

## **Evaluation des travaux de dimensionnement de chaussée traitée avec "HRTS black & white" à Madagascar**

Voahanginirina J. Ramasiarino<sup>1</sup> et Lala Andrianaivo<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Université d'Antananarivo, Faculté des sciences, Département des Sciences de la Terre, BP 906, Antananarivo 101, Madagascar, ramasiarino@yahoo.fr

<sup>2</sup> Université d'Antananarivo, Ecole Supérieure Polytechnique, Département Ingénierie Pétrolière, BP 1500, Antananarivo 101

### **Résumé**

Dans la construction routière le Top Seal est reconnu comme un produit stabilisateur, imperméabilisant, anti-érosion et anti-poussière.

Les résultats d'essais sur des sols traités par COMAC et ceux connus habituellement à Madagascar font l'objet d'une comparaison.

L'étude montre que la structure de la chaussée possède quasiment une très bonne performance technico-scientifique. Le dimensionnement proposé est valable sur le plan pratique. De plus, le traitement par HRTS améliore au moins de 20% les performances mécaniques du sol de plateforme, des couches de chaussées, de l'estimation très défavorable du trafic.

Les premières estimations économiques et la comparaison de coûts entre les deux choix de technologie sont concluantes. On estime au moins 30% de coût en moins à la construction d'une route nouvelle pour la solution HRTS toute chose étant égale par ailleurs.

Pour le coût de maintenance sur une période de six ans, on estime environ 20 % des coûts de maintenance en moins pour les entretiens courants et périodiques.

Mots clés : Top Seal, essais de laboratoire, contrainte admissible, performances techniques, COMAC.

## LISTE DES ABREVIATIONS

AFNOR: Association Française de Normalisation

COLAS: COld ASphalt

COMAC : COntôle MAlgache de Conformité

HRTS : Hauling Road Top Seal

WTR : World Titanium Resources

## 1. INTRODUCTION

Face aux problèmes d'enclavement de certaines régions à Madagascar, le présent article a pour objectif principal de proposer des solutions servant d'outils d'aide à la décision pour lutter contre ce fléau. Le Sud de Madagascar enregistre le plus fort enclavement ou subit un taux de dégradations remarquables des routes qui se manifestent par des problèmes socio-économiques.

Pour accroître la durabilité des routes tout en réduisant le coût ainsi que la dégradation prématurée, le présent article se propose de promouvoir le top seal qui est un nouveau produit innovant et à coût modeste et dont la durabilité élevée est déjà prouvée dans certains pays et démontrée à Madagascar par les études effectuées par le Contrôle MAlgache de Conformité (COMAC).

D'autre part, cette étude se propose d'élaborer des modèles de dimensionnement rationnel des chaussées adaptées aux différents types de sol et aux variabilités climatiques et compatibles avec les conditions socio-économiques. Un combat efficace contre les méfaits de la dégradation causée par l'érosion hydrique exige de déceler dans le temps et dans l'espace les seuils de déclenchement à l'aide des outils de la géotechnique et de limiter les phénomènes observés.

Les données obtenues issues des essais au laboratoire et in situ sont utilisées pour l'établissement du modèle de dimensionnement à partir du produit en question.

La première étape concerne les études géotechniques incluant les essais in situ et les travaux de laboratoire selon les normes bien définies visant à la définition des caractéristiques géotechniques de la plateforme et des sols traités avec HRTS. La seconde étape consiste en l'exploitation des données obtenues. La dernière étape concerne les recommandations, la conclusion générale et les perspectives.

La réussite de ce projet suppose l'utilisation et la valorisation du produit top seal à Madagascar pour minimiser les coûts et rendre les solutions viables.

## 2. PRESENTATION DES MESURES EFFECTUEES

Les études portant sur les travaux de dimensionnement de chaussée ont été menées dans le sud de Madagascar dans les secteurs : Ambatry, Andrahasina et Ankazomantaila.

Les essais ont porté essentiellement sur les caractéristiques géotechniques de la plateforme non traitée et traitée avec HRTS selon les normes AFNOR dont les termes essentiels sont:

- La granulométrie pour la détermination des pourcentages en fines « %F »
- Les limites d'Atterberg pour le calcul de l'indice de plasticité « Ip »
- La compression simple pour l'évaluation de la résistance à la rupture du sol d'une part et d'en déduire le module élasticité « E » d'autre part.
- L'essai de cisaillement triaxial non consolidé - non drainé pour l'obtention de la valeur de la cohésion «  $C_{uu}$  » et l'angle de frottement interne «  $\phi_u$  ».
- L'essai de compactage au Proctor modifié pour définir la teneur en eau optimale «  $w_{opt}$  » ainsi que la densité optimale «  $\gamma_{d opt}$  ».
- L'essai CBR pour la définition de l'indice de portance « ICBR » résultats des essais

### 3. RESULTATS

Le tableau 1 résume les résultats obtenus.

Tableau 1 : résultats des essais de laboratoire

No	Désignation	% F	IP	% HRTS		I CBR		Charge à la rupture (kN)	Classification	C <sub>uu</sub> (kPa)	φ <sub>u</sub> (°)
				utilisé	résiduel	Matériau traité 4j sans immersion	Matériau non traité 4j immersion				
1	Ambatry	10	IRR	14,7	4,8	34	28	11	SA		
3	Andrahasina	22	10	26,6	4,98	32	27	13	SA	105	
4	Ankazomantaila	22	9	18,4	6,09	52	28	12	SA		
5	GCT HRTS 0,4%	12	-	-	-	-	-	19		50	15

La figure 1 montre le dimensionnement proposé par COMAC.

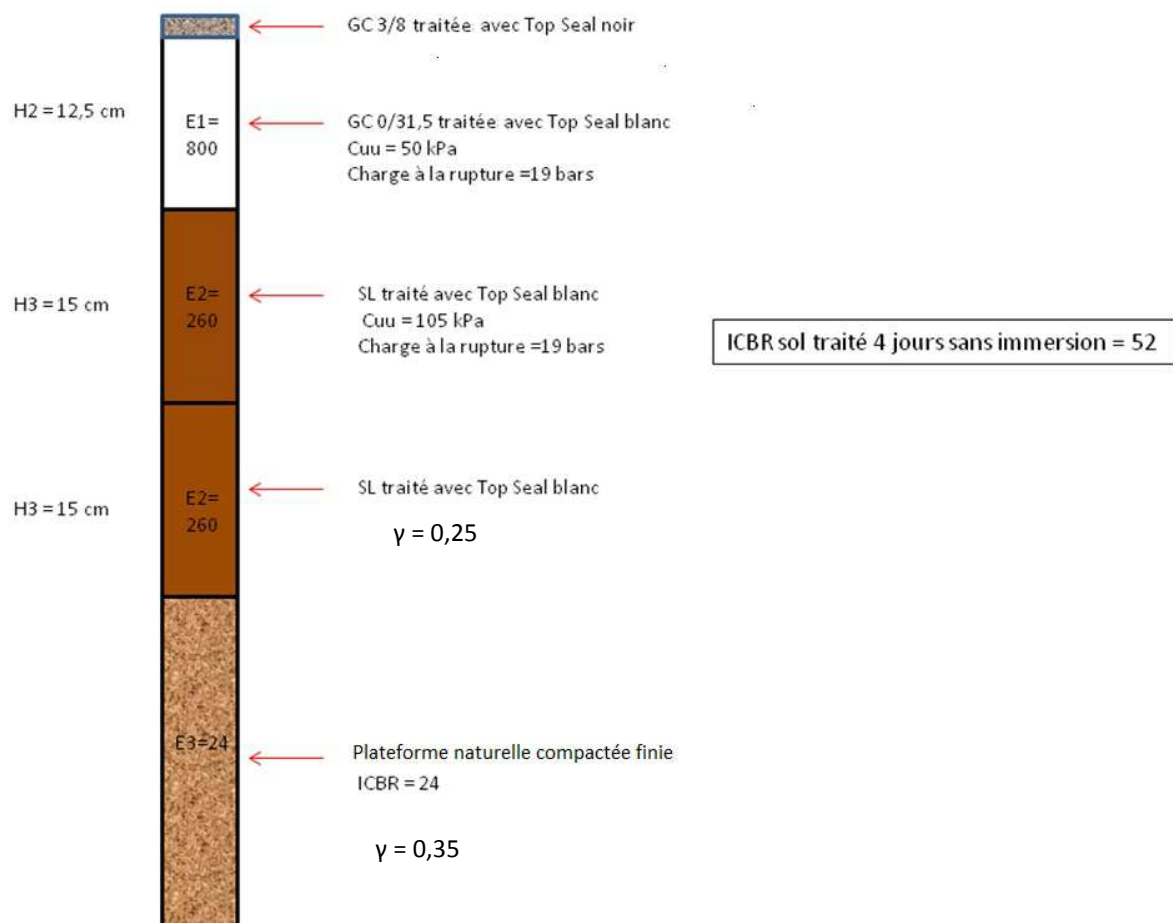


Figure 1: Structure de la chaussée proposée par COMAC

Le dimensionnement classique de l'entreprise COLAS (figure 2) nous sert de référence.

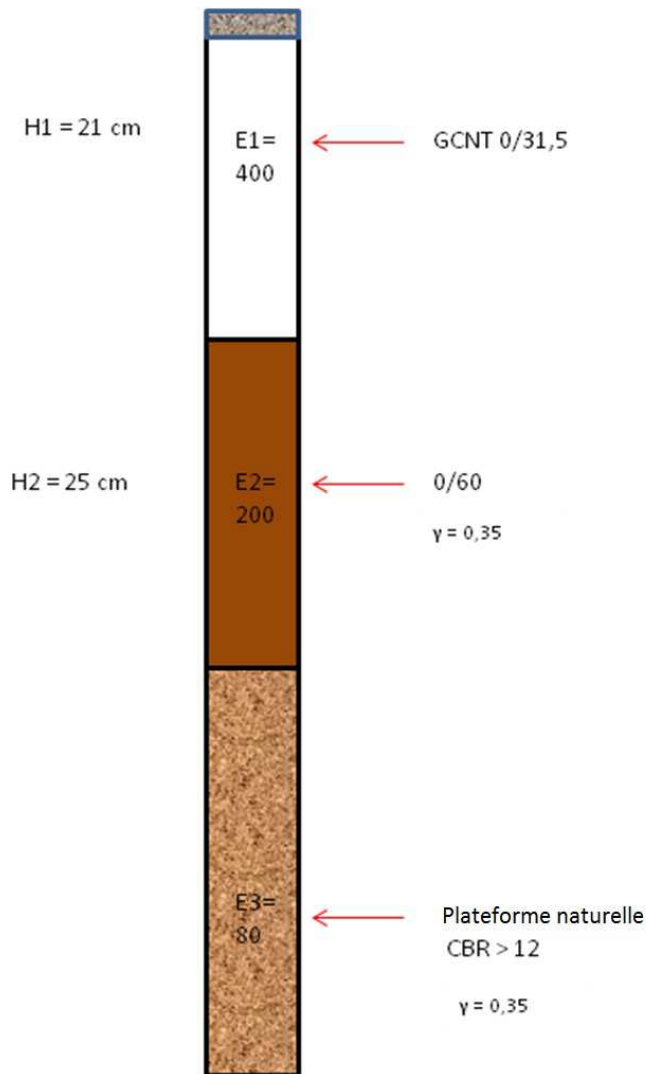


Figure 2: Structure de la chaussée par COLAS

#### 4- DISTRIBUTION DE LA DEFORMATION VERTICALE « $\epsilon_z$ » ET DE LA CONTRAINTE « $\sigma_z$ » TRANSMISES AU NIVEAU DE LA PLATEFORME

Les calculs ont été effectués à l'ordinateur utilisant la méthode de Burmister, programme ALIZE 3 du LCPC qui peut déterminer à partir d'un modèle multicouches et semi-infini les contraintes et les déformations à différents niveaux, induites par les charges modélisées.

Tous les calculs ont été effectués pour une charge correspondant au jumelage type de l'essieu légal français de 13 tonnes. La charge est représentée par une pression verticale «  $q$  » s'exerçant uniformément sur 2 cercles de rayon «  $a$  » dont les centres sont distants de «  $l$  ». On a choisi :

$$\begin{aligned}q &= 6,62 \text{ bars} \\a &= 12,5 \text{ cm} \\l &= 3 \cdot a = 37,5 \text{ cm}\end{aligned}$$

Les principaux paramètres retenus sont les suivants :

- L'épaisseur des couches «h»
- Leur module de déformation élastique «E»
- Leur coefficient de Poisson«  $\gamma$ »

Sur les mêmes figures, nous avons reporté :

- d'une part les courbes relatives aux modèles de dimensionnement de COLAS et de COMAC
- d'autre part la courbe montrant le comportement de la plateforme (sol naturel) sous la charge imposée

#### 4.1- Distribution de la contrainte « $\sigma_z$ » transmise au niveau de la plateforme (figure 3)

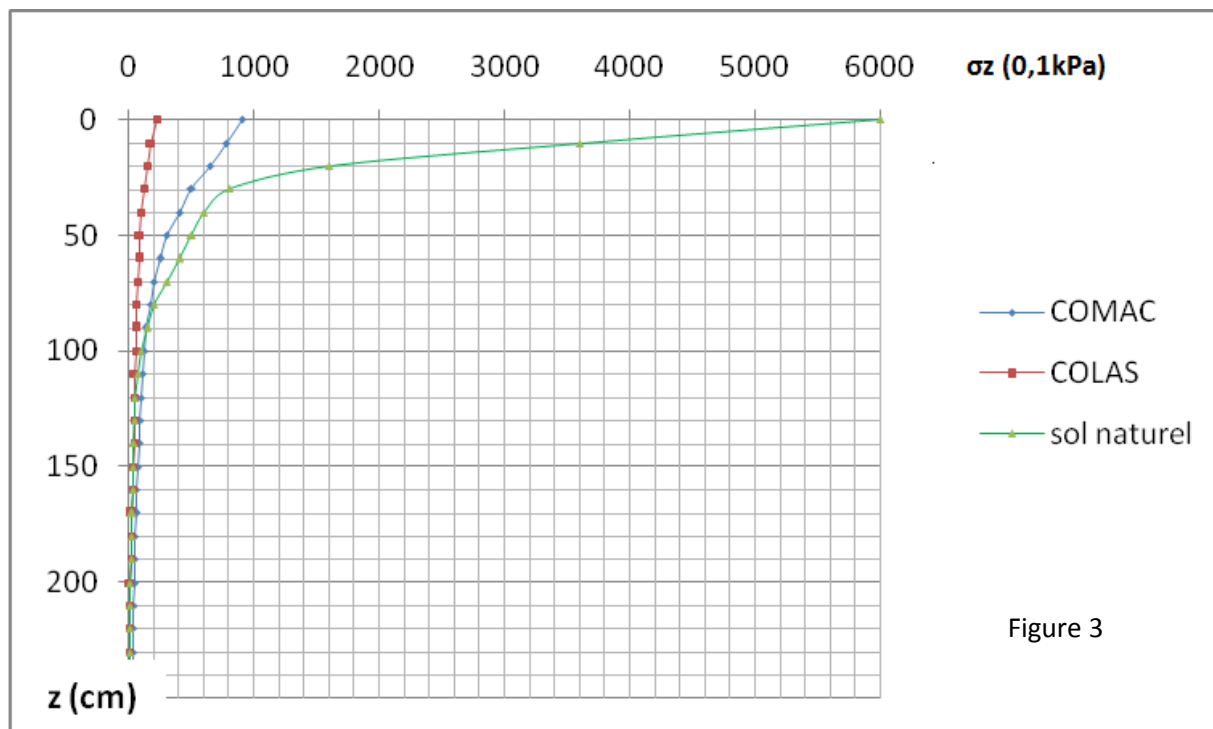
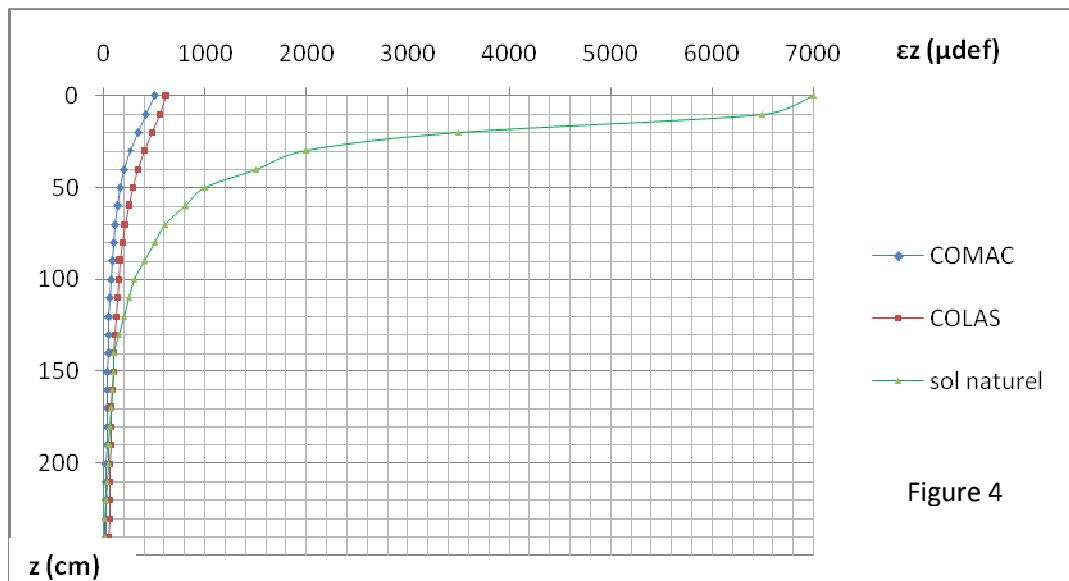


Figure 3

#### 4.2- Distribution de la déformation verticale « $\epsilon_z$ » transmise au niveau de la plateforme (figure 4)



#### 4.3- Interprétation

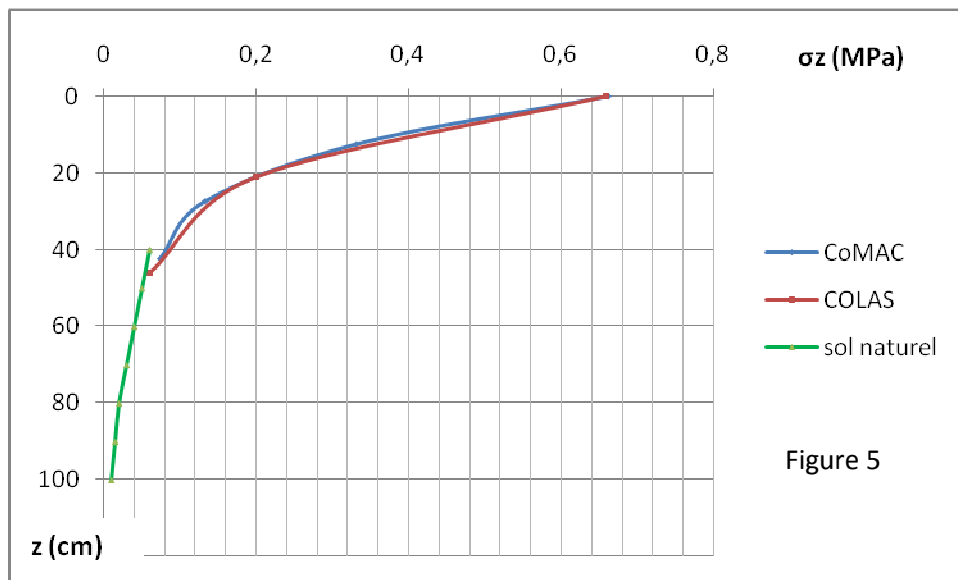
Les contraintes appliquées au niveau de la plateforme vont en diminuant lorsque la profondeur augmente. Il en est de même pour les déformations.

La comparaison des résultats a fait apparaître une nette amélioration du comportement de la plateforme (sol naturel) vis-à-vis de la déformation verticale et de la contrainte verticale. En effet, les charges sont absorbées par la structure de la chaussée.

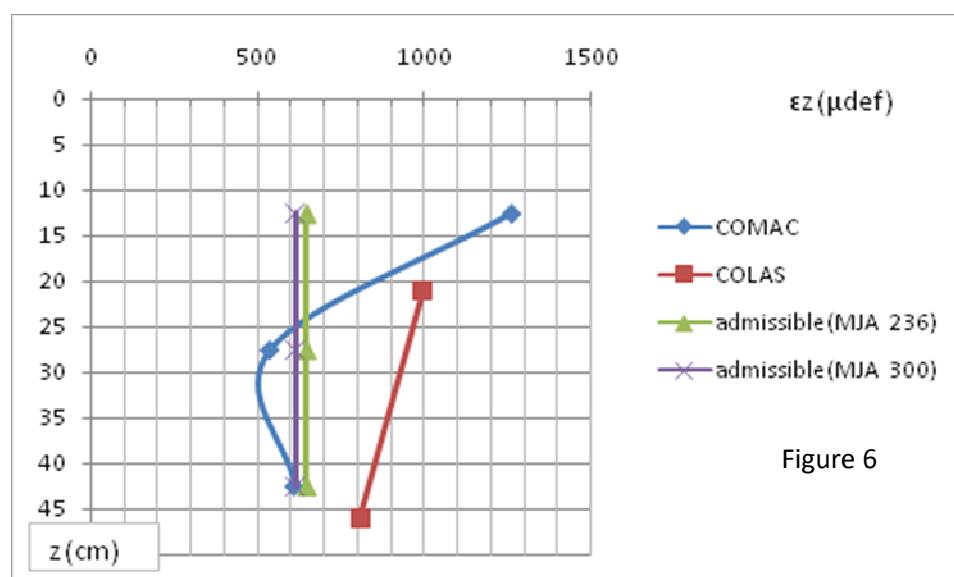
La courbe de distribution verticale de la contrainte de COLAS est meilleure par rapport à celle de COMAC, cependant concernant la distribution de la déformation, la courbe de COMAC est beaucoup plus améliorée.

## 5- DISTRIBUTION DE LA DEFORMATION VERTICALE « $\epsilon_z$ » Et DE LA CONTRAINTE « $\sigma_z$ » TRANSMISES AU NIVEAU DE LA STRUCTURE

### 5.1- Distribution de la contrainte « $\sigma_z$ » transmise au niveau de la structure (figure 5)



### 5.2- Distribution de la déformation verticale « $\epsilon_z$ » transmise au niveau de la structure (figure 6)





### 5.3- Interprétation

La comparaison effectuée sur les variations de la contrainte «  $\sigma_z$  » en fonction de la profondeur montre une bonne concordance COLAS-COMAC. Par contre, la distribution verticale de la déformation «  $\varepsilon_z$  » COMAC est nettement améliorée par rapport à celle de COLAS.

Le dimensionnement proposé par COMAC est fiable (valable) car la majorité de la contrainte ainsi que de la déformation au niveau de la structure ne sont pas transmises au niveau de la plateforme (sol naturel).

### 6- VERIFICATION DE LA DEFORMATION

Il s'agit d'une vérification vis -à - vis des déformations permanentes à la surface de la chaussée et dans le sol support pour qu'elles ne conduisent pas à l'apparition de déformations excessives en surface; vérifier que la valeur de la déformation verticale «  $\varepsilon_z$  » à la surface du sol support soit inférieure à la valeur admissible, c'est -à-dire

$$\varepsilon_z \text{ calcul} \leq \varepsilon_z \text{ admissible}$$

en tenant compte des paramètres de calcul suivants:

- NE : nombre cumulé d'essieu équivalent au standard 13 tonnes (figure 7)
- MJA (nombre de poids lourd en Moyenne Journalier Annuel) : 236 (ou 300) par jour et dans les deux sens (classe du trafic T2- T1)
- CAM (coefficient d'agressivité moyenne des poids lourds) : 1,3
- Taux d'accroissement annuel du trafic : 0
- Durée de service (années) :6



Planned traffic : A quad haul train : axel load of 13 T . Total DWT of 200 T . 200 Quad road train per day on one way consistent with 240.000 T / Week .

Figure 7: Equipment-road train (quad haul train axle load of 13t)

Les résultats sont consignés dans le tableau 3.

Tableau 3 : valeurs de la déformation verticale « $\epsilon_z$  » à la surface du sol support par rapport à la valeur admissible

Z (cm) COLAS	Z (cm) COMAC	$\epsilon_z$ ( $\mu\text{def}$ )			
		COLAS	COMAC	Admissible	
21	12,50			MJA	MJA
46	27,50	808		236	300
	42,50		610	646,9	613,3

$$\epsilon_z \text{ admissible} = 646,9 \mu\text{def (MJA=236)}$$

$$\epsilon_z \text{ admissible} = 613,3 \mu\text{def (MJA=300)}$$

$$\epsilon_z \text{ comac} < \epsilon_z \text{ admissible} \text{ tandis que } \epsilon_z \text{ colas} > \epsilon_z \text{ admissible}$$

La déformation à la surface du sol support est inférieure à la valeur admissible pour COMAC, ce qui n'est pas le cas pour COLAS.

**7. PREMIERES ESTIMATIONS ECONOMIQUES - COMPARAISON DE COÛTS ENTRE LES DEUX CHOIX DE TECHNOLOGIE : voie d'exportation des produits miniers , exemples : Tuléar Sand ( 40 Km ) ou Sakoa Coal Project ( 140 Km ) - Zone de Toliara , Sud Ouest de Madagascar .**

Les tableaux 4 et 5 montrent la comparaison des coûts entre deux choix de technologie.

Base: étude COLAS et HRTS de TPI

§= 2.000 Ar

Enrobé : 2.101 ar /kg

Emulsion : 5.150 Ar /L

Cut-back : 5.270 Ar/L

CGNT 0/31.5: 7.000 Ar /m<sup>3</sup> départ carrière

CGNT 0/60: 7.000 Ar /m<sup>3</sup> départ carrière

Tableau 4 : comparaison des coûts entre technologie COLAS et HRTS de TPI

Dossier d'Appel d'Offre : étude COLAS	Alternative HRTS white et black
Sol naturel Limon sableux rougeatre CBR=25	
Bicouche: cut-back 1,2L/m <sup>2</sup> Gravillons 17L/m <sup>2</sup>	DST: HRTS black; 40 fûts /km
Base: CGNT 0/31.5 ;( 21 cm) 2.400 m <sup>3</sup>	Base: HRTS white; (30cm) 80 fûts /km
Fondation: CGNT 0/60 ; (25 cm) 3 000 m <sup>3</sup>	

Tableau 5 montre la comparaison des coûts entre la technologie WTR standard et HRTS de TPI dans le cas d'une chaussée sur remblais de 2 m / 1m pour protection hydraulique et drainage de la chaussée.

Tableau 5: Cost including all taxes, free of VAT (Added Value Taxes) – market price July 2013 (source, WTR 2013)

	Standard solution (standard WTR)		HRTS technology alternative	
Sub base	20 cm of NCG 0/80 mm	\$ 210.500	30 cm natural soil + HRTS white (80 drums/km)	\$ 136.200
Base	20 cm of NCG 0/31,5 mm	\$ 250.000	12,5 cm NCG + HRTS white (40 drums/km)	\$ 216.250
Surface treatment	DST 4/10 mm	\$ 212.500	3/8mm + HRTS black (40 drums/km)	\$ 73.000
Pavement coast		\$ 673.000		\$ 425.450
Others items	Fill height= 2m	\$ 375.000	Fill height= 1m	\$ 187.500
Road coast		\$ 1.048.000		\$ 612.950

Soit au moins 30% de coût en moins à la construction d'une route nouvelle pour la solution HTS de TPI – USA, Texas, toute chose étant égale par ailleurs.

Les coûts de maintenance (entretien courant et périodique) résumés dans le tableau 7 témoignent une réduction de l'ordre de 20 % dans le cas de la technologie HRTS de TPI.

Tableau 7 : Comparaison des coûts de maintenance sur une période de 6 ans .

	WTR standard (prix départ carrière + manœuvre)	HRTS de TPI		
Monocouche 2 <sup>ème</sup> année  +  Monocouche annuelle	\$ 56.457	Traitement de surface	Monocouche 1 <sup>ère</sup> année en 2 applications	\$72.000
Bicouche 3 <sup>ème</sup> année et 6 <sup>ème</sup> année	\$ 75.276		6 <sup>ème</sup> année	
total	\$ 131.733		\$72.000	

## 8. CONCLUSIONS

La structure de la chaussée possède quasiment une très bonne performance technico-scientifique. Le dimensionnement proposé est valable sur le plan pratique.

Compte tenu des conditions très prudentes d'essais et de dimensionnement (résultats d'essai de sol traité par COMAC – affirmation de TPI , selon ses essais internes aux USA que le traitement par HRTS améliore au moins de 20% les performances mécaniques du sol de plateforme , des couches de chaussées, de l'estimation très défavorable du trafic minier règlementé , capacité de transit évaluée à 10.8 Mt / an pendant 6 ans avec essieu de 13 T , pour une réalité de 1Mt la 1<sup>ère</sup> année ; 2 Mt la 2<sup>ème</sup> année ; 3 Mt la 3<sup>ème</sup> et la 4<sup>ème</sup> année et 5 Mt le 5<sup>ème</sup> et la 6<sup>ème</sup> année jusqu'à la 10<sup>ème</sup> année et ensuite 17 Mt/an pendant 20 ans ) , la durée de vie avant le premier renforcement de la chaussée serait supérieure à 10 ans minimum , sous réserve de maintenir l'imperméabilisation des couches comme recommandées par TPI. (calcul  $\varepsilon_r$  à la base de la couche de fondation en fin de cycle de vie de 10 ans, par exemple, selon ce trafic réel à afficher). Ce renforcement consiste à traiter in situ la couche de base de GNTC avec le HRTS White et à la mise en place d'une couche de roulement avec le HRTS Black en bicouche d'imperméabilisation

Les essais in situ, sous conditions réelles en 2003 et dans des conditions plus que défavorables, ont montré les caractéristiques mécaniques physico – chimique de sol traité.

Un essai de démonstration in situ, dans la région géologique et climatologique d'Antananarivo, est actuellement en cours pour valider ces résultats.

Pour consolider le modèle COMAC actuel, il faudra prévoir des études complémentaires :

Une des caractéristiques requises pour les matériaux constituant les couches de roulement est la résistance à l'érosion, donc l'essai d'érodabilité devra être programmé.

Il faudra effectuer une mesure de la déflexion qui fournit des indications sur la déformabilité couche par couche, la rigidité globale de la chaussée et sur son homogénéité, applicable sur tout type de structure.

Il faudra déterminer l'indice de plasticité afin de vérifier les conditions mécaniques ou géométriques imposées à l'interface entre les couches (interface glissant ou non glissant)

Afin de mieux comprendre le comportement hydrique du sol traité avec le produit en question, il faudra procéder à un essai de perméabilité.

L'essai triaxial sur sol traité et non traité devra être une priorité pour l'obtention de la cohésion et de l'angle de frottement interne.

### **Perspectives**

En plus de cette série d'études, le Laboratoire de Géotechnique de l'Université d'Antananarivo, apporte ses contributions dont les termes essentiels sont : proposition de variantes (amélioration des caractéristiques géotechniques des couches), évaluation des coûts, etc.

### **Recommandations**

Lors de la conception de la chaussée proprement dite, il faudra prévoir la réalisation selon les modalités suivantes :

- anticipation avant le début des travaux
- travaux de terrassement
- préparation de la plateforme avec un compactage à 95% OPM
- essai de réception des matériaux pour la structure de la chaussée comme le gisement, l'emprunt et la carrière
- étalage et réglage de la couche de fondation avec un compactage à 95% OPM
- au niveau de la couche de base : compactage à 85% du poids spécifique  $\gamma_s$
- essai de réception de déformation des couches, couche par couche
- mise en œuvre de la couche d'imperméabilisation au HRTS noir

Pour la sécurité des usagers, il faut prévoir la mise en place des marquages verticaux et assurer l'assainissement de la chaussée.

Après la durée de vie de la chaussée à définir selon les conditions d'utilisation réelle et suivi du réseau, on devra procéder à la réhabilitation de la couche de base.

### **REFERENCES**

COMAC, (2003) : Rapport technique sur les essais de laboratoire sur les sols traités avec le top seal.

Materials Safety Data Base: sheet for top seal liquid soil sealant and stabilizer, [www.arvetech.com.au/.../msds](http://www.arvetech.com.au/.../msds) - ts w-11052