

The Transaharian in Algeria: A road for developing countries in Africa

ALLOUL BELAÏD¹, TRAORE ABOUBACCAR² & DEMBELE ISMAEL³

¹ USTHB /FSTGAT BP 32 El Alia, Alger, Algérie. (e-mail: alloulb@yahoo.fr)

² USTHB /FSTGAT BP 32 El Alia, Alger, Algérie. (e-mail: alloulb@yahoo.fr)

³ USTHB /FSTGAT BP 32 El Alia, Alger, Algérie. (e-mail: alloulb@yahoo.fr)

Abstract: In charge by North African states and Sahara since 1960, the transsaharian road is registered today as the priority of the new partnership for development in Africa (NEPAD) and is still a challenge for neighboring countries. It's realization is confronted by a series of difficulties, among them the adverse climate such as lack of rain, high thermal contrast and very high evaporation exceeding by far the precipitation, as well as the realization conditions particularly constraining with a predominance of subnormal material. In addition to that, the construction material is problematic and most of the time marginal. They need to be sourced and placed with a lot of care, across a vast desert. The transsaharian road is a huge project crossing the Algerian territory from the Mediterranean coast to the extrem south of the country a distance of 2760 km. It continues its path in the bordering countries like Mali, Niger and Nigeria. The construction work started in 1970 and are still going on. The Algiers-Tamanrasset segment of 2000 km was completed in 1978. From Tamanrasset, two segments are actually in construction: the Niger segment (Tamanrasset-InGuezzam) of 380 km length is 30% completed and the Mali segment of 515 km length has just been started (5%). Actually, the works has been stopped.

This study is a geological and geotechnical summary of the two transsaharian road segments from Tamanrasset. Therefore, from studies realized we analysed geological and geotechnical soil characteristics and soil support of the road as well as numerous material sites. This study of control reports added to onsite visits allowed us to draw conclusions about the geotechnical quality of the soils as well as the material type used for the road construction.

Résumé: Prise en charge par les états d'Afrique du Nord et du Sahara depuis les années 1960, la réalisation de la route transsaharienne s'inscrit aujourd'hui dans les priorités du Nouveau Partenariat pour le Développement de l'Afrique (NEPAD) et reste un défi pour les Etats riverains. Sa réalisation est confrontée à un certain nombre de difficultés dont, entre autre, l'adversité du climat comme la rareté de la pluie ainsi que les contrastes thermiques assez considérables et l'évaporation très élevée nettement supérieure à la précipitation. Notons que les conditions de réalisation particulièrement contraignantes avec une prédominance de matériaux sub-normaux sont une contrainte particulière. A cela s'ajoute, lors de la traversée des grands espaces désertiques, la problématique des matériaux de construction le plus souvent marginaux qu'il faut rechercher et mettre en place avec le plus grand soin.

La route transsaharienne est un grand ouvrage routier qui traverse le territoire algérien, de la côte méditerranéenne jusqu'à l'extrême Sud du pays sur une distance de 2760 km. Cette route se continue dans les pays limitrophes qui sont le Mali, le Niger et le Nigeria. Les travaux ont débuté vers les années 1970 et se continuent encore actuellement. Le tronçon d'Alger à Tamanrasset soit 2000km a été achevé en 1978. A partir de Tamanrasset deux branches sont en cours de réalisation : la branche Niger (Tamanrasset –In guezzam) longue de 380km est en cours de réalisation à environ 30% alors que la branche Mali longue de 515km a été à peine entamée (5 %). Elle est à l'arrêt actuellement.

Ce travail a consisté à faire le bilan géologique et géotechnique de la route transsaharienne sur les deux branches à partir de Tamanrasset. En effet à partir des études réalisées nous avons analysé les caractéristiques géologiques et géotechniques des sols supports de la route ainsi que les nombreux gîtes à matériaux. L'examen des rapports de contrôle ainsi que les visites de terrain nous ont permis de tirer des conclusions quant à la qualité géotechnique des sols traversés ainsi que les types de matériaux utilisés tant dans le corps de chaussée que dans la couche de roulement.

Keywords: roads, geotechnics, Trans-Saharan, granitic geology

INTRODUCTION

La route transsaharienne traverse le territoire algérien, de la côte méditerranéenne à l'extrême Sud sur 2760 km. De la capitale algérienne, Alger jusqu'à de Tamanrasset, la réalisation a été achevée depuis 1978. A l'heure actuelle la réalisation se fait à partir de In Guezzam, frontière avec le Niger, vers Tamanrasset. Par ailleurs, sur la branche malienne, seule la route reliant Tit (à 40 Km au Nord de Tamanrasset) à Silet distante de 80 Km a été réalisée. Le reste n'ayant pas encore fait l'objet d'une étude détaillée et le tracé final n'est pas encore précisé.

L'Axe Tamanrasset - Niger

La géomorphologie du terrain traversé par le tracé est accentuée sur les soixante (60) premiers kilomètres. Elle est caractérisée par des reliefs assez importants (altitude moyenne atteignant les 1800m). Les reliefs s'émoussent par la

suite en passant à de vastes plateaux dont l'altitude moyenne ne dépasse guère les 700m. On note quelques zones en relief atteignant les 900m comme entre Garat En-nos au PK205+000 et Gara Tin Begga au PK312+000 et le site de Byrouten au PK 332+000. Cependant d'autres reliefs sont à signaler comme celui de Laouni au PK272+000. Les plateaux qui occupent un linéaire important du tracé, sont bien dégagés, parfois parsemés par des blocs de granites ou des auréoles de cipolin. Le tracé traverse plusieurs grands oueds et longe leurs rives sur parfois plus d'une dizaine de kilomètres. Sur les cent premiers kilomètres dont le relief est accentué, le réseau hydrographique est serré ; par contre, sur le reste du tracé, il est représenté par des oueds très étalés.

L'Axe Tamanrasset - Mali

La mission de reconnaissance du tracé Silet-Timiaouine-Kidal effectuée par la SAETI a permis de reconnaître à partir de Timiaouine deux (02) itinéraires pour rejoindre Kidal (Mali), le premier en empruntant une liaison directe, le deuxième en passant par les localités Boughessa et Abeïbara.

GEOLOGIE DU TRACE

Situé à environ 2000 Km d'Alger, le Hoggar affleure sur une superficie de plus de 500.000 km² ; il prolonge au SE et au SW pour former respectivement l'Air (Niger) et l'Adrar des Iforas (Mali). Ces trois ensembles déterminent ce que l'on appelle le bouclier Targui qui est bordé dans sa partie occidentale par le craton ouest africain. La cratonisation de ce bouclier s'est faite au cours des événements tectono-métamorphiques majeurs que sont :

- l'Archéen (3500-3000 Ma),
- l'Eburnéen (2000 Ma) et
- le Panafricain (750-550 Ma).

Ainsi, formé de terrains cristallophylliens, granitiques et volcaniques essentiellement précambriens, est ceinturé en discordance par les grès ordovicien du Tassili. La physionomie du Hoggar est due au compartimentage guidé par de grandes fractures décrochantes d'orientation N-S et d'ordre lithosphérique. Elles mettent en contact des niveaux structuraux anciens et récents. Les déplacements latéraux qui en résultent peuvent dépasser la centaine de kilomètres (Bertrand et al. 1986). Nous distinguons ainsi d'Ouest en Est, les domaines suivants :

- le Hoggar occidental ou la chaîne pharusienne,
- le Hoggar central polycyclique,
- le Hoggar oriental.

L'Axe Tamanrasset - Niger

Le tracé sur le plan géologique traverse trois (03) zones de natures géologiques différentes, qui sont à partir de Tamanrasset qui est au PK 00 :

- PK00 au PK40 : La route traverse des terrains protérozoïques inférieurs, représenté par des gneiss et des migmatites, couverts parfois par du sable.
- PK 40 au PK280 : Le tracé passe par des massifs granitiques, qui, après altération donnent des terrains meubles composés d'arènes granitiques, tout-venant de butte et tout-venant de bas de pente apparaissant sous forme de plate-forme. De même qu'on rencontre aussi des auréoles de cipolins localisées.
- PK 180 au PK 400 : le tracé passe par une zone où les touts venants sont dominants se présentant sous forme de terrasses couvertes par des sables.

L'Axe Tamanrasset - Mali

Sur l'axe Tamanrasset Mali, la géologie du tracé a été étudiée jusqu'à Timiaouine. Au-delà, les études n'ont pas encore été réalisées.

Tit - Silet

- PK00+000 – PK80+000 : Le tronçon routier de Tit à Silet traverse une zone principalement constituée par un substratum granitique au dessus duquel s'étend une formation de laves basaltiques.

Silet - Timiaouine

- PK 80+000-PK130+000 : Cette partie de la piste traverse des zones rocheuses basaltiques et granitiques sous forme de monticules par endroit en sable.
- PK 130+000-PK235+000 : Traverse un vaste plateau sablo limoneux, monotone entrecoupé par de nombreux passages d'écoulements, oueds importants et des zones de fort ensablement par des cordons dunaire parallèles au tracé qui, lors de vent violent, gêne terriblement la circulation par l'apport de sable éolien, parfois pendant des heures. Le cordon dunaire se termine au PK235+000 (oued Thiouagh).
- PK235+000-PK330+000 : Quelques passages difficiles sont rencontrés (buttes rocheuses et zones rocailleuses) par intermittence ainsi que des terrains plats entrecoupés par des passages sous forme de monticules granitiques sombres et de diorites vertes essentiellement entre le PK270 et PK 300.

- PK330+000-PK515+000 (Timiaouine) : L'axe traverse un relief accidenté formé de gneiss et granite noirs, de granite clair rosâtre et des sables limoneux. A partir du PK390, une zone formée de sol sablo- limoneux avec passage de rognons granitiques et quartzitiques.

La région jouit d'un climat sahélo - saharien caractérisé par une aridité marquée (précipitation annuelle inférieure à 100 mm d'eau), un régime thermique très contrasté (amplitude thermique atteignant 25 à 30°C) et un pouvoir évaporant très élevé. Du point de vue pluviométrique cette région proche du Sahel est affectée par le régime de la mousson. Les précipitations moyennes mensuelles sont très faibles. Le maximum de pluie tombe au mois d'Août, coïncidant avec la période d'hivernage en climat sahélien.

GEOTECHNIQUE

La construction des routes au Sahara présente des particularités liées, aux conditions climatiques, aux matériaux locaux, à la faiblesse du trafic et à la portance du sol support qui la diffèrent de celle des régions humides. Cette technique possède donc ses propres normes et expériences.

La technique routière européenne restée traditionnelle jusqu'à la fin de la deuxième guerre mondiale avait été utilisée en Algérie jusqu'en 1950 environ. Les problèmes sahariens ne se posaient d'ailleurs pas à l'époque puisque les routes n'avaient pas dépassé le sud des hauts plateaux (en Algérie). Les premières routes sahariennes commencées vers 1955, il s'agit notamment de Ghardaïa – El Goléa et Ghardaïa – Ouargla, ont été étudiées en adoptant les bases de la technique mise au point pour la France métropolitaine à l'époque. Le trafic saharien est essentiellement composé de camions gros porteur souvent en surcharge. Le nombre d'essieux qui circulent actuellement est faible mais ceux-ci sont pour la plupart très lourds. Il semble donc logique qu'il faille se diriger vers une chaussée qui accepte sans désordre des déformations élastiques même relativement importantes car les répétitions de charge étant faible, les phénomènes de fatigue doivent apparaître lentement.

Principe de la technique

Les conséquences pratiques de ces idées de base exprimées ci-dessus :

1. La couche de roulement doit être parfaitement souple pour se plier sans rompre. Le revêtement qui semble s'adapter à cette condition est :

- soit l'enrobé souple mis en place en couche aussi mince que possible (enrobé à froid de faible épaisseur).
- soit de l'enduit superficiel.

Notons cependant que ces revêtements doivent avoir l'épaisseur minimale qui leur permettrait de résister efficacement aux importants efforts tangentiels développés par les pneus des essieux lourdement chargés.

2. Les matériaux de la couche de base doivent pouvoir supporter des déformations élastiques sans dommage. Ces déformations peuvent être relativement importantes à la seule condition qu'elles soient entièrement réversibles.

Cette spécification est beaucoup moins rigoureuse que celle qui consiste à limiter les déformations élastiques et permet de ce fait d'utiliser une gamme assez variée de matériaux.

3. La sécheresse (permanente) ouvre largement l'éventail de matériaux utilisables en couche de base. Sous un climat humide, il n'est possible d'utiliser que des matériaux à angle de frottement élevé (matériaux traités exclus) car les matériaux cohérents contiennent beaucoup de fines qui leur font perdre toute leur cohésion en présence d'eau. La cohésion des sols est en général obtenue par la présence d'argile mais dès que celle-ci est humide elle sert de support et maintient l'eau sur les points de contacts entre grains qu'elle lubrifie parfaitement. Tous les éléments fins même gypseux ou calcaires sont un peu moins néfastes mais leur action est identique.

La portance des sols de fondation, généralement bonne (indice CBR supérieur à 20) et la très faible pluviométrie sont des facteurs favorables à la conception de structures de chaussées économiques car les matériaux ne sont jamais imbibés en dehors de points bas. Le corps de chaussée se résume alors à une vingtaine de centimètre de matériaux locaux généralement disponible tout le long du tracé.

Du point de vue revêtement, l'enduit superficiel et l'enrobé à froid sont préférés à cause de leur grande souplesse. Le choix des matériaux pour l'élaboration des granulats est très limité et demande très souvent une très grande distance de transport. L'expérience a montré que les cipolins donnent un granulat routier compatible avec le trafic supporté par les routes du Sud et cela malgré leur faible coefficient « Los Angeles » et que les granulats exploités en profondeur dans les carrières présentent un comportement meilleur par rapport à ceux issus du ramassage ou exploités en surface. Si le volume exploitable de la carrière en exploitation peut couvrir le besoin en granulat du tronçon en cours de réalisation, il reste impératif de chercher d'autres carrières pour le reste du projet.

L'étude des matériaux susceptibles de convenir comme granulats pour revêtement a été réalisée par la SAETI. Ces matériaux sont le long du tracé :

- marbres et cipolins,
- diorites, granodiorites,
- roches calcaires.

La distance des gisements par rapport au tracé peut s'étaler sur des dizaines de kilomètres. Les potentialités sont estimées importantes.

L'AXE TAMANRASSET-MALI

Sur le tronçon Tit – Silet – Timiaouine, les potentialités ainsi que les caractéristiques des matériaux repérés le long du tracé sont tirées de l'étude établie par le laboratoire du Sud. Pour cette étude, l'axe a été subdivisée en trois parties qui sont: Tit – Silet, Silet – Timiaouine et Timiaouine – Kidal. Il faut aussi noter que sur ce tronçon, les études restent préliminaires. Les études détaillées ne sont pas encore réalisées et le tracé définitif aussi n'est pas fixé.

Reconnaissance géotechnique du sol support

Cet axe a été choisi de façon à passer par les zones les plus érodées des formations rocheuses de la région. Il longe et traverse la plus part du temps les lits majeurs des oueds et leurs affluents afin d'éviter les déblais et remblais, mais pourrait être au détriment de la portance du sol et pourrait faire augmenter le nombre d'ouvrages d'arts (passages busés, murs de soutènement, gabions). Ce programme d'investigation a consisté au creusement de trois cent (300) puits, le long du tracé, à chaque cinq cent (500) mètres et à chaque changement lithologique. Les échantillons ainsi récupérés ont été soumis aux essais d'indentification et mécanique :

- analyse chimique; analyse granulométrique; limites d'Atterberg; Equivalent de sable; CBR immédiat.

Les résultats obtenus sont regroupés dans les tableaux récapitulatifs ci-dessous. Ces résultats ont permis d'identifier deux grandes classes de sol auxquelles notre sol appartient : classe A et classe B selon la classification L.C.P.C - SETRA. 78.

Interprétation des résultats

Les tableaux de synthèse des caractéristiques géotechniques des sols nous montrent qu'il existe trois grandes zones distinctes :

- Sols très déformables : englobe tous les oueds et les lits majeurs des oueds. Cette zone est caractérisée par la faible portance du sol dont l'indice portant à l'essai C.B.R immédiat (les plus faibles valeurs enregistrées) $3 < \text{CBR} < 10$;
- Sols déformables: englobe toutes les terrasses d'altération, occupées par des limons sableux ou peu graveleux à non graveleux. L'indice portant de cette zone est moyennement appréciable $10 < \text{CBR} < 20$ (valeurs moyennes enregistrées) ;
- Sols peu ou non déformables : se résume aux sols à très bonne portance, $\text{CBR} > 20$. Cette zone englobe les sols consistants faiblement altérés, près que affleurant (zone à décapage pratiquement nulle). Ces sols dont la portance est appréciable se trouvent proches des monticules de roches granitiques.

Matériaux pour corps de chaussées

Tit – Silet

Pour ce tronçon déjà réalisé, les matériaux ayant servi pour couche de base et couche de fondation sont de même nature : arènes granitiques des tout – venants de butte. Les caractéristiques géotechniques des matériaux pour les différentes couches sont consignées dans le tableau ci-dessous

Tableau 1. Caractéristiques géotechniques des matériaux pour les couches de base et de fondation: (Tit – Silet)

Nature	nombre de gîtes	% fines	Ip	Es	W _{opt}	δd _{max}	Rc (97%)	Emploi
Arène granitique et tout – venant de butte	19	05 à 31	04 à 32	21 à 48	06 à 10.5	1.97 à 2.15	19 à 53	couche de base
Arène granitique et tout – venant de butte	15	4.2 à 38.6	07 à 16	22 à 71	6.7 à 10	1.96 à 2.10	06 à 30	couche de fondation

Silet – Timiaouine

- PK80+000 au PK230 (Silet – Tiouagh) :

Les matériaux analysés dans le cadre des investigations géotechniques effectuées par le laboratoire du Sud ont fait ressortir l'existence de matériaux pour corps de chaussée (couches de base et de fondation) sur tout le long du tracé mais relativement éloignés de l'axe.

Les matériaux retenus pour corps de chaussée sont :

- arènes granitiques
- grès schisteux
- conglomérats
- tuf volcanique

Tableau 2. Corrélation lithostratigraphique simplifiée du Hoggar.

Etage	Age (ma)	Hoggar occidental	Hoggar central	NE Gour Oumellalen	Orogenèses	Panafricaine
Protérozoïque Supérieur	500	-rhyolites In zize	Groupe de Déhine : complexe volcano sédimentaire épi métamorphique	Pharusien de Arefsa : complexe volcano sédimentaire	Granodiorite	Panafricaine
	800	-Série pourrée : Série verte, série à stromatolithes				
Protérozoïque Moyen	1000	Groupe des quartzites de l'Ahnet : Rhyolites et granites alcalins.	Groupe de l'Aleksod : -gneiss veinée à biotite et hornblende. -amphibolite, quartzites, marbres. -Dykes basiques.	Groupe de Toukmatine : -micaschistes à grenat -roches vertes		
Protérozoïque Inférieur	1850	Ortho gneiss et granites à Muscovites (Tassendjanet) Charnockites à faciès IN Ouzzal	Groupe de l'Arechchoum : Gneiss rubané plagioclasiqque et amphibolites-métasédiments	Groupe de l'Arechchoum : -gneiss -méta sédiments	Groupe des Gour Oumllalen : -marbres -amphibolites, Charnockites -sills de gabbros -pegmatites à hypersthène -Schistes alumineux	
	2000					
Archéen	2500	Granite – gneiss à hypersthène	Gneiss rubanés et gneiss rouge	Gneiss rubanés	Complexe rouge (3500Ma) Gneiss rubanés	Eburnéenne Archéenne
	3500					

Tableau 3. Synthèse de la recherche des gîtes à matériaux sur la branche Niger Tamanrasset-In guezzam.

PK	Situation du gîtes/au tracé	% de fines	Ip	Es	Wop	δd_{max}	Résistance à la comp simple (97%)	Nature des matériaux	Emploi	Nbre gîtes	Réserves (m3)
0 à 23	De part et d'autre du tracé entre 50 et 300ml	4 à 35	5 à 16	14 à 51	5.5 à 10.5	2 à 2.25	19 à 41	-tout venant de butte graveleux -tout venant de bas de pente	Couche de base	20	275.000
	-	-	-	-	-	-	-	-	Couche de fondation		-
23 à 68	De part et d'autre du tracé entre 50 à 1300ml	8 à 35	7 à 15	17 à 46	6 à 11	2 à 2.2	17.5 à 35	- tout venant grenu à graveleux -matériaux graveleux	Couche de base		-
	De part et d'autre du tracé entre 50 et 1500	8.6 à 20	4.5 à 13	20 à 60	7 à 10	2 à 2.2	7 à 25	-tout venant de butte -tout venant de bas de pente -matériaux graveleux	Couche de fondation		-
68 à 100	De part et d'autre du tracé entre 50 et 600ml	4 à 32	4 à 15	15 à 64	5 à 10.5	1.96 à 2.24	21 à 35	-arène granitique -tout venant de butte -tout venant de bas de pente -alluvion en terrasse	Couche de base	45	252.000
	De part et d'autre du tracé entre 50 à 800ml	5 à 26	4 à 13	15 à 49	6 à 10.5	1.95 à 2.27		-tout venant de butte -tout venant de bas de pente -alluvion de terrasse -matériaux non précisé	Couche de fondation		Indéterminés
100 à 125	De part et d'autre du tracé entre 50 et 850ml	5 à 26	4 à 13	15 à 49	5.5 à 9.5	2.03 à 2.24		-tout venant de butte graveleuse -tout venant de bas de pente avec arène granitique	Couche de base	16	100.000
	De part et d'autre du tracé entre 50 et 1100ml	6 à 22	5 à 12	16 à 39	5.9 à 8.9	2 à 2.23		Non précisé	Couche de fondation		111.000
125 à 175	De part et d'autre du tracé entre 25 et 1050ml	9.5 à 32	7 à 15	16 à 60	5.5 à 9.3	2.01 à 2.26	12 à 32	-tout venant de butte graveleuse (par endroit schisteux) -roche altérée -tout venant de bas de pente -tout venant graveleux	Couche de base	24	164.000
	De part et d'autre du tracé entre 50 et 3000ml				5.9 à 9.7	2.05 à 2.23		Non précisé	Couche de fondation		29.000
175 à 200	De part et d'autre du tracé entre 1100 et 3300ml	4.7 à 23.5	6 à 16	15 à 56	5.9 à 8.9	2.12 à 2.24		-tout venant de butte graveleuse	Couche de base	11	29.500
	De part et d'autre du tracé entre 250 et 2400 ml	7.7 à 32.9	5 à 16	14 à 46	6.7 à 8.9	2.02 à 2.21		Non précisé	Couche de fondation		25.500
200 à 300	De part et d'autre du tracé entre 200 et 15500ml				4.9 à 9.8	2 à 2.31		-tout venant de butte (arène granitique et quartz) -roche granitique altérée	Couche de base	73	234.000
	De part et d'autre du tracé entre 100 et 15500ml				4.9 à 9.8	2 à 2.31		- rhyolite altérée - quartzite altéré -granite altéré mélangé à du sable	Couche de fondation		97.000
300 à 400	De part et d'autre du tracé entre 300 et 18000ml				5.9 à 11.5	2.04 à 2.27		-rhyolite altérée - granite altéré	Couche de base	41	175.300
					5.9 à 9.7	2.04 à 2.22		-arène granitique grenue -tout venant de butte grenue -tout venant de butte graveleux -amphibolite altérée	Couche de fondation		61.200

Tableau 4. Caractéristiques géotechniques du sol support (Silet-Tiouagh)

PK	Description	Granulométrie	IP	LL	Es	δd	$\omega\%$	CBR	Classe
80+000-81+000	Altérations basaltiques	VOIR COURBES GRANULOMÉTRIQUES	11-13	31-40	15-28	2.06-2.20	9.20-9.50	1-15	B6
81+000-83+000	Dépôt alluvionnaire basaltique		11-19	31-44	20-57	2.01-2.18	7-9	6-65	B5
83+000-87+900	Dépôt d'altération de granite blanchâtre		7-16	25-36	16-35	2.02-2.18	7-9.30	3-37	B3
87+900-93+600	Dépôt d'altérations granitiques érodées		N.M-14	22-37	10-32	2.02-2.17	6.10-10.5	4-52	B5-B6
93+600-94+800	Sable limoneux		7-21	27-41	13-27	2.07-2.10	6.1-8.5	10-54	B4
94+800-98+600	Dépôt d'altération granitique		5-15	23-36	17-23	1.92-2.19	5.1-9.1	24-55	B4
98+600-104+600	Sable limoneux		N.M-14	22-34	17-30	2-2.15	6.1-9.9	5-49	B4
104+600-120+200	Limon sableux et sable limoneux		N.M-24	24-44	13-56	1.62-2.14	6.2-12.9	7-53	B5-B3
120+200-132+800	Dépôt d'altération du granite		N.M-18	20-39	28-44	1.65-2.11	6.6-9.5	5-31	B5-B6-A2
132+800-141+800	Sable limoneux		N.M-16	21-35	10-68	1.69-2.14	6.45-12	14-54	B5-B3
141+800-154+600	Sable limoneux noirâtre		N.M-17	23-44	10-64	1.58-2.13	6.5-10	19-66	A1-A2
154+600-156+100	Sable d'oued+roche granitique		Roche granitique disloquée						
156+100-158+650	Limon noir sableux (alluvionnaire)	N.M-11	21-31	27-64	1.95-2.18	8.3-8.9	40-67	B5-B6	
158+650-167+200	Sable limoneux grossier brun noirâtre	7.31-11.9	25.5-33.9	17-64	1.93-2.15	6.10-11.5	14-46	B1	
167+200-168+100	Sable éolien à gros grains (oued tan el akrene)								
168+100-225+000	Sable moyen peu limoneux à limoneux	4.9-21.55	20-42.25	10-78	1.82-2.2	6-11.1	5-72	B-B6	
225+000-230+000	Sable fin limoneux	N.M-16	19.02-33.8	19-60	1.88-2.05	6.85-9	11-36	B5-B3	

- PK230+000 au PK515+000 (Tiouagh – Timiaouine) :

Les matériaux investigués sont situés aux pieds des monticules, ils sont situés à deux (2) kilomètres du tracé pour les plus éloignés, les matériaux rencontrés sont :- arènes granitiques,- des schistes.

Les matériaux dont le taux de fines est inférieur à 30% qui concerne la majorité des gisements sont généralement destinés à la couche de base et ceux dont le taux de fines est supérieur à 30% sont destinés à la couche de fondation car ils se prêtent mal au compactage.

- Le coefficient de HAZEN déterminé dans la majorité des cas est supérieur à 2. La granulométrie est donc uniforme, ce qui se traduit par une mise en œuvre facile des matériaux.

- Les limites de plasticité non mesurables accusent des limites de liquidité inférieures à 29%.

- Les essais CBR ont été réalisés immédiatement aux conditions d'optimum proctor.

Matériaux pour revêtement

Pour le tronçon Tit – Silet, la campagne de recherche de matériaux pour revêtement a permis de retrouver trois (03) sites. Dans l'ensemble, nous constatons que ces matériaux retenus pour la réalisation du projet ont des caractéristiques géotechniques acceptables. Nous constatons également que les distances par rapport au tracé varient en moyenne entre 10 et 24 Km et que les potentialités sont importantes.

Tableau 5. Synthèse des résultats géotechniques des matériaux pour revêtement (Tit – Silet)

Localité	Situation	Essai LA%	Nature du matériau	Réserve
Tit	PK 03+000 au Sud du tracé	14	Eboulis basaltique	100.000 m ³
Abalessa	Pied de la chaîne Adrar Ibareghatène à 01 km Sud – Ouest de la ville.	12.9	Eboulis basaltique	> 100.000 m ³
Silet	07 km Nord – Est de la ville de Silet et 1.5 km du tracé	12.50	Eboulis basaltique	80.000 m ³

Dimensionnement de la chaussée

Dans ce contexte, compte tenu de la portance du sol support (Indice C.B.R. généralement supérieure à 20) et de l'essieu de 6.5t, les structures de chaussées admises sont les suivantes :

- terrassement (déblais ou remblais) compactés à sec jusqu'à 90% OPM sur les 40cm supérieurs ;
- revêtement souple, largeur 7.00m (1.5 à 3.5cm) ;
- couche de base (15 cm) en matériaux choisis compactés à l'eau jusqu'à 97% OPM ;
- couche de fondation (20cm) en matériaux choisis compactés jusqu'à 95% OPM à l'eau ou à sec avec arrosage en surface.

CONCLUSION ET RECOMMANDATION

L'expérience acquise au cours de ces dernières décennies de réalisation des travaux de la transsaharienne nous permet de tirer un certain nombre d'enseignement :

1. L'utilisation des matériaux locaux est particulièrement recommandée dans la mesure où ils sont très répandus donc disponibles.
2. Du fait de la quasi planéité du relief, la ligne rouge doit être établie en léger remblai. Dans la traversée des zones dunaires, elle doit araser les crêtes des dunes situées sur l'axe ainsi que celles des dunes immédiatement à proximité.
3. Il faut proscrire la réalisation de largeurs réduites de revêtement ; il faut réaliser des revêtements de 7 m de largeur avec des accotements de 0.5 à 1m, nécessaire pour éviter l'effet de paroi provoqué par les grandes vitesses pratiquées et éviter les épaufrures des bords de chaussée lors du croisement de véhicules lourds.
4. Dans les zones dunaires, les pentes des talus doivent être douces (1 vertical pour 5 horizontal en remblai et 1 pour 10 en déblai) pour permettre aux particules de sable de continuer leur chemin. Des pentes plus abruptes fait que la route devient un obstacle et le dépôt de sable devient propice.
5. Dans les zones en déblai et de hauts remblais, il peut être nécessaire d'élargir la plate-forme pour prévenir l'ensablement et disposer d'un certain temps pour l'intervention des équipes d'entretien.
6. La pente transversale de la chaussée gagnerait à être unique au lieu de classique profil en toit pour les avantages suivant :
 - Stabilité et confort dynamique : sur un profil à pente unique, le dépassement s'exécute sur un même plan en toute sécurité tandis que sur un profil en toit, l'automobiliste subit deux fois une variation de dévers de 5% (dangereux surtout en temps de pluie).
 - Assainissement: le profil à pente unique permet d'assurer plus économiquement l'écoulement des eaux.
 - Elargissement futur: il présente une certaine facilité d'élargissement par rapport au profil en toit dont l'élargissement doit être symétrique de part et d'autre et difficile à réaliser à cause des faibles largeurs à rajouter.
 - Réalisation: il semble plus aisé de dresser un plan à pente unique qu'à double pente.
 - Choix du sens de la pente: il est préférable de déverser le profil en travers de manière à faciliter le mouvement des particules de sable pour éviter l'ensablement.
7. La couche de base doit être protégée immédiatement après sa réalisation pour éviter sa détérioration rapide sous l'effet conjugué des conditions atmosphérique et du trafic essentiellement lourd.
8. Les risques d'imbibition doivent être traités avec beaucoup d'attention, surtout au niveau des gorges, et des zones déprimées même s'ils restent assez faibles.
9. La présence d'un laboratoire de contrôle est obligatoire au niveau de toutes les phases de réalisation.

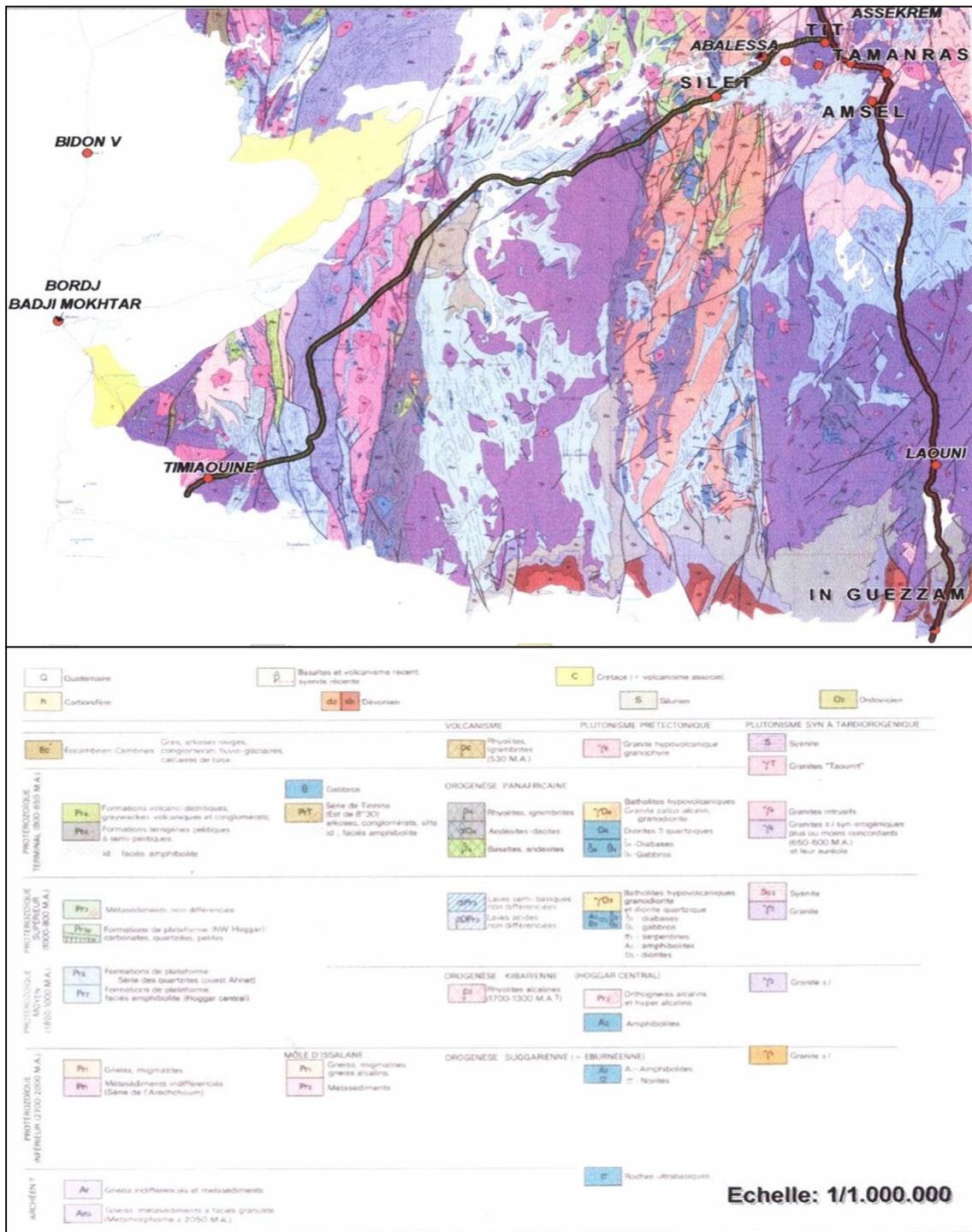


Figure. 1 Trans-saharienne branches Niger et Mali sur fond géologique du Hoggar



Figure 2. Dégradations sur la partie réalisée avec CTP 1981. Route Transsaharienne



Figure 3. Partie réalisée avec du granulat de cipolin



Figure 4. Carrière de cipolin en exploitation



Figure 5. Forage situé au PK 300



Figure 6. L'oued Tamanrasset après la pluie

REFERENCES

- ALLLOUL, B. 1981. *Etude géologique et géotechnique des tufs calcaires et gypseux d'Algérie en vue de leur valorisation routière*. Thèse de Doctorat 3^{ème} cycle. ENSMP. Centre de Géologie de l'Ingénieur
- CLRT. 1994. *Comité de Liaison de la Route Transsaharienne*. Recueil des communications, Séminaire international de Beni Abbès.
- LTPS. 1992. *Etude géotechnique du tronçon Silet – Tiouagh*. Laboratoire des Travaux publics du Sud.
- LCPT. 1981. *Rapport géotechnique – Route Tamanrasset - Niger*. Laboratoire Central des Travaux Publics.
- SAETI. 2000. *Rapport final de l'étude économique de la liaison Silet – Tinzaouatène*. Société Algérienne d'Etude d'Infrastructure