanique :

Un matériau présentant de bonnes caractéristiques intrinsèques (dureté par exemple) mais une mauvaise granulométrie peut être corrigé à l'aide d'un autre matériau pour avoir un mélange granulaire satisfaisant qui rentre dans un fuseau granulométrique

donné : cette correction granulaire qui donne au mélange une stabilité s'appelle "Stabilisation mécanique »

Cette technique a un grand champ d'utilisation pour les routes rurales notamment celles non revêtues ; En effet souvent il s'agit de chantier de petite taille ou un gisement alluvionnaire juste à côté peut suffire moyennant éventuellement une correction granulaire à l'aide parfois même du sol support.

6- COMBINAISON BROYAGE SUR PLACE- STABILISATION MECANIQUE

a- Idée de base

En l'absence d'un système de criblage pour ces broyeurs mobiles, il est difficile d'avoir une granulométrie qui rentre dans un fuseau surtout quand ce dernier n'est pas suffisamment large. De ce fait le recours à la technique de **stabilisation mécanique** (correction granulaire) est bien justifié.

b- Méthodologie

A priori, pour un matériau donné, on ne connaît pas la granulométrie qu'on obtiendra après n passes du broyeur. Mais l'exécution des travaux de broyage conformément aux résultats d'étalement donne un matériau dont la granulométrie doit être analysée. Une fois sa granulométrie est connue, une simple étude de formulation permettra d'arrêter les propositions de chaque matériau du mélange granulaire constitué du matériau broyé et du matériau d'apport choisi.

Cette étude fait référence à un fuseau granulaire dans lequel on cherche à ce que la courbe granulométrique du mélange granulaire rentre. Ensuite il suffit de respecter sur chantier la formulation arrêtée en assurant une homogénéisation du mélange et poursuivre les travaux de nivellement d'arrosage et de compactage.

c- Champ d'emploi

Le champ d'utilisation de cette technique est là où la pierre est abondante. Elle a donc un champ plus large que la technique des pierres cassées qui nécessite une dimension minimale des pierres et qui doivent être taillées manuellement. C'est une solution intermédiaire entre la technique de pierres cassées qui nécessite une utilisation massive de la main d'oeuvre qualifiée et la technique des graves qui nécessite une mécanisation importante.

Les alluvions des oueds par exemple peuvent être utilisés entièrement, même les éléments de faibles dimensions et le broyage donnera une bonne amélioration de l'angularité.

7- EXPERIMENTATION SUR LE CT 6714

a- Présentation du site

Il s'agit du chemin tertiaire CT 6714, qui correspond dans le nouveau classement du réseau routier à la route régionale RR 302.

Ce chemin relie Demnate à Ait Blal en passant par Iwaridn.

A long terme ce chemin peut faire partie de l'itinéraire reliant les provinces d' Azilal et de Ourzazate. Le Pk 6+000 du chemin se situe au pont naturel Iminifri à Demnate.

Une visite du CT 6714 à été effectuée par SINTRAM en présence du Chef de service Infrastructures de la DTP d'AZILAL. Les observations qui ont été relevées sont les suivantes :

- Du pk 0+000 au pk 6+000 : chaussée revêtue (non concernée par l'expérimentation).
- Au delà du pk 6+000 et jusqu'à Oued Rhzef : Piste non revêtue dont l'état diffère d'une section à l'autre. On constate :
 - * Des zones où il y a du blocage réparti d'une manière homogène mais difficilement circulaire par les véhicules,
 - * Des sections de blocage non homogène en surface, les pierres ont été enfoncées dans le sol.
 - * Des sections d'encroûtement naturel dur mais non confortables,
 - * Des sections où il n'y a pas de blocage ni encroûtement mais juste le terrain naturel où la circulation est moins difficile.

Le long du chemin on a constaté une abondance des pierres.

Les photos en annexes illustrent l'environnement général ainsi que des exemples des différentes sections rencontrées.

b- Trafic

Le trafic actuel sur le CT 6714 est surtout saisonnier pendant la période de récolte du raisin. Mais le trafic journalier moyen annuel reste toutefois nettement inférieur à 50 véhicules par jour.

c- Support et climat

Généralement comme l'indique les photos en annexes, le support de la couche qui sera broyée est un ancien blocage stable d'épaisseur pouvant atteindre 30 cm, mais difficilement circulaire (présence des têtes de chat et d'ornières par endroit).

Le chemin CT 6714 est situé dans une zone aride.

d- Objectif

L'expérimentation de la technique de broyage sur place combinée avec la stabilisation mécanique a pour objectif la recherche d'une solution optimale qui s'adapte aux routes rurales où le matériau squelette est disponible.

Pour cela trois variantes ont été arrêtées en commun accord entre la DTP d'AZILAL et la société SINTRAM.

e- Variantes

1- Planches d'essai

A titre de planches d'essai, trois variantes de 200 mètres linéaires de longueur chacune ont été réalisées pour conclure rapidement sur l'aspect stabilité à court terme :

- Variante N°1 :

Il s'agit de corriger le matériau broyé avec un matériau correcteur déjà utilisé par DTP pour les rechargements des accotements d'autres chantiers, et qui a donné de bons résultats, et ce avec un dosage de 25 % avec un revêtement bicouche (conformément aux recommandations du LPEE).

- Variante N°2 :

Dans ce cas le matériau d'apport est un sable et le mélange produit broyé-sable est à traiter au ciment avec un dosage de 6% par rapport au poids sec du mélange avec un revêtement superficiel bicouche .

- Variante N°3 :

On procédera de la même que la première variante mais sans revêtement Bitumineux.

Suite aux résultats des planches d'essai (à court terme), il a été décidé de réaliser 3 sections expérimentales :

- Section N° 1 : 4 Km de matériau broyé corrigé avec 25% de tuf sans revêtement.
- Section N°2 : 2 Km de matériau broyé corrigé avec 25 % de tuf avec revêtement superficiel bicouche.
- Section N°3 : 2 Km de matériau broyé corrigé avec 25 % de tuf avec imprégnation et sablage.

d- Réalisation des travaux

1- Travaux préparatoires :

Avant le commencement des travaux de broyage et réalisation des variantes un ramassage des pierres a eu lieu. Ces pierres de dimensions 20 à 40 cm ont été répandues sur une longueur de 800 ml avec une densité de répartition surfaciques préalablement définie par l'opération d'étalonnage qui a permis d'arrêter :

- La vitesse de rotation du rotor : 1500 tours par minute ;
- Le nombre de passes : 2 ;
- La répartition des pierres en surface à broyer qui a été évaluée visuellement ;
- La dimension maximale des pierres qui donnera un rendement optimal.

Pour ce dernier paramètre les pierres les plus grandes nécessitent une plus grande énergie de broyage qui fait augmenter le nombre de passes. On a pensé à réduire les dimensions par des ouvriers moyennant des massettes.

A ce niveau l'attention est attirée sur le fait que cette technique fait appel à la main d'oeuvre mais sans qu'elle soit qualifiée comme c'est le cas pour la pierre cassée.

2- Déroulement des travaux

a- Broyage :

L'opération de broyage a eu lieu conformément aux résultats concluants d'étalonnage et n'a posé aucun problème. Les constatations suivantes ont été observées :

- Le broyage a permis d'obtenir après 2 à 3 passes une grave concassé à 100 % de classe 5/30. La courbe granulométrique du produit broyé est illustrée sur la fig2 ci-après. On constate qu'il y a plus de gravier que de sable et de fines.

- L'épaisseur du matériau broyé est comprise entre 10 et 15 cm. Cette différence est due au support qui a un mauvais état de surface présentant des têtes de chat et des ornières par endroit ;

b- Correction granulaire

Pour les premiers 400 ml à partir du pk 6+400 du CT 6714, le matériau d'apport (Tuf) a été répandu moyennant des camions. Le malaxage et le nivellement ont eu lieu moyennant une niveleuse qui travaille jusqu'à l'obtention d'un mélange homogène. Après nivellement on a constaté un support de texture fermée comparativement au matériau broyé sans apport.

Ensuite ont été réalisées les opérations d'arrosage et de compactage qui n'ont posé aucun problème : l'état de surface est stable à texture fermée avec une épaisseur après compactage moyenne de 10 cm et des profils en travers bombés avec des pentes transversales de 5 % environ.

Concernant la deuxième variante la correction granulaire a eu lieu moyennant un sable naturel avec ajout de 6 % de ciment en poids sec du mélange granulaire. Les opérations de malaxage et de nivellement ont été exécutées de la même façon que pour la première variante.

c- Revêtement superficiel

Pour la première et la deuxième variante un enduit superficiel a été réalisé après repandage d'une couche d'imprégnation.

3- Contrôle des travaux

L'objectif de l'expérimentation, rappelons le, étant de tester la possibilité d'utiliser un broyeur mobile pour avoir, à partir des pierres abondantes, la granulométrie souhaitée qui permet d'avoir une stabilité satisfaisante. Donc l'expérimentation porte essentiellement sur l'aspect "granulométrie". Quant aux autres paramètres intrinsèques (dureté, plasticité etc...) bien qu'intéressants ne dépendent pas du matériel de broyage. C'est pourquoi on discutera ci-après, essentiellement mais exclusivement, le problème étudié moyennant la présente expérimentation à savoir la granulométrie.

Ainsi des analyses granulométriques ont été effectuées par le LPEE (CTR de Tensift) sur :

- Le produit broyé,
- Le tuf,
- et sur le mélange produit broyé+tuf.

La granularité du produit broyé et du tuf sont illustrées sur la fig3 ci-après.

On constate que le matériau broyé se caractérise par une granulométrie serrée de classe granulaire 5/30 mm.

Cette granularité ne favorisant pas le remplissage des vides, ne lui permet pas d'être stable, c'est pourquoi une correction granulaire a été réalisée.

Quant au mélange produit broyé-tuf, l'analyse granulométrique a montré que :

- Le tuf constitue 25 % du mélange,
- Le matériau élaboré par broyage constitue 75 % du mélange,
- et que le mélange rentre dans le fuseau type B pris comme référence.

En conclusion, le matériau obtenu par broyage sur place des pierres de ramassage présente une granulométrie serrée constituée essentiellement de squelette. L'adjonction d'un autre matériau tel que tuf par exemple avec des proportions étudiées permet l'obtention d'un mélange qui rentre dans le fuseau souhaité.

On signale à ce propos que cette proposition peut différer d'un fuseau à l'autre et que la technique de broyage combinée avec une correction granulaire présente une souplesse qui s'adapte à tous les fuseaux. en effet il suffit de préciser celui souhaité avant le commencement des travaux.

Vu son caractère friable, le tuf, quant à lui, présente une granularité dispersée caractérisée par :

- Un pourcentage de passants à 80 μ compris entre 46 et 70 %
- Un pourcentage de refus à 2 mm allant de 12 à 32 %.
- Une plasticité dont l'indice varie entre 18 et 19 %, mais comme le confirme l'étude de laboratoire réalisée par le LPEE, CTR de Tensift, d'une cohésion importante due à une cementation par le calcaire consécutif de ce matériau.

8- EXPERIMENTATION SUR L'ACCES A LA CARRIERE TECNA :

Il s'agit d'un chemin d'accès, de 2,800 km de longueur, qui lie la carrière TECNA à la RP10 qui correspond à la RN8 (près de MZOUZIA). La largeur de la chaussée est de 6m.

Le chemin est situé dans une zone aride sur un bon sol support.

Le trafic est composé principalement de camions de 22 m³ de volume de chargement qui dessert la carrière TECNA. Ces camions permettent l'acheminement de 2000 tonnes de matériaux par jour, ce qui correspond à 50 camions par jour de charge totale d'environ 44 tonnes.

a- Objectif

L'expérimentation de la technique de broyage sur place combinée avec le traitement au ciment a pour objectif la recherche d'une solution optimale qui s'adapte aux chemins d'exploitation minière où le trafic est généralement très agressif.

b- Etude de la structure

Pour le dimensionnement, on ne prendra en compte que les camions qui transportent les produits de carrières car l'agressivité de tous les autres véhicules est négligeable.

La silhouette de ces camions est comme schématisé ci-après. Un camion transporte dans les environs de 44 tonnes, la répartition de cette charge sur les essieux est comme suit :

$$E1 = 5 \text{ T} ; E2 = 14 \text{ T} ; E3 = 11 \text{ T} \text{ et } E4 = 14 \text{ T}.$$

L'agressivité d'un camion en essieux de 13 T est :

(On négligera l'effet de superposition des essieux E3 et E4 étant donné que ces derniers sont suffisamment éloignés).

Le nombre de camions qui permettent l'accès à TECNA est estimé à 50 camions par jours. On dimensionnera pour ce trafic, avec un taux d'accroissement de 4 % et une durée de vie de 10 ans.

L'agressivité du trafic cumulée est égale, tout calcul fait, à un million d'essieux de 13 tonnes.

Cette agressivité cumulée est sensiblement égale à celle de la planche expérimentale réalisée sur la RP2 à Bouknadel en 1991 en Grave Villafranchienne traitée au ciment (GVC) et qui a été suivie pendant 30 mois. Cette planche qui s'est bien comportée sur le plan structurel, avait comme structure un revêtement superficiel sur 20 cm de grave traitée à 4 % de ciment.

En faisant référence à cette expérimentation concluante, la société SINTRAM propose la même structure c'est à dire un traitement à 4 % de ciment sur une épaisseur de 20 cm ; ceci permettra d'atteindre, en principe, les mêmes performances de la GVC.

c- DEROULEMENT DES TRAVAUX

1- Réalisation de la grave à traiter :

Les matériaux qui ont été utilisés sont des déchets de fabrication du ciment qui existent en quantité largement suffisante chez ASMAR.

Ces pierres ont une dureté assez bonne ($LA = 26$ et $MDE = 42$).

Avant le commencement des travaux de broyage, les pierres ont été répandus sur la piste sur une épaisseur de 10 cm.

L'opération de broyage a eu lieu conformément aux résultats d'étalonnage du broyeur.

Les opérations de répandage et de broyage ont été reprises comme précédemment sur 10 autres centimètres environ pour atteindre en total 20 cm après compactage.

Le suivi du chantier par des mesures et essais de laboratoire simples (granulométrie) a permis d'arrêter la correction granulométrique éventuelle par ajout d'un sable

2- Traitement au ciment :

Moyennant un gravillonneur le ciment CPJ 45 mélangé avec du sable 0/5, pour la correction granulométrique, a été répandu sur de matériau de broyage. Les dosages en ciment et en sable sont respectivement 4 à 6 % et 15 %.

3- Malaxage, arrosage et compactage :

Le malaxage a été effectué en utilisant une niveleuse qui travaillait en cordon jusqu'à l'obtention d'un mélange homogène.

Ensuite, seront réalisées des opérations d'arrosage et de compactage.

Pour favoriser la prise du ciment un arrosage journalier a été effectué pendant une semaine.

4- Imprégnation avec sablage :

Deux semaines après l'opération de compactage une couche d'imprégnation sablée a été réalisée.

d- Etat de la chaussée après livraison à la circulation

Après achèvement des travaux et mise sous circulation des camions transporteurs des produits de la carrière TECNA, les constatations suivantes ont été dégagées :

- L'état de la surface en terme de dégradation ne présente aucun problème ;
- L'uni de la chaussée est acceptable ;
- L'imprégnation sablée tient bien jusqu'à présent, bien qu'il serait plus bénéfique, pour éviter l'usure de la surface qui risque d'être provoquée par les actions d'accélération et de freinage des camions, de réaliser un enduit superficiel.

9- FACTEURS DE REUSSITE DE LA TECHNIQUE

La conception des chaussées semi-rigides n'impliquent pas une seule solution possible. Selon les matériaux disponibles, les conditions climatiques dominantes, les prévisions de trafic et le pris des liants bitumineux, le concepteur peut alors choisir la meilleure solution pour contribuer à la portance globale prescrite pour les chaussées traitées aux liants hydrauliques. Une fois l'étude de conception et de dimensionnement de la chaussée est achevée, les spécifications relatives à la composition des mélanges et la définition des méthodes suivent de manière logique.

D'une manière résumée, on peut dire que les facteurs de réussite de la technique sont :

- Les matériaux qui doivent être aptes au traitement, c'est à dire selon une composition du mélange, permettent à la couche traitée d'atteindre les performances exigées pour la technique,
- Le matériel de mise en oeuvre qui doit permettre en particulier d'avoir un mélange homogène,
- La mise en oeuvre qui nécessite des précautions particulières à la technique. IL s'agit essentiellement de la maîtrise de la teneur en eau et du respect de l'épaisseur à traiter (une sur-épaisseur est souhaitable mais une diminution de l'épaisseur est fortement déconseillée vue son influence sur la durée de vie qui risque de chuter). La couche traitée doit être protégée contre toute humidification ou dessiccation moyennant une couche en produit de cure par exemple et ce pendant la durée qui précède la livraison à la circulation qui de l'ordre de 15 jours pour permettre au liant hydraulique de faire prise sans perturbation dûe aux sollicitations du trafic.

10- CONCLUSION

A travers cette communication, a été présentée la technique de traitement des matériaux aux liants hydrauliques dans un but de sensibilisation pour faire remarquer l'intérêt d'introduire cette technique à grande échelle. En effet, elle est économiquement avantageuse pour valoriser des matériaux locaux marginaux d'une part et pour faire d'un matériau noble une couche plus performante capable de résister à un trafic lourd et agressif même sur un sol de faible portance à condition d'un bon dimensionnement.

L'attention doit attirer sur l'utilité d'une étude économique pour savoir la technique la plus convenable et ce en prenant en considération, non seulement le coût d'investissement initial, mais également les coûts d'entretien et de renforcement ainsi que la valeur résiduelle.

Concernant le choix entre un malaxage en centrale ou sur place, on peut dire que ceci dépend du matériel à comparer. En effet il existe des répandeurs de ciment (les plus performants) qui permettent d'avoir la même dispersion sur le dosage en ciment que la centrale. Par contre pour le malaxage in-situ il y a risque d'une légère contamination par le sol support surtout pour la couche de fondation, mais ceci peut être résolue par un simple surdosage de 1 % de ciment. Ainsi dans ces conditions, le problème de choix est purement économique.

Après cette prise de connaissances de l'intérêt de la technique, à travers les deux expérimentations présentées (l'une concernant une route rurale à faible trafic et l'autre concernant une route d'accès à une carrière où le trafic est agressif), une série d'actions d'information et de formation sur les aspects techniques et réglementaires de manière détaillée est souhaitable.